

Trabalho de Conclusão de Curso

Graduação em Geologia

**“ANÁLISE E SELEÇÃO DE METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO DO ÍNDICE DE  
SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO EM AMBIENTES TERRESTRE:  
APLICAÇÃO EM TRECHO DA RODOVIA ANHNAGUERA (SP-330)”**

Thamiris Cristina Costa Basilio

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Rio Claro (SP)

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

THAMIRIS CRISTINA COSTA BASILIO

ANÁLISE E SELEÇÃO DE METODOLOGIA PARA  
MAPEAMENTO DO ÍNDICE DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL  
AO ÓLEO EM AMBIENTES TERRESTRES: APLICAÇÃO EM  
TRECHO DA RODOVIA ANHANGUERA (SP-330)

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de  
Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio  
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geóloga.

Rio Claro - SP

2016

550      Basilio, Thamiris Cristina Costa  
B312a      Análise e seleção de metodologia para mapeamento do  
Índice de Sensibilidade Ambiental ao óleo em ambientes  
terrestres : aplicação em trecho da Rodovia Anhanguera  
(SP-330) / Thamiris Cristina Costa Basílio. - Rio Claro, 2016  
112 f. : il., figs., tabs., quadros, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade  
Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Orientadora: Paulina Setti Riedel

1. Geologia. 2. Geoprocessamento. 3. Acidentes. 4.  
NOAA. 5. Cartas SAO. I. Título.

THAMIRIS CRISTINA COSTA BASILIO

ANÁLISE E SELEÇÃO DE METODOLOGIA PARA  
MAPEAMENTO DO ÍNDICE DE SENSIBILIDADE  
AMBIENTAL AO ÓLEO EM AMBIENTES TERRESTRE:  
APLICAÇÃO EM TRECHO DA RODOVIA ANHNAGUERA  
(SP-330)

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Geociências e  
Ciências Exatas - Campus de Rio Claro,  
da Universidade Estadual Paulista Júlio  
de Mesquita Filho, para obtenção do grau  
de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel (orientadora)

Prof. Dr. Fábio Augusto Vieira Reis

M.e Flávio Henrique Rodrigues

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

Assinatura da aluna

assinatura da orientadora

Dedico este trabalho a minha mãe, Solange e minha avó, Carmem, que me mostraram a força de uma verdadeira mulher.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, aos meus amados pais, pelo incentivo, amor, carinho, dedicação e confiança que sempre depositaram em mim. Obrigada por sempre acreditarem em meus sonhos malucos e nunca questionarem minhas decisões e atitudes.

As minhas lindas irmãs, que estiveram ao meu lado durante todos esses anos, ouvindo minhas reclamações e neuroses, sem nunca me criticarem e sempre me mostrando, de uma maneira amorosa e engraçada, que não existem problemas sem soluções.

Agradeço a minha orientadora, Paulina, pela dedicação, paciência e amizade. Obrigada por estar presente em todas as horas em que precisei, por me propor soluções, levantar ideias, sanar minhas dúvidas, compartilhar seu conhecimento e me fazer ver que a vida deve ser levada de maneira leve e sorridente. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) agradeço pela bolsa de estudos para realização do intercâmbio.

A jornada não seria a mesma sem o meu grupo de trabalho - Dani, Belo e Mayara – que sempre me auxiliaram, salvaram e solucionaram mil problemas (da vida, do ArcGIS e da ABNT). Obrigada pelo companheirismo, risadas e sofrências em grupo.

Não posso deixar de agradecer a todas as pessoas que fizeram parte desta fase de minha vida: família, amigos de faculdade, amigos de longa data, amigos de intercâmbio, funcionários e professores da UNESP. Em particular, aos meus amigos, Vanessa, Ska, Raquel, Duzin, Murilo, Rafa Bressan, Tati, Nhonho e Vini que se tornaram minha família rio-clarense e que sei que estarão ao meu lado pro resto da vida, a Amanda, que durante meu período de intercâmbio se tornou uma irmã, a Joice, André e Rafael que durante essa década de amizade se tornaram imprescindíveis em minha vida, a minha cachorra Amélia, que sempre me animou com seus “lambeijos”, e ao meu melhor amigo e companheiro, Niko, pelos anos de amor, dedicação e confiança em mim e em meu trabalho.

Agradeço de uma forma geral a todas as pessoas que me ajudaram a tornar isso possível, e que dividiram esses anos ao meu lado.

"Une femme qui n'a pas peur des hommes leur  
fait peur, me disait un jeune homme."

Simone de Beauvoir

“Não é a consciência do homem que lhe  
determina o ser, mas, ao contrário, o seu ser  
social que lhe determina a consciência. ”

Karl Marx

## RESUMO

As Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derrames de Óleo (Cartas SAO) são um elemento essencial para o planejamento de ações mitigadoras de graves contaminações de solos e águas. Às rodovias se destacam como importantes áreas-piloto para os estudos de sensibilidade a derrames de óleo em ambientes terrestres, uma vez que elas são um dos modais mais utilizados nas últimas décadas, para o transporte de derivados de petróleo. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar o restrito referencial bibliográfico existente, no âmbito nacional e internacional, sobre a sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes terrestres e selecionar uma metodologia a ser aplicada, com devidas adaptações, em uma área-piloto, localizada em um trecho da Rodovia Anhanguera (SP-330), que apresenta 10km de extensão e 3 de diâmetro, no município de Araras. Utilizam-se, no estudo, técnicas de fotointerpretação e geoprocessamento (compartimentação fisiográfica, modelo digital do terreno, extração de drenagens e fraturas), além de pesquisas bibliográficas. Baseado no sistema de Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), um sistema com quinze classes foi composto, através da junção de cinco variáveis, cada uma representando três classes. Esse índice será denominado Índice de Sensibilidade Terrestre (IST), observando as seguintes variáveis: declividade, textura, profundidade do nível d'água (NA), densidade de drenagem e permeabilidade relativa. A área, como um todo, é considerada de sensibilidade média a alta, e as características levadas em consideração para esta interpretação estão relacionadas apenas ao meio físico, visto que este trabalho não considera as características bióticas e socioeconômicas, que também compõe uma carta SAO. A metodologia de mapeamento da sensibilidade ambiental ao óleo aplicada ao modal rodoviário apresentou adequação satisfatória, podendo ser replicada a qualquer ambiente em que o derramamento atinja inicialmente a superfície do solo. Buscando o aprimoramento da metodologia aqui proposta, são esperadas modificações a partir da constatação de inconsistências no seu emprego, em situações de mapeamento ou reais situações de acidentes envolvendo derrame de óleo.

**Palavras-chave:** derrames de óleo em ambientes terrestres, Cartas SAO, rodovias, geoprocessamento, Metodologia NOAA

## ABSTRACT

Environmental sensitivity index maps for oil spilling (SAO maps) are an essential element on the planning of mitigating actions on soil and water contaminations. Highways come up as important pilot-areas for sensitivity to oil spilling studies on terrestrial environments, since they are one of the most used “modals” to transport oil and its derived products. In this context, the objective of this study is the analysis of bibliographic references that exist, both nationally and internationally, about environmental sensitivity in terrestrial environments to oil and select a methodology to be applied, with some adaptations, in a pilot-area, located at a small section of the Anhanguera Highway (SP-330). In the study, photointerpretation and geoprocessing techniques (physiographic partition, digital elevation models, fractures and water streams extraction) are used, besides the intense bibliographic research. Based on the Environmental sensitivity index (ESI) from National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), a system with fifteen classes was organised, through the junction of five variables, each one representing three classes. This index will be named Terrestrial Sensitivity Index (IST), observing the following variables: declivity, water table level, water streams density and relative permeability. The area as a whole is considered of medium to high sensitivity, and the characteristics taken into account for this interpretation are related exclusively to the physical environment, since this study focuses only in this area, disconsidering biological and socioeconomic characteristics. The methodology of environmental sensitivity mapping for oil spilling applied to highways presented a satisfactory adequacy, and it can be reapplied to any environment in which the oil spilling reaches only the superficial layer of the soil. For the improvement of the methodology here presented, it is expected some modifications since it was observed some inconsistencies on its application, in mapping situations or in real accidents involving oil spilling.

**Keywords:** Oil spilling terrestrial, SAO maps, highways, geoprocessing, NOAA methodology

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 1.</b> Exemplos de representação de Cartas SAO em diferentes lugares do mundo .....                                                                                                                                  | 8   |
| <b>Figura 2.</b> Estrutura do modelo de transporte de NAPLs. ....                                                                                                                                                              | 16  |
| <b>Figura 3.</b> Generalização das formas de percolação do óleo, conforme o tipo do solo. ....                                                                                                                                 | 17  |
| <b>Figura 4.</b> Análise gráfica realizada nas classes de variáveis utilizadas no desenvolvimento do IST.....                                                                                                                  | 307 |
| <b>Figura 5.</b> Etapas de trabalho. ....                                                                                                                                                                                      | 300 |
| <b>Figura 6.</b> Área piloto com influência direta ( <i>buffer</i> ) utilizadas na concepção e aplicação do método. Destaque para a Rodovia Anhanguera (SP-330). Mapa base utilizado – Topográfico, IBGE, escala 1:150000..... | 33  |
| <b>Figura 7.</b> Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná, na região estudada.....                                                                                                                                             | 355 |
| <b>Figura 8.</b> Unidades Litoestratigráficas da Área de Estudo.....                                                                                                                                                           | 366 |
| <b>Figura 9.</b> Localização da área de estudo. ....                                                                                                                                                                           | 400 |
| <b>Figura 10.</b> Mapa de solos da área de estudo, Araras(SP).....                                                                                                                                                             | 444 |
| <b>Figura 11.</b> Sequência de procedimentos propostos por Zaine (2011) e adotados neste estudo, para análise e fotointerpretação das feições fisiográficas, e para inferência das propriedades geotécnicas. ....              | 51  |
| <b>Figura 12.</b> Mapa de Declividade da Área de Estudos.....                                                                                                                                                                  | 535 |
| <b>Figura 13.</b> Mapa Hipsométrico da Área de Estudo.....                                                                                                                                                                     | 57  |
| <b>Figura 14.</b> Mapa de poços d’água e nascentes da área de estudo. ....                                                                                                                                                     | 59  |
| <b>Figura 15.</b> Mapa de contorno do nível d’água e superfície 3D. ....                                                                                                                                                       | 60  |
| <b>Figura 16.</b> Mapa de Fraturas da área de estudo. ....                                                                                                                                                                     | 622 |
| <b>Figura 17.</b> Rosácea das fraturas da área de estudo. ....                                                                                                                                                                 | 63  |
| <b>Figura 18.</b> Mapa de Compartimentação Fisiográfica da Área de Estudo. ....                                                                                                                                                | 667 |
| <b>Figura 19.</b> Análise gráfica realizada nas classes de variáveis utilizadas no desenvolvimento do IST e as adaptações feitas a partir da metodologia de Martins (2012). ....                                               | 711 |
| <b>Figura 20.</b> Parâmetros analisados nos mapas preliminares da Carta de Índices de Sensibilidade Ambiental ao óleo. ....                                                                                                    | 721 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                                                                                                 |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Quadro 1.</b> Principais acidentes no Brasil envolvendo derramamento de óleo e derivados em áreas continentais .....                                                                         | 11   |
| <b>Quadro 2.</b> Propriedades que afetam o comportamento de óleos e derivados. ....                                                                                                             | 15   |
| <b>Quadro 3.</b> Níveis hierárquicos para delimitação das UBC tendo como referências os mapas geomorfológico (ROSS; MOROZ, 1997) e geológico do estado de São Paulo PERROTA et al., 2005). .... | 20   |
| <b>Quadro 4.</b> Parâmetros incluídos nos mapas de sensibilidade ambiental para dutos terrestres. ....                                                                                          | 31   |
| <b>Quadro 5.</b> Classificação de sensibilidade ambiental ao óleo para Dutos, proposta por Mendes et al. ....                                                                                   | 31   |
| <b>Quadro 6.</b> Exemplo de combinações para atribuição de IST. ....                                                                                                                            | 31   |
| <b>Quadro 7.</b> Critérios adotados na compartimentação e caracterização do relevo e propriedades analisadas. ....                                                                              | 47   |
| <b>Quadro 8.</b> Classes de declividade e principais características .....                                                                                                                      | 53   |
| <b>Quadro 9.</b> Características encontradas na área de estudo. ....                                                                                                                            | 6565 |
| <b>Quadro 10.</b> Tabela de identificação das zonas homólogas e suas variáveis-chave. ....                                                                                                      | 69   |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1.</b> Valores de intervalos e seu respectivo valor atribuído. ....                  | 31 |
| <b>Tabela 2.</b> Valores finais de Índice de Sensibilidade Ambiental para Rodovias (ISR). .... | 31 |

## LISTA DE SIGLAS

ARPEL - Associação Regional das Companhias de Óleo e Gás em América Latina e Caribe  
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CPRM - Serviço Geológico do Brasil  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CTC - Capacidade de Trocas Catiônicas  
DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica  
DGA - Departamento de Geologia Aplicada  
DNAPL - *Dense non-aqueous phase liquid*  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária  
ESI - *Environmental Sensitivity Index*  
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IG - Instituto Geológico  
IGC - Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo  
ISA - Índice de Sensibilidade Ambiental  
IST – Índice de Sensibilidade Terrestre  
LNAPL - *Ligth non-aqueous phase liquid*  
MARA - Mapeamento de Risco Ambiental  
MMA - Ministério do Meio Ambiente  
NAPL - *Non-aqueous phase liquid*  
NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration*  
PEI - Planos de Emergência Individuais  
SAO - Sensibilidade Ambiental ao Óleo  
SMA - Secretaria do Meio Ambiente  
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*  
UBC - Unidades Básicas de Compartimentação

## SUMÁRIO

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO.....</b>                                               | <b>01</b> |
| <b>1.1 Objetivos.....</b>                                              | <b>03</b> |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                                   | <b>04</b> |
| <b>2.1 Sensibilidade, suscetibilidade e vulnerabilidade .....</b>      | <b>04</b> |
| <b>2.2 Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO).....</b> | <b>05</b> |
| 2.2.1 Contexto Histórico .....                                         | 05        |
| 2.2.2 Sensibilidade Ambiental ao Óleo no Brasil.....                   | 08        |
| 2.2.3 Sensibilidade Ambiental ao Óleo em Ambientes Terrestres .....    | 10        |
| 2.2.4 O óleo e sua dinâmica no meio terrestre .....                    | 12        |
| 2.2.5 Compartimentação Fisiográfica .....                              | 18        |
| 2.2.6 Metodologias analisadas .....                                    | 21        |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                     | <b>29</b> |
| <b>3.1 Materiais.....</b>                                              | <b>30</b> |
| <b>3.2 Métodos .....</b>                                               | <b>31</b> |
| 3.2.1 Levantamento Bibliográfico .....                                 | 31        |
| 3.2.2 Análise e seleção de metodologias.....                           | 31        |
| 3.2.3 Seleção da área-piloto .....                                     | 32        |
| 3.2.4 Caracterização da área-piloto.....                               | 34        |
| 3.2.4.1 Geologia Regional .....                                        | 34        |
| 3.2.4.2 Rodovia Anhanguera (SP-330) .....                              | 38        |
| 3.2.4.3 Município de Araras.....                                       | 39        |
| 3.2.4.4 Solos .....                                                    | 40        |
| 3.2.4.5 Vegetação e geomorfologia .....                                | 45        |
| 3.2.4.6 Uso e cobertura das terras .....                               | 45        |
| 3.2.5 Elaboração da Base de dados.....                                 | 46        |
| 3.2.6 Compartimentação Fisiográfica .....                              | 46        |
| 3.2.7 Elaboração de Mapas Básicos.....                                 | 47        |
| 3.2.7.1 Mapa de Declividade e Hipsométrico .....                       | 47        |
| 3.2.7.2 Mapa de Fraturas.....                                          | 48        |
| 3.2.7.3 Mapas de profundidade do nível d'água .....                    | 49        |
| 3.2.8 Caracterização dos Compartimentos.....                           | 50        |

|                                                                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.9 Mapeamento dos Índices de Sensibilidade Ambiental ao Óleo.....                                                              | 52        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                                                                                            | <b>53</b> |
| <b>4.1 Mapa de Declividade e Hipsométrico .....</b>                                                                               | <b>53</b> |
| <b>4.2 Mapa de profundidade do nível d'água.....</b>                                                                              | <b>58</b> |
| <b>4.3 Densidade de Drenagens e Fraturas .....</b>                                                                                | <b>61</b> |
| <b>4.4 Caracterização dos Compartimentos .....</b>                                                                                | <b>63</b> |
| <b>4.5 Mapa de Índices de Sensibilidade Ambiental ao Óleo em trecho da Rodovia Anhanguera (SP-330), Município de Araras .....</b> | <b>68</b> |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                                                                | <b>78</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                                           | <b>80</b> |

## **APÊNDICES**

Apêndice I Mapas Preliminares de Índices de Sensibilidade Ambiental ao Óleo, em trecho da Rodovia Anhanguera (SP-330)

Apêndice II Mapa de Índices de Sensibilidade Ambiental ao Óleo, em trecho da Rodovia Anhanguera (SP-330)

## 1 INTRODUÇÃO

Entre as atividades industriais mais destacadas na atualidade, a indústria petroquímica se destaca devido à sua grande importância como fonte de energia e matéria-prima de diversos bens de consumo, como plásticos, tintas, fármacos, entre outros.

Entretanto, a ampla utilização dessa fonte de energia pode acarretar riscos ao meio ambiente, devido à possibilidade de acidentes envolvendo vazamentos de óleo. O petróleo apresenta um nível de toxicidade alto, sendo altamente inflamável e nocivo, tanto para o meio ambiente quanto para a saúde dos seres humanos. Os acidentes envolvendo derrames de óleo estão diretamente relacionados ao processo de transporte dos hidrocarbonetos.

Os principais tipos de transporte dividem-se em transportes terrestres, como o ferroviário, o rodoviário, o dutoviário, e transportes aquaviários. Os desastres ocorrem principalmente devido a colisões de navios transportadores, rompimentos de dutos, explosões em plataformas e acidentes envolvendo veículos transportadores.

No Brasil, os acidentes em ambiente terrestre vêm se intensificando nas últimas décadas. Segundo dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), em um período de 31 anos (1978-2009), dos acidentes ambientais envolvendo produtos perigosos no Estado de São Paulo, 40% corresponderam a acidentes no transporte rodoviário, ou seja, oito vezes mais que os procedentes de transporte marítimo e quinze vezes mais que os de transporte dutoviário.

O óleo é importado ou extraído dos campos de produção em território nacional (marinho ou terrestre), e conduzido às refinarias, onde o mesmo é processado e distribuído a centros consumidores e terminais marítimos. Dentro desse contexto, devido à ausência de uma malha dutoviária adequada, o transporte rodoviário tornou-se o mais utilizado na distribuição do petróleo pelo território nacional.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (2012), as rodovias correspondem a 40% dos locais de ocorrência de acidentes envolvendo os setores petroquímicos. Segundo Martins (2012), dados da Confederação Nacional do Transporte (2009) mostram que 69% das rodovias possuem uma qualidade geral ruim ou péssima e, em um período de 31 anos (1978-2009), mais de 40% dos acidentes envolvendo o transporte de produtos perigosos, incluindo líquidos e sólidos inflamáveis, gases, explosivos e corrosivos, ocorreram no transporte rodoviário. Além disso, o solo se caracteriza como o segundo ambiente mais afetado pelos acidentes ambientais no

período de 2006 a 2012, sendo que a grande maioria destes acidentes envolve contaminantes como gasolina, óleo diesel e petróleo. (IBAMA, 2012).

Nesse contexto são necessários estudos que subsidiem planos emergenciais, de forma a minimizar os danos causados por acidentes envolvendo derrames de óleo no ambiente. Sendo assim se utilizam as Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO), que se caracterizam como ferramentas que têm por objetivo reduzir as consequências ambientais dos vazamentos de óleo e tornar eficientes os esforços de contenção, limpeza e remoção. Estas Cartas também são úteis no mapeamento e identificação de áreas sensíveis, antes que ocorram acidentes, envolvendo derrames de petróleo e compondo ferramentas que auxiliem na identificação de áreas prioritárias de proteção, sendo possível delinear estratégias de proteção e limpeza antecipadamente (MMA, 2002).

O conceito das cartas de sensibilidade ambiental evoluiu a partir da década de 1970, período em que os Estados Unidos começaram a desenvolvê-las como elemento essencial aos planos de contingência para a proteção dos recursos naturais. No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente elaborou um documento intitulado “Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo” que apresentou um índice de sensibilidade do litoral (ISL) adaptado às condições dos ambientes brasileiros, com uma escala de variação crescente, de 1 a 10, baseado no manual norte-americano elaborado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). As Cartas de Sensibilidade fornecem além do índice de sensibilidade dos diversos ambientes, informações sobre os aspectos bióticos e socioeconômicos, que são representados por ícones específicos.

Dentro desta ótica, torna-se imprescindível o desenvolvimento de estudos sobre a sensibilidade ambiental a derrames de óleo em ambientes terrestres, visto que as metodologias existentes e consagradas para a elaboração das Cartas SAO não contemplam estas regiões, pois foram desenvolvidas para ambientes costeiros e, secundariamente, houve alguns pesquisadores que incluíram adaptações para a aplicação em ambientes fluviais.

Existem muitas lacunas a serem preenchidas a respeito da metodologia para o mapeamento da sensibilidade ambiental ao óleo em meios terrestres. Nesse contexto, foi desenvolvido este trabalho, que busca contribuir para o levantamento bibliográfico e a análise da incipiente bibliografia a respeito desse tema, no Brasil e no mundo.

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é definir e aplicar uma metodologia de mapeamento de índices de sensibilidade ambiental ao óleo em ambiente terrestre, em uma escala 1:25000.

Especificamente, objetiva-se levantar, analisar e selecionar o restrito referencial bibliográfico existente, no âmbito nacional e internacional, sobre a sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes terrestres e adaptar uma metodologia a ser aplicada, em uma área-piloto, localizada em um trecho da Rodovia Anhanguera (SP-330).

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo podem-se encontrar as informações levantadas na literatura acerca dos trabalhos que dão referências ao projeto desenvolvido, desde a descrição de termos relevantes para o trabalho, até toda a história das cartas SAO – origem, desenvolvimento e situação atual.

### **2.1 Sensibilidade, suscetibilidade e vulnerabilidade**

O desenvolvimento de estudos relacionados à sensibilidade ambiental a derrames de óleo e derivados se tornou fundamental nos dias de hoje, devido ao intenso uso e ocupação da terra, bem como da exploração dos recursos naturais renováveis e não renováveis. Dentre os inúmeros desastres ambientais que atingem os ecossistemas, os acidentes envolvendo derrames de petróleo e derivados em regiões de águas marítimas ou interiores e regiões terrestres, se tornaram alvo de alta relevância, devido à ampla utilização dessa fonte de energia e pelo grande valor biológico e socioeconômico que estas regiões apresentam.

O conceito de sensibilidade, utilizado nos trabalhos de mapeamento de ambientes para apoio em caso de derramamentos de óleo, pode ser compreendido pelo nível de resposta, ou seja, de estresse que um determinado ambiente terá devido à ação de um tensor antrópico (MILANELLI, 2011).

Diretamente relacionado ao conceito de sensibilidade, encontra-se o conceito de suscetibilidade, que, de acordo com Milanelli (2011), caracteriza-se pela probabilidade de uma região ser atingida por ações acidentais. O nível de suscetibilidade é determinado pelas características ambientais e socioeconômicas de cada região, bem como pelo tipo de poluente que pode atingir o local determinado.

Na natureza existem diversos ecossistemas que devido a suas características físicas e biológicas apresentam uma menor fragilidade e, devido a este fato serão menos impactados por determinados tipos de poluentes, apresentando um nível de suscetibilidade menor. Paralelamente, existem regiões cujas características são muito frágeis a certos tipos de poluentes e em casos acidentais serão amplamente afetadas, apresentando um nível maior de susceptibilidade. Em regiões classificadas com altos níveis de suscetibilidade e sensibilidade ambiental, a vulnerabilidade será maior (MILANELLI, 2011).

Segundo Boruff et al. (2005) a vulnerabilidade é classificada como um conjunto de fatores que aumentam ou atenuam os efeitos de eventos naturais, tecnológicos ou induzidos

pela atividade humana, e tais fatores diminuem a habilidade de recuperação das regiões após a ocorrência do evento.

Neste estudo optou-se pela utilização do termo sensibilidade, pois são consideradas as características intrínsecas dos ambientes, independente do fato destes serem ou não expostos a um agente poluente.

De acordo com Alencar (2003), o conceito de sensibilidade ambiental é, muitas vezes, confundido com a definição de vulnerabilidade, porém o ultimo está relacionado ao risco tecnológico que certas atividades econômicas geram sobre o ecossistema, e é determinado pela extensão do risco que as atividades causam ao ambiente da área em questão. Portanto, a escolha do termo sensibilidade mostra-se eficiente para a realização da pesquisa, visto que a mesma enfatiza os aspectos geomorfológicos de um determinado local, sem levar em consideração a presença ou não de fatores que imponham algum tipo de risco à região.

## **2.2 Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO)**

### **2.2.1 Contexto Histórico**

A indústria do petróleo iniciou-se no século XIX, mas obteve seu desenvolvimento efetivo no século XX, sendo que nas últimas três décadas ocorreram vários acidentes que geraram prejuízos ambientais enormes, trazendo danos aos ecossistemas marinho, lacustre, fluvial e terrestre, impactando negativamente às populações humanas, bióticas e, por conseguinte a economia.

Os estudos relacionados ao mapeamento e à avaliação de impactos ocasionados por derrames de petróleo e seus derivados no meio ambiente se iniciaram a partir da década de 1970, de acordo com Michel et al. (1978), por um grupo de pesquisadores da Divisão de Pesquisa Costeira do Departamento de Geologia da Universidade da Carolina do Sul, nos Estados Unidos.

Esses pesquisadores utilizaram como embasamento para suas pesquisas três casos importantes de acidentes envolvendo derrames de óleo no ambiente. Os casos em estudo foram: os navios petroleiros “Metula”, no Chile, em 9 de agosto de 1974, “Urquiola”, na Espanha, em 12 de maio de 1976 e “Jakob Maersk”, em 29 de janeiro de 1975, em Portugal (MICHEL et al., 1978).

Gundlach e Hayes (1978) apresentam uma metodologia de “Índice de Vulnerabilidade ao Derrame de Óleo” com uma classificação dos ambientes costeiros em uma escala de 1 a 10, baseada na vulnerabilidade do ambiente a danos causados por derrames de óleo. A escala enfatiza o tempo de permanência do óleo nos ambientes e os impactos biológicos. Já Michel et al. (1978) apresentaram uma metodologia similar, entretanto utilizaram também a suscetibilidade biológica e da facilidade a limpeza manual.

Os anos de 1990 podem ser considerados como a década a qual houve a difusão do uso das chamadas Cartas SAO como ferramenta técnico-gerencial em todo o mundo, em caso de derramamentos de óleo e seus derivados.

Segundo Araújo et al. (2002), as Cartas SAO são documentos cartográficos de fácil leitura e compreensão, úteis para auxiliar nas decisões sobre prioridades de proteções e estratégias de limpeza do ambiente. Sendo assim, estas cartas são utilizadas como ferramentas para planos de contingência e resposta a acidentes envolvendo derrames de óleo e seus derivados, tanto em ambientes costeiros como continentais.

A discussão e desenvolvimento da utilização das Cartas SAO foi impulsionada pelo emblemático acidente do navio petroleiro Exxon Valdez, ocorrido em 1989. Em 24 de Março de 1989, o navio petroleiro Exxon Valdez encalhou em um recife rochoso ocasionando um rompimento no seu casco e, derramando milhões de galões de óleo no Alaska. O desastre culminou na morte e lesões de diversas espécies animais e vegetais, além do prejuízo da população local que sobrevivia da pesca (LEACOCK, 2005).

A National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA elaborou um guia metodológico para a produção de Cartas SAO para os Estados Unidos, visando instituir um sistema padronizado para a produção desses materiais. Estas cartas foram inicialmente desenvolvidas para as regiões costeiras, onde o montante de óleo derramado é geralmente de maiores dimensões que nos ambientes fluviais ou terrestres. De acordo com o último guia atualizado (PETERSEN et al., 2002), os mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo, em áreas costeiras, são compostos por três componentes:

- A classificação da linha de costa, baseada em uma escala de 1 a 10, relacionada à sensibilidade local, a persistência do óleo e facilidade de limpeza. Quanto maior a escala maior será a sensibilidade;

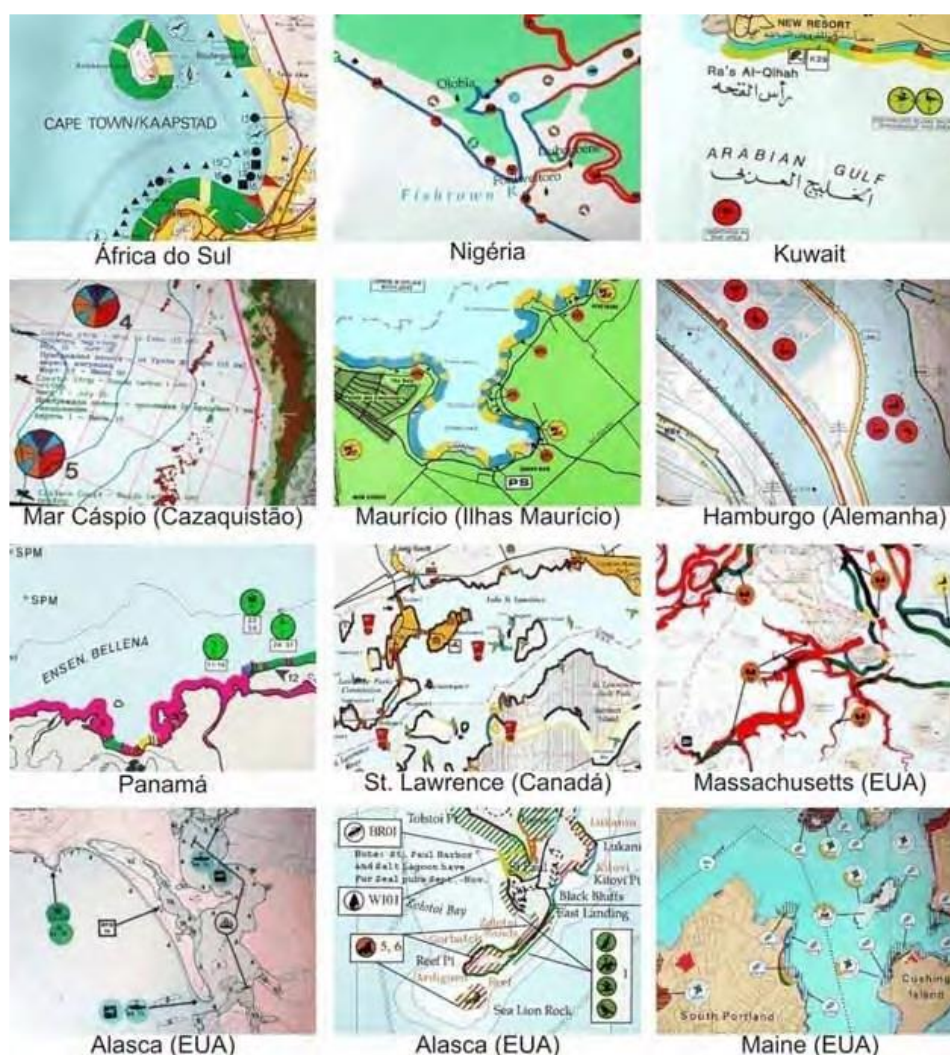
- Os recursos biológicos: incluindo animais e plantas sensíveis ao óleo, bem como recifes de corais, representados na forma de ícones padronizados;

- Recursos humanos: áreas específicas que apresentam sensibilidade como praias, parques, afluentes e sítios arqueológicos, também representados na forma de ícones.

As Cartas SAO têm seu emprego adaptado à realidade dos ambientes locais, agregando pequenas variações de método e representação simbólica em relação ao do NOAA (Figura 1). Apesar dessas nuances, o básico do mapeamento tem permanecido constante na maioria dos projetos, suportando o desenho conceitual original (GUNDLACH et al., 2001). No Brasil, as Cartas SAO também têm sido empregadas. Devido à heterogeneidade ambiental presente no território nacional, estas passaram por um processo de adequação à realidade local, pelo Ministério do Meio Ambiente, que produziu um manual de especificações e normas técnicas para sua elaboração (MMA, 2002 e 2004).

Os estudos supracitados mostram a grande abrangência de trabalhos envolvidos nas regiões litorâneas, devido principalmente ao volume de acidentes nestas áreas. Entretanto, a possibilidade de áreas terrestres serem atingidas por derrames de óleo, bem como a complexidade e importância biológica e socioeconômica destes ambientes, tornou necessário estudos que englobassem as áreas além do oceano. Dentro dessa ótica, a NOAA incluiu em sua última atualização (PETERSEN et al., 2002) os ambientes lacustres, fluviais e palustres. Assim, destacam-se estudos que abordam regiões fluviais como os trabalhos de Hayes et al. (1995), para os Grandes Lagos canadenses; Hayes et al. (1997), para o sudeste dos EUA; Zengel et al. (2001a), para o Caribe e Zengel et al. (2001b), para o sul do Estado da Flórida (EUA), mas ainda não existe grande número de trabalhos, nacionais e internacionais, que enfoquem os ambientes terrestres.

**Figura 1.** Exemplos de representação de Cartas SAO em diferentes lugares do mundo



**Fonte:** E-Tech International Inc (2009).

### 2.2.2 Sensibilidade Ambiental ao Óleo no Brasil

No Brasil, as primeiras pesquisas relacionadas com sensibilidade ambiental a derrames de óleo focaram-se nas áreas litorâneas, assim como nos outros países, devido a esses locais serem amplamente atingidos por esses acidentes e apresentarem maior impacto na mídia.

De acordo com Araújo et al. (2002), o primeiro mapa de sensibilidade divulgado no Brasil foi pela Petrobras, em 1993, e contemplou áreas de influência de atividades exploratórias e de produção da Bacia de Campos, no Rio de Janeiro.

A partir de 1996, a ARPEL (Associação Regional das Companhias de Óleo e Gás em América Latina e Caribe) iniciou a produção de estudos de desenvolvimento de Cartas SAO

utilizando de embasamento a padronização e a metodologia produzida pela NOAA, dos EUA, baseado nos estudos de Gundlach e Hayes (1978), mas levando em conta o ecossistema brasileiro, as espécies biológicas especialmente sensíveis e os recursos socioeconômicos do Brasil.

A Lei Nº 9.966, de 28 de abril de 2000, atribuiu ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) responsabilidade na identificação, localização e definição dos limites das áreas ecologicamente sensíveis com relação à poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional. Além disto, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 398, de 11/06/2008, insere as Cartas SAO no conteúdo mínimo dos Planos de Emergência Individuais (PEI) para determinados empreendimentos. Por sua vez, o Decreto nº 4.871, de 06/11/2003, estabelece que os Planos de Área para o combate à poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional deverão conter mapas de sensibilidade ambiental, conforme as especificações e normas técnicas para elaboração das Cartas SAO.

Ainda segundo as especificações do MMA (2004), as Cartas SAO devem atender a todos os níveis de derrames de óleo, desde os grandes vazamentos em áreas distantes até os derramamentos pequenos localizados em pontos específicos da costa. Desta forma, foram definidos três níveis de elaboração das Cartas SAO, baseadas no Plano Cartográfico para o Mapeamento de Sensibilidade Ambiental ao Óleo nas Bacias Marítimas (MMA, 2004):

- Cartas estratégicas: de abrangência regional/bacia marítima, devem abarcar toda a área de uma determinada bacia, ou de bacias próximas, em caso de bacias menores. A escala cartográfica utilizada deve ser de ordem de 1:500.000.
- Cartas táticas: englobam todo o litoral da bacia, devem apresentar uma escala intermediária (1:150.000).
- Cartas operacionais/de detalhe: abrangem os locais de alto risco/sensibilidade, portanto devem apresentar uma escala grande, entre 1:10.000 a 1:50.000.

Nos anos 2000 surgiram trabalhos brasileiros com enfoque em regiões continentais, gerados pela necessidade dessa ferramenta em ambientes terrestres, que também são extremamente vulneráveis a acidentes envolvendo derrames de óleo, sendo a grande maioria dos trabalhos com enfoque em ambientes fluviais. Podem ser citados os trabalhos de Araújo et al. (2006), para a Região Amazônica; Ferreira e Beaumord (2008), para Itajaí, Estado de Santa

Catarina. Estas pesquisas utilizaram de adaptações para determinar os componentes que devem ser analisados para o desenvolvimento do Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo, entretanto também utilizam o ranking de 1 a 10, proposto inicialmente pelo NOAA e amplamente utilizado.

### 2.2.3 Sensibilidade Ambiental ao Óleo em Ambientes Terrestres

Segundo Braun e Oliveira (2003) os estudos realizados sobre sensibilidade ambiental focavam-se apenas nas regiões costeiras devido às dimensões dos acidentes nestas regiões. Após os acidentes envolvendo ambientes terrestres ocorridos no Paraná nos anos de 1999 e 2000, e também um constante aumento de acidentes envolvendo veículos de transporte de óleo e derivados, verificou-se a necessidade de um maior conhecimento da identificação da sensibilidade ambiental das áreas terrestres, que não eram amplamente exploradas, pois eram consideradas pouco significativas.

Sendo assim, em ambientes terrestres, as principais regiões passíveis de serem atingidas por derrames de óleo correspondem aos locais próximos a rodovias e ferrovias, devido à possibilidade de acidentes envolvendo veículos transportadores; e regiões próximas a dutos, que apresenta risco de rompimento e vazamento de produto para o ambiente.

As regiões próximas a dutos já apresentam estudos que buscam determinar a sensibilidade ambiental ao óleo dessas áreas. Pode-se citar o trabalho de Walker et al. (1978) como um dos primeiros a apresentar um mapa de sensibilidade ambiental. Os trabalhos de Mendes et al. (2005) e Gundlach et al. (2005) apresentam metodologias baseadas nas normas da NOAA, utilizando-se de um índice de sensibilidade crescente, variando de 1 a 10, e dos símbolos padronizados utilizados. Segundo Costa (2013), até o ano de 2009, a maioria dos acidentes estava associada ao transporte por oleodutos, porém a partir de 2011 as ocorrências se associam ao transporte por meio rodoviário e fluvial, como pode ser visualizado no Quadro 1. Vale ressaltar também que o número de acidentes que ocorrem no ambiente terrestre é muito maior do que o número de acidentes oceânicos, mas a diferença entre eles é que os acidentes oceânicos são muito maiores em litros derramados no ambiente.

**Quadro 1.** Principais acidentes no Brasil envolvendo derramamento de óleo e derivados em áreas continentais

| Ref. | Ano  | Local                    | Ocorrência                  | Vol. Vazado          |
|------|------|--------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1    | 1983 | São Bernardo do Campo/SP | Oleoduto                    | 200 m <sup>3</sup>   |
| 2    | 1987 | Guararema/SP             | Oleoduto                    | 250 m <sup>3</sup>   |
| 3    | 1998 | São José dos Campos/SP   | Oleoduto                    | 1.000 m <sup>3</sup> |
| 4    | 1998 | São Paulo/SP             | Gasoduto                    | Não estimado         |
| 5    | 2000 | Cubatão/SP               | Oleoduto                    | 500 L                |
| 6    | 2001 | Araucária/PR             | Oleoduto                    | 4 mil m <sup>3</sup> |
| 7    | 2001 | Barueri/SP               | Oleoduto                    | 200 m <sup>3</sup>   |
| 8    | 2001 | Osasco/SP                | Oleoduto                    | 100 T                |
| 10   | 2009 | Canoas/RS                | Oleoduto                    | Não estimado         |
| 11   | 2011 | Lajes/SC                 | Trem                        | Não estimado         |
| 12   | 2012 | São Sebastião/SP         | Caminhão tanque             | 15 mil L             |
| 13   | 2012 | Cascavel/PR              | Caminhão tanque             | 10 mil L             |
| 14   | 2012 | Jaraguá do Sul/PR        | Gerador de energia elétrica | 20 a 50 L            |
| 15   | 2012 | Santarém/AM              | Caminhão tanque             | 10 mil L             |
| 16   | 2013 | Manaus/AM                | Balsa                       | 60 mil L             |
| 17   | 2013 | Manaus/AM                | Balsa                       | 15 mil L             |
| 18   | 2013 | Jaraguari/MS             | Caminhão tanque             | 30 mil L             |
| 19   | 2013 | Barbacena/MG             | Caminhão tanque             | 40 mil L             |
| 20   | 2013 | São José do Barreiro/SP  | Oleoduto                    | 49 mil L             |
| 21   | 2013 | Santarém/AM              | Balsa                       | Não estimado         |

**Fonte:** Adaptado de CETESB (2013).

#### 2.2.4 O óleo e sua dinâmica no meio terrestre

Os componentes principais do petróleo são os hidrocarbonetos, compostos basicamente de átomos de carbono e hidrogênio ligados entre si. Os hidrocarbonetos são amplamente utilizados no cotidiano para fabricação de plásticos, borrachas, parafina e combustíveis (gasolina, diesel, gás natural) (FOGAÇA, et al., 2014). Esses compostos

originam-se de combustíveis fósseis, formados pela decomposição de restos de animais e vegetais a milhões de anos. Eles possuem facilidade de oxidação e capacidade de liberação de muita energia, motivo pelo qual são tão utilizados como combustíveis.

A gasolina é basicamente composta pelos BTEX: hidrocarbonetos hidrofóbicos, monoaromáticos, benzeno, etileno, tolueno, etilbenzeno, além de orto, meta e para xilenos. Estes compostos apresentam baixa viscosidade, são muito solúveis em água e de difícil remoção, tornando a gasolina um potente contaminante de aquíferos (CASARINI, 1996). De acordo com Finotti e Caicedo (2001), outro fator que aumenta consideravelmente a solubilidade da gasolina em água é o fato de, no Brasil, a ela ser adicionado o álcool etílico anídrico, cuja função é melhorar a octanagem e diminuir a emissão de monóxido de carbono. O etanol, apesar de não apresentar alta toxicidade, não é degradado nem biodegradado, tendendo a permanecer no ambiente durante várias décadas.

Os compostos mais importantes do diesel estão na classe dos aromáticos polinucleados, como naftalenos e o benzeno(a), pireno, por apresentarem maior mobilidade e por terem sido encontradas evidências de ser carcinogênico, respectivamente (FINOTTI; CAICEDO, 2001).

Em um evento de derramamento de óleo no meio terrestre, há uma diversidade de ambientes que o óleo pode atingir. O comportamento do óleo depende, em primeiro momento, do tipo de cobertura do solo. Já o impacto biológico potencial irá depender do ecossistema onde o óleo foi derramado (ONWURAH et al., 2007).

Caso o solo seja impermeável, o óleo flui de acordo com a declividade da superfície, podendo formar poças ou entrar em valas, drenagens ou em algum curso d'água. Se o solo não for impermeável, ou o óleo alcance uma superfície permeável, esse se move ao subsolo, sob influência da ação da gravidade e capilaridade (BTC, 2011). A extensão superficial da área atingida pelo óleo depende também do tipo de solo, onde materiais mais porosos serão mais permeáveis e apresentarão espalhamento superficial inferior do que solos impermeáveis, entretanto, a profundidade de penetração será maior.

Quando ocorre o derramamento de gasolina em solos, por exemplo, uma das principais preocupações é a contaminação das águas subterrâneas, que também podem contaminar, especialmente, os aquíferos que são usados como fontes de abastecimento de água para o consumo humano (CUSTANCE et al., 1992). Outro agravante da gasolina é a sua variada composição química, que favorece o potencial patogênico, pois alguns hidrocarbonetos são facilmente absorvidos pelo organismo humano, tanto pela via oral, quanto respiratória ou

dermal, de caráter carcinogênico em múltiplos órgãos humanos e depressantes do sistema nervoso central (CHAKRADEO et al., 1993).

Os vazamentos de oleodutos, que podem mobilizar grandes volumes de óleo, além de acidentes em rodovias e ferrovias, podem comprometer a qualidade da água a ser utilizada pelos seres vivos, especialmente em se tratando da gasolina. Contudo, é possível prevenir e/ou amenizar estes impactos, na medida em que se conhecem alguns fatores capazes de “frear” o escoamento do contaminante.

Entre estes fatores está à classe textural do solo no qual os acidentes podem ocorrer. A classe textural refere-se inclusive à quantidade de espaços vazios no solo. Estes espaços podem ser compreendidos como o trânsito do líquido poluente, que começa a infiltrar no solo. Assim, parece claro que se o solo possui mais poros, há maior possibilidade de infiltração, chegando mais rapidamente aos aquíferos (FOGAÇA et al., 2014), portanto o combustível alcança o reservatório subterrâneo mais rapidamente e inicia-se a interação gasolina-água.

Sabe-se também que alguns solos são mais eficientes na retenção de fluidos, ou seja, devido a sua composição granulométrica e às associações químicas que podem fazer, eles conseguem reter determinadas quantidades de um líquido em sua superfície, pois oferecem uma espécie de barreira que dificulta a percolação do contaminante.

Os solos argilosos são aqueles com teor de argila superior a 35%, possuem baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água. Ao passo que solos arenosos possuem teores de areia superiores a 70% e de argila inferiores a 15%, são permeáveis, leves, de baixa capacidade de retenção de água e, portanto, elevadas perdas por movimentação do fluido (EMBRAPA, 2003).

No caso de um vazamento, o líquido entra em contato com o solo e, por forças gravitacionais e interações intermoleculares ocorre o transporte do combustível dentro do horizonte do solo, convergindo e interagindo para a água. Estes fenômenos são dependentes de algumas variáveis, tais como, a presença e densidade de fraturas do sistema rochoso, a profundidade do lençol freático, a viscosidade do fluido, compactação do solo e, principalmente, a sua textura. O Quadro 2 apresenta algumas propriedades de óleos e derivados, correlacionando-os com o espalhamento.

Para o entendimento da dinâmica do óleo em meio formado por materiais inconsolidados, será adotado como referência o solo. Ao incidir sobre estes, o óleo pode ser adsorvido, transportado pelo vento ou pelas águas de escoamento superficial, lixiviado pelas águas de infiltração, passando a camadas inferiores e atingindo águas subterrâneas. Alcançando

as águas subterrâneas, o óleo poderá ser carregado a outras regiões, por meio de fluxo das águas (VIANA, 2009).

**Quadro 2.** Propriedades que afetam o comportamento de óleos e derivados.

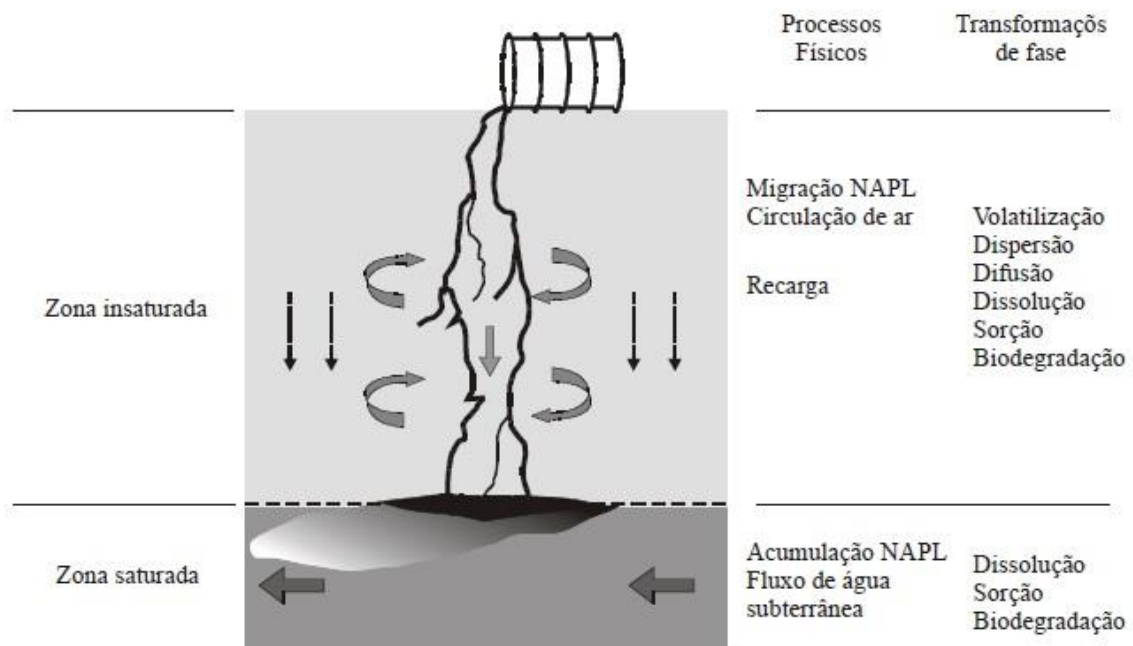
| Propriedade                             | Descrição                                        | Óleo cru<br>(média) | Gasolina | Diesel      | Óleo<br>Combustível | Óleo<br>Lubrificante | Óleo<br>Isolante | Relação com o Derramamento                                               |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|----------|-------------|---------------------|----------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <b>Viscosidade</b>                      | Resistência ao fluxo                             | B-A                 | B        | B           | A                   | M                    | M                | Baixa viscosidade, facilita a percolação.                                |
| <b>Tensão superficial</b>               | Resistência ao espalhamento sobre outro líquido. | A                   | B        | A           | A                   | M                    | M                | Baixa tensão superficial, acelera a percolação.                          |
| <b>Volatilidade</b>                     | Tendência à evaporação.                          | B                   | A        | B           | Mb                  | B                    | B                | Alta volatilidade, favorece a evaporação.                                |
| <b>Solubilidade relativa</b>            | Tendência a dissolução em água.                  | Mb                  | Mb       | Mb          | Mb                  | B                    | B                | Podem ter componentes tóxicos.                                           |
| <b>Densidade (gravidade específica)</b> | Tendência à afundar na água.                     | M-A                 | B        | B           | M-A                 | M                    | M                | Se mais pesados que a água, geralmente afundam.                          |
| <b>Emulsificação</b>                    | Tendência a formar suspensão estável com água.   | B-A                 | Mb       | B           | A                   | B                    | B                | Alta emulsificação espalha o óleo em toda coluna d'água.                 |
| <b>Ponto de fluidez</b>                 | Temperatura mais baixa na qual o óleo flui.      | B                   | B        | B<br>(20°F) | B (60°F)            | A (10°F)             | A (67°F)         | A taxa de espalhamento diminui com a proximidade da temperatura.         |
| <b>Ponto de inflamação</b>              | Temperatura na qual ocorre ignição.              | M                   | Mb       | M           | A                   | Ma                   | Ma               | Se alto, combinado com alta volatilidade, pode gerar perigo de explosão. |

A= Alta, B= Baixa, M= Média/ Moderada, Ma= Muito Alta, Mb= Muito Baixa, MA= Média a Alta, BA= Baixa a Alta.

**Fonte:** USDA (1993a).

Quando em contato com o meio físico, a trajetória de transporte de contaminantes orgânicos pode ser modelada segundo dois estágios (Figura 2). O primeiro compreende todos aqueles processos que ocorrem inteiramente acima do nível freático, ou seja, na zona vadosa. O segundo considera os processos dentro do aquífero freático em pequenas profundidades e pode ser caracterizada através de poços de monitoramento.

**Figura 1.** Estrutura do modelo de transporte de NAPLs.

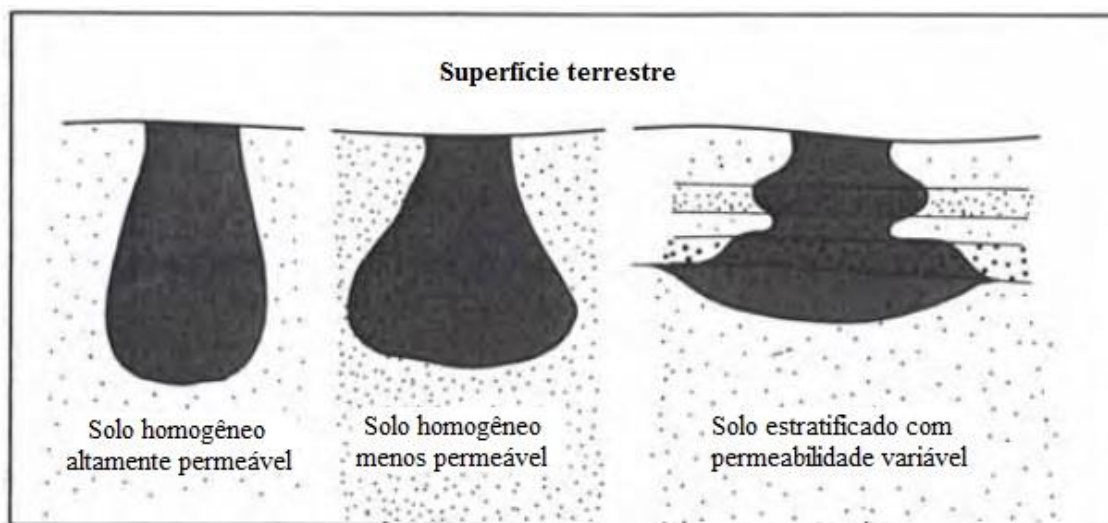


**Fonte:** Modificada de (DAY, 2011).

O óleo que penetra no solo irá mover-se descendentemente sob influência da gravidade e da capilaridade. Em um solo homogêneo, não estratificado ou sem variações na distribuição do tamanho dos poros, a infiltração é em forma de “pêra” (Figura 3).

O espalhamento vertical é resultado da gravidade, enquanto o componente horizontal é orientado pela capilaridade (FUSSELL et al., 1981; GUIGUER, 1996). Em um solo heterogêneo, a migração se dá principalmente no sentido vertical em estratos permeáveis, aumentando o espalhamento horizontal em estratos menos permeáveis (FUSSELL et al., 1981).

**Figura 2.** Generalização das formas de percolação do óleo, conforme o tipo do solo.



Fonte: Fussel et al. (1981).

O NAPL (*non-aqueous phase liquid*), de acordo com Moreira e Dourado (2005), pode ser dividido como “fase líquida não aquosa leve” (LNAPL- *ligh non-aqueous phase liquid*), quando menos denso que a água, ou com “fase líquida não aquosa densa” (DNAPL- *dense non-aqueous phase liquid*), quando mais densos que a água. Hidrocarbonetos de petróleo presentes em combustíveis como gasolina, querosene e diesel são LNAPL (CODUTO, 1998).

No contexto de transporte do óleo no substrato, com enfoque na densidade, tanto o LNAPL quanto o DNAPL irão depender da quantidade liberada (e infiltrada) no meio. No caso de um pequeno volume de LNAPL derramado, este ficará retido à zona não saturada, ou seja, aquela que se estende desde a superfície do chão até o topo da franja capilar e contém vapor do solo e uma quantidade menor de água do solo (GUIGUER, 1996). Os componentes voláteis de LNAPL tendem a se particionar, ficando uma parte no solo e outra no ar.

Entretanto, quando um grande volume de LNAPL infiltra, o óleo migra até encontrar uma barreira física, como um estrato de baixa permeabilidade. Devido à sua baixa capilaridade, os LNAPLs flutuam próximo ao nível d’água subsuperficial, na zona de capilaridade (FERREIRA; ZUQUETTE, 1998).

No caso do DNAPL, há uma dinâmica semelhante ao da LNAPL, na zona não saturada, impedindo que o óleo chegue ao lençol freático, caso a saturação residual do solo não seja atingida. Volumes elevados de DNAPL, muito superiores ao nível de saturação residual, infiltram, atravessando a franja capilar e atingem a zona saturada, mantendo o fluxo, até atingir

a condição de saturação residual, constituindo um sistema trifásico composto por DNAPL, água e sólidos. (FERREIRA; ZUQUETTE, 1998).

Tanto o LNAPL quanto o DNAPL tendem a seguir um caminho complexo que irá depender das características da rocha, tais como densidade de fraturas, orientação e distribuição das aberturas (NEWELL et al., 1995; HULING; WEAVER, 1991). Desta forma, independente do volume, o óleo pode alcançar regiões profundas de forma muito rápida, pois a capacidade de retenção da rocha tende a ser muito baixa (MACKAY; CHERRY, 1989).

#### 2.2.5 Compartimentação Fisiográfica

Segundo Vedovello e Mattos (1998), a compartimentação fisiográfica consiste em dividir uma determinada região de interesse, em unidades/compartimentos que apresentem, internamente, as mesmas características e que sejam distintas das áreas adjacentes. Essas zonas homogêneas (homólogas) estabelecidas são representadas como polígonos, correspondentes à área do terreno.

Esta etapa, segundo Zuquette e Gandolfi (2004), tem sido frequentemente utilizada como etapa preliminar de zoneamento do meio físico, para elaboração de modelos teóricos de evolução do terreno, de forma a diminuir e orientar os trabalhos de campo, as amostragens e os ensaios laboratoriais, colaborando para obtenção de resultados mais consistentes na caracterização das unidades geológico-geotécnicas.

A compartimentação fisiográfica pode ser entendida como a identificação na imagem de sensoriamento remoto de divisões fisiográficas, em diferentes níveis hierárquicos de classificação, relacionadas às condições morfoambientais e genéticas de uma dada região. (VEDOVELLO, 1993). O princípio utilizado na compartimentação é que os elementos fisiográficos são resultantes da interação de fatores litológicos, tectônicos, climáticos e morfogenéticos. Esta interação é apresentada sob formas particulares em cada região, determinando, desta forma, diferentes paisagens (VEDOVELLO; MATTOS, 1998).

O procedimento detalhado para a compartimentação fisiográfica é apresentado por Vedovello (2000). A identificação dos compartimentos fisiográficos, delimitando porções do terreno que se distinguem das áreas vizinhas, definem as Unidades Básicas de Compartimentação – UBC.

As UBCs constituem as menores unidades de análise do terreno, obtidas a partir da fotointerpretação sistemática de elementos texturais e tonais em produtos de sensoriamento

remoto. Esta análise sistemática é feita com base nas diferenças de homogeneidade, tropia e assimetria de elementos texturais e tonais das imagens de satélite. Considera-se ainda, propriedades e características do terreno tais como tipo de elemento textural, densidade de textura, arranjo textural, grau de estruturação e ordem de estruturação dos elementos, segundo abordagem adaptada de Soares e Fiori (1976).

Este trabalho utilizou como base o mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBC), efetuado pela SMA (2014), que teve como referência os mapas geomorfológico do Estado de São Paulo, de Ross e Moroz (1997) e geológico do Estado de São Paulo, compilado por Perrota et al. (2005). Nessa identificação das UBCs, foram definidos quatro níveis hierárquicos que a seguir são detalhados no Quadro 3.

**Quadro 3.** Níveis hierárquicos para delimitação das UBC tendo como referências os mapas geomorfológico (ROSS; MOROZ, 1997) e geológico do estado de São Paulo PERROTA et al., 2005).

| Nível 1 – Unidades morfoestruturais                                                                                    | Nível 2 – Unidades morfoesculturais                                                                                                                                 | Nível 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Nível 4                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Coberturas Sedimentares Inconsolidadas - Pleistoceno e Holoceno (Quaternário); Símbolo: Q (quaternário)                | Planícies Fluviais. Depósitos aluvionares associados à drenagem atual; distribuem-se por todo o Estado cortando as unidades anteriores<br>Símbolo: A (aluvião)      | 1 Paraná, 2 Paraíba do Sul, Ribeira, 3 Tietê, outros<br>Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para o rio)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Ubc1, ubc2, etc<br>Símbolo: U1, U2, Un |
|                                                                                                                        | Planícies Litorâneas. Depósitos marinhos, fluviais e mistos que formam as planícies costeiras do Litoral do Estado<br>Símbolo: L (litorânea)                        | 1 Iguape-Cananéia, 2 Praia Grande-Iperoíbe, 3 Santista, 4 Bertioga, 5 Litoral Norte, outros<br>Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Ubc1, ubc2, etc<br>Símbolo: U1, U2, Un |
|                                                                                                                        | Depósitos coluvionares e de talus associados a encostas montanhosas e depósitos colúvio-eluvionares e coberturas detríticas indiferenciadas<br>Símbolo: C (colúvio) | Planaltos, serras ou morros isolados aos quais os depósitos coluvionares se associam. Ex.: depósitos coluvionares associados à escarpa da Serra do Mar – Caraguatatuba<br>Unidades Qce, Qdi, do mapa geológico;<br>Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)                                                                                                                                                                                                                | Símbolo: U1, U2, Un                    |
| Bacias Sedimentares do Mioceno e Paleógeno (Terciário); Símbolo: T (terciário)                                         | Sem divisão nesse nível.<br>Símbolo: X (sem divisão)                                                                                                                | 1 Planalto de São Paulo, 2 Depressão Médio Paraíba, 3 Depressão do Baixo Ribeira, 4. Formação Rio Claro, outros<br>Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ubc1, ubc2, etc<br>Símbolo: U1, U2, Un |
| Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná - Depressão Periférica (Paleozóico-Triássico); Símbolo: D (depressão periférica)    | Depressão indiferenciada (símbolo D), Planaltos, (símbolo P), serras/escarpas (E), morros isolados (M)                                                              | 1 Depressão Moji-Guaçu, 2 Depressão Médio Tietê, 3 Depressão Paranapanema, Outros<br>Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Ubc1, ubc2, etc<br>Símbolo: U1, U2, Un |
| Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná - Planalto Ocidental Paulista Símbolo: O (planalto ocidental); (Jurássico-Cretáceo) | Planalto Centro Ocidental indiferenciado (símbolo O), Planaltos (símbolo P), serras/escarpas (E), morros isolados (M)                                               | 1 Planalto Centro Ocidental, 2 Planalto em Patamares Estruturais de Ribeirão Preto, 3 Planaltos Residuais de Franca/Batatais, 4 Planalto Residual de São Carlos, 5 Planalto Residual de Botucatu, 6 Planalto Residual de Marília<br>Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade)                                                                                                                                                                                               | Ubc1, ubc2, etc<br>Símbolo: U1, U2, Un |
| Cinturão Orogênico do Atlântico; Símbolo: P (Proterozóico)                                                             | Planaltos (símbolo P), serras/escarpas (E), morros isolados (M)                                                                                                     | 1 Planalto da Mantiqueira, 2 Planalto da Bocaina, 3 Planalto de Paraitinga/Paraibuna, 4 Planalto de Ibiúna/São Roque, 5 Planalto de Jundiá, 6 Planalto de Serra Negra/Lindóia, 7 Planalto Paulistano/Alto Tietê, 8 Planalto do Alto Rio Grande, 9 Planalto do Ribeira/Turvo, 10 Planalto de Guapiara, 11 Planalto do Médio Vale do Paraíba, 12 Serra do Mar, 13 Serra da Mantiqueira, 14 Serra da Bocaina, 15 Morros Isolados,<br>Símbolos: 1, 2, 3, ... , n (conforme o número arbitrado para a unidade) | Ubc1, ubc2, etc<br>Símbolo: U1, U2, Un |
| Corpos D'Água                                                                                                          | Corpos D'Água                                                                                                                                                       | 1. Represa Paraibuna;<br>2. Represa Paranapanema; etc                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | A1, A2, etc                            |

**Fonte:** Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2014).

### 2.2.6. Metodologias analisadas

Foi efetuado o levantamento bibliográfico sobre os métodos existentes para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes terrestres, para posterior seleção de uma metodologia principal a ser aplicada, após as modificações necessárias.

Poucas são as metodologias aplicadas aos ambientes terrestres. As metodologias que se adequam à elaboração das cartas SAO em regiões costeiras e marítimas e os atributos considerados, devem ser distintos de uma carta de sensibilidade ambiental para regiões terrestres, pois os condicionantes do ambiente são diferentes. Assim como nos ambientes costeiros e fluviais, as cartas de sensibilidade ambiental ao óleo para os ambientes terrestres podem auxiliar não só em análises e avaliações ambientais, definição de áreas sensíveis, planos de contingência e operações de combate, mas também em gerenciamento de risco.

Os estudos envolvendo Cartas SAO em ambiente terrestre e, mais propriamente dito, ao redor de rodovias, ainda se encontram em fase inicial, com poucos estudos que possam ser utilizados como embasamento. Dentre os estudos pioneiros desse modal, são apresentados o trabalho de Oliveira et al. (2003), Mendes et al. (2005), Mattos (2008) e Martins (2012).

De acordo com Oliveira et al (2003), classificar a sensibilidade ambiental em áreas terrestres é tarefa muito mais complexa do que em áreas costeiras, pois nas últimas, de uma forma generalizada, basta uma classificação com ênfase na geomorfologia da estreita zona das marés, representada, cartograficamente, pelas linhas de costa (região tangenciada por uma suposta mancha de óleo). Além disto, os ambientes analisados para as regiões costeiras se restringem basicamente a praias, costões rochosos, estruturas artificiais e áreas de manguezais. Quando se trata de áreas terrestres torna-se necessária a identificação de unidades espaciais de sensibilidade, onde é contemplada toda a variedade de combinações tanto do relevo do terreno, quanto da natureza dos solos, das rochas e do tipo de ocupação superficial.

Em vista disto, Oliveira et al (2003) consideraram três parâmetros iniciais na identificação das unidades de sensibilidade em ambientes terrestres: a trajetória, o espalhamento e a permanência do contaminante (Quadro 4), os quais devem ser analisados sob uma visão particular, de acordo com a área estudada.

O procedimento adotado pelos autores foi dividido em duas etapas:

Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade do meio físico, obtido através da superposição de mapas de Declividade, Geológico e Pedológico, juntamente com a análise dos condicionantes citados acima (trajetória, espalhamento e permanência).

Elaboração do Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Petróleo e seus Derivados em áreas terrestres, obtido através da superposição do Mapa de Vulnerabilidade com o Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal.

A sensibilidade foi dividida em cinco classes: baixíssima, baixa, média, alta e altíssima.

**Quadro 4.** Parâmetros incluídos nos mapas de sensibilidade ambiental para dutos terrestres.

| <b>Parâmetros</b> | <b>Descrição</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Trajetória        | O escoamento do fluido é definido pela declividade e pelo tipo de relevo. O escoamento iniciará pelo do ponto de vazamento, pela linha de máxima declividade da encosta e pelo sulco de drenagem mais próximo, seguindo sempre o sentido dos talwegues em direção à drenagem principal. A complexidade do relevo e da ocupação do solo promoverá igual complicação no trajeto, ampliando a área atingida, retardando o escoamento e complicando os procedimentos de contingência. Na rede de drenagem representada nos mapas é imediata a identificação da trajetória, uma vez reconhecido o primeiro curso d'água atingido. |
| Espalhamento      | Considera-se, também, a penetração do contaminante no substrato, além das variáveis do relevo na expansão superficial da área atingida. Quando é alcançada a drenagem, o espalhamento será o próprio corpo d'água e suas margens alagadiças; entretanto, dependendo do volume do vazamento e este se dando em um local mal drenado (baixa declividade) ou com drenagem seca, haverá espalhamento imediato sobre solo e rochas expostas, causando penetração no substrato.                                                                                                                                                    |
| Permanência       | A permanência do contaminante deve ser analisada por dois aspectos: período em que o fluido                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>fica na superfície (maior interação com o meio atingido) e dificuldade de remoção (aumentando o tempo de interação). Nos locais de alta declividade o escoamento é rápido e a penetração é insignificante. Nos locais de baixa declividade o espalhamento superficial e a permanência são maiores, propiciando maior interação com o meio e, maior penetração no solo. Solos bem estruturados com horizonte B mais espesso permitem maior penetração. Solos ricos em matéria orgânica têm maior capacidade de absorção, propiciando maior longevidade. A irregularidade do leito dos rios e de suas margens, como depósitos de blocos de rocha, corredeiras e cachoeiras, reentrâncias das margens, etc. criam abrigos para maior retenção dos fluidos, assim como também a ocupação do solo e a sua cobertura vegetal.</p> |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Fonte:** Oliveira et al (2003).

Destaca-se o trabalho de Mendes et al. (2005) que elaboram um Mapeamento de Risco Ambiental – MARA, em faixas de dutos. De acordo com Mendes et al. (2005) busca-se identificar as áreas capazes de serem atingidas por vazamentos de óleo e analisar as ações de contingência necessárias para os locais. Segundo Mendes et al. (2005) “a metodologia não busca avaliar o Risco Ambiental, mas o analisa perante a sensibilidade dos ambientes terrestres das regiões próximas sob interferência do duto.”. O índice de sensibilidade ambiental proposto baseia-se na biodiversidade, recuperação ambiental e sensibilidade dos habitats (Quadro 5).

A avaliação da repercussão ambiental, na indústria do petróleo, além de multidisciplinar, passa por diversos enfoques e profundidades, como o impacto direto a determinadas espécies, a análise da cadeia alimentar e desdobramentos socioeconômicos locais e regionais.

Mendes et al. (2005) criaram mapas temáticos que apresentaram características da hidrografia passível de impacto, malhas viárias, unidades de conservação, uso do solo, fauna e classificação da sensibilidade ambiental (ambientes naturais). A indicação dos elementos ambientais sensíveis, localizados ao longo do duto e das drenagens, facilita a focalização de pontos que deveriam ser prioritariamente protegidos (críticos), podendo assim gerar um mapa com a classificação da sensibilidade ambiental local.

**Quadro 5.** Classificação de sensibilidade ambiental ao óleo para Dutos, proposta por Mendes et al.

| AMBIENTES / HABITATS                          | Biodiversidade          |                                              | Recuperação ambiental            |                                               |                                  | Sensibilidade          |                     |
|-----------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|---------------------|
|                                               | RARIDADE ESPÉCIES RARAS | GRAU DE COMPLEXIDADE DA COMUNIDADE BIOLÓGICA | PERSISTÊNCIA DO ÓLEO NO AMBIENTE | GRAU DE COMPLEXIDADE DAS OPERAÇÕES DE LIMPEZA | RESTRITÕES À REGENERAÇÃO NATURAL | NÍVEL DE SENSIBILIDADE | CLASSIFICAÇÃO FINAL |
| CAMPO / CAMPO DE ALTITUDE                     | 1                       | 1                                            | 1                                | 1                                             | 1                                | 5                      | 1a                  |
| VEGETAÇÃO DE DUNAS                            | 1                       | 1                                            | 1                                | 1                                             | 1                                | 5                      | 1b                  |
| CAMPO DE RESTINGA                             | 2                       | 1                                            | 2                                | 1                                             | 2                                | 8                      | 2                   |
| CERRADO / CAMPO CERRADO                       | 2                       | 2                                            | 2                                | 1                                             | 2                                | 9                      | 3                   |
| MATA CILIAR (RIO ENCAIXADO)                   | 2                       | 2                                            | 2                                | 2                                             | 2                                | 10                     | 4                   |
| COMUNIDADES RUPESTRES (LITORÂNEAS)            | 3                       | 3                                            | 1                                | 1                                             | 3                                | 11                     | 5a                  |
| CAMPO RUPESTRE                                | 3                       | 3                                            | 1                                | 1                                             | 3                                | 11                     | 5b                  |
| FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL              | 3                       | 2                                            | 2                                | 2                                             | 2                                | 11                     | 5c                  |
| JUNDU (ESCRUBE)                               | 2                       | 2                                            | 2                                | 3                                             | 3                                | 12                     | 6a                  |
| MATA DE RESTINGA SOBRE/ENTRE CORDÕES ARENOSOS | 3                       | 3                                            | 2                                | 2                                             | 2                                | 12                     | 6b                  |
| MATAS DE TRANSIÇÃO RESTINGA / ENCOSTA         | 2                       | 3                                            | 1                                | 3                                             | 3                                | 12                     | 6c                  |
| FLORESTA OMBRÓFILA DENSE ATLÂNTICA            | 2                       | 3                                            | 1                                | 3                                             | 3                                | 12                     | 6d                  |
| CERRADÃO                                      | 3                       | 2                                            | 3                                | 2                                             | 2                                | 12                     | 6e                  |
| MATAS DE RESTINGA PALUDOSA                    | 3                       | 3                                            | 3                                | 3                                             | 2                                | 14                     | 7                   |
| MATA CILIAR (VÁRZEA/ALAGADO)                  | 3                       | 3                                            | 3                                | 3                                             | 3                                | 15                     | 8                   |

**Fonte:** Mendes et al. (2005).

O estudo de Mattos (2008) enfocou na caracterização de áreas impactadas por rodovias que apresentam um fluxo de transporte de produtos perigosos e, destacam-se os atributos biológicos, físicos e socioeconômicos da região, em mapas digitais. Além desses dados, Mattos (2008) analisou a condição da rodovia, os tipos de veículos e serviços disponíveis na mesma, e associou todas essas informações em uma única base cartográfica, dentro de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

O trabalho apresenta como estudo de caso o mapa de sensibilidade ambiental de uma rodovia no Rio Grande do Norte, considerada uma das rodovias mais perigosas do país, devido ao intenso transporte de petróleo e derivados (Mattos, 2008).

Mattos (2008) propôs uma metodologia baseada nas seguintes etapas:

1. Mapeamento de rodovias dentro de um banco de dados geográfico.
2. Análise dos dados obtidos a partir de parâmetros estabelecidos (socioeconômico, físico, biótico, estrutura da rodovia, operações na rodovia e emergências).
3. Atribuição de pesos para cada parâmetro analisado (socioeconômicos, físicos e bióticos – peso 1.5, estrutura da rodovia – peso 2.0, operações – peso 3.0 e serviços de emergência – peso 1.0).
4. Desenvolvimento do mapa de sensibilidade ambiental da rodovia e do Índice de Sensibilidade Ambiental.

Além disso, Mattos (2008) afirma que as informações georreferenciadas devem ser analisadas e relacionadas com as outras informações coletadas e, a rodovia deve ser dividida em trechos (10 km para áreas fora do perímetro urbano e 3 km para trechos que estão dentro do perímetro urbano), para se determinar com mais precisão a interferência do tráfego de cargas perigosas.

Cada trecho deve ser avaliado a fim de receber um valor (0.0, 0.5 ou 1.0) de acordo com as condições estruturais e ambientais da rodovia. Esses valores serão multiplicados pelo peso pré-determinado para cada parâmetro, obtendo-se assim um valor parcial de sensibilidade ambiental dos trechos.

Segundo Mattos (2008), para a obtenção de um Índice de Sensibilidade Ambiental da Rodovia mais consistente, é necessário adicionar as estatísticas de acidentes registrados em cada trecho da rodovia, para determinar a sensibilidade de acordo com a realidade local da região. Os dados estatísticos sobre os acidentes registrados na rodovia são obtidos dividindo o número total de acidentes do mês em três intervalos, e para cada valor encontrado, são atribuídos valores estabelecidos (0.0, 0.5 ou 1.0). A Tabela 1 apresenta os intervalos propostos para a divisão.

**Tabela 1.** Valores de intervalos e seu respectivo valor atribuído.

| <b>Intervalos</b> | <b>Valor atribuído ao resultado obtido</b> |
|-------------------|--------------------------------------------|
| 0 – $n/3$         | 0.0                                        |
| $n/3$ – $2n/3$    | 0.5                                        |
| $2n/3$ – n        | 1.0                                        |

\*n = número total de acidentes

**Fonte:** Adaptado de Mattos (2008)

Por fim, o Índice de Sensibilidade Ambiental da Rodovia (ISR) é obtido através da soma do Índice Parcial de Sensibilidade com o Índice de Acidentes na Rodovia. O resultado final (ISR) recebe um peso de acordo com o seu resultado. A Tabela 2 apresenta os pesos para cada valor obtido.

**Tabela 2.** Valores finais de Índice de Sensibilidade Ambiental para Rodovias (ISR).

|              |                               |
|--------------|-------------------------------|
| <b>Alto</b>  | $10,0 \leq$<br>$ISR \geq 6,7$ |
| <b>Médio</b> | $6,6 \leq$<br>$ISR \geq 3,4$  |
| <b>Baixo</b> | $3,3 \leq$<br>$ISR \geq 0,0$  |

**Fonte:** Mattos (2008)

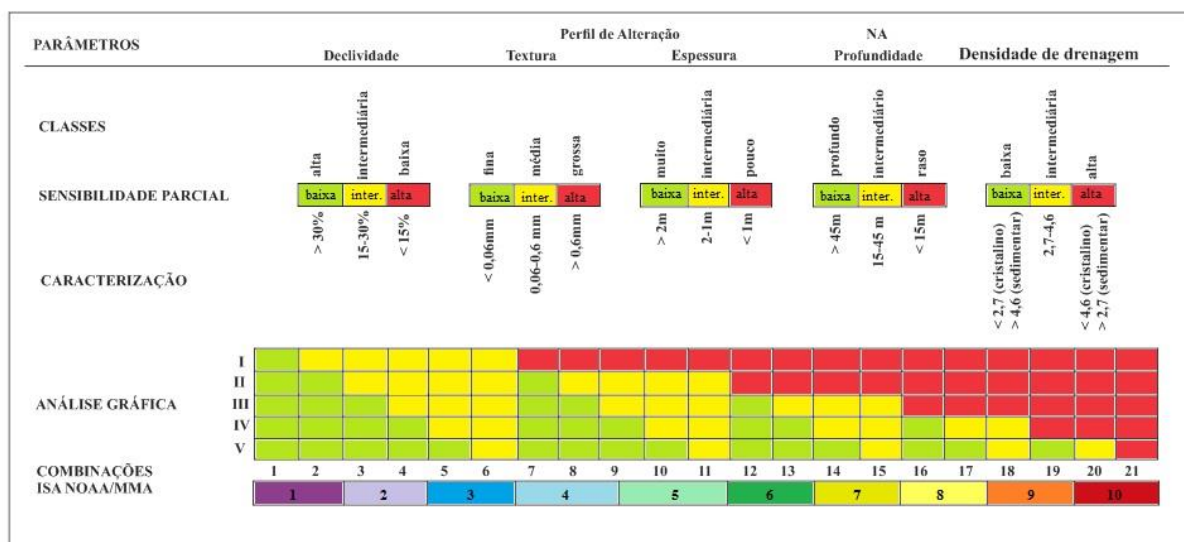
Martins (2012) apresentou uma proposta de metodologia para a elaboração de uma Carta SAO para ambientes adjacentes às rodovias, utilizando aplicações geotecnológicas, onde os índices são ancorados nas características do meio físico. O autor utilizou como área de estudo cinco trechos da Estrada dos Tamoios (SP – 099) localizada no estado de São Paulo.

A proposta de Martins (2012) foi um Índice de Sensibilidade Terrestre (IST) que apresentava como variáveis os seguintes aspectos: a declividade do terreno, a textura e a profundidade do perfil de alteração, a profundidade do nível d'água e a permeabilidade relativa. Desta forma, os índices basearam-se “nos processos físicos que controlam a deposição do óleo, persistência ou longevidade do óleo no ambiente e extensão do dano biológico” (GUNDLACH e HAYES, 1978).

O trabalho do autor se baseou na utilização de técnicas de fotointerpretação e geoprocessamento, com destaque da compartimentação fisiográfica de trechos da região em estudo, a fim de determinar a persistência natural do óleo e sua facilidade de limpeza, através das características homogêneas da região, identificadas por esse método.

Para adequar o IST as normas propostas pela NOAA, Martins (2012) realizou uma análise gráfica, atribuindo cores para cada nível de sensibilidade (verde – baixa; amarelo – intermediária; vermelho – alta) (Figura 4).

**Figura 4.** Análise gráfica realizada nas classes de variáveis utilizadas no desenvolvimento do IST.



**Fonte:** Martins (2012).

A partir da análise gráfica, foram obtidas 21 combinações entre as variáveis. De posse dessas informações, o autor realizou associações entre elas para obter apenas três classes de sensibilidade. Desta forma, as combinações que não apresentam sensibilidade parcial alta são consideradas de baixa sensibilidade final, as combinações com uma ou duas sensibilidades parciais altas são correlacionadas à sensibilidade intermediária final e os arranjos com três ou mais sensibilidades parciais altas são consideradas de alta sensibilidade final (MARTINS, 2012). O Quadro 6 ilustra parte das combinações realizadas pelo autor e o IST final atribuído.

**Quadro 6.** Exemplo de combinações para atribuição de IST.

| Áreas piloto | Segmentos | Declividade   | Textura | Espessura     | N.A.          | Densidade de drenagem | IST |
|--------------|-----------|---------------|---------|---------------|---------------|-----------------------|-----|
| A1           | A1-01     | Baixa         | Média   | Muito         | Rasa          | Baixa/S               | 8   |
|              | A1-02     | Intermediária | Média   | Muito         | Rasa          | Alta                  | 7   |
|              | A1-03     | Baixa         | Fina    | Muito         | Rasa          | Alta                  | 8   |
| A2           | A2-01     | Intermediária | Fina    | Muito         | Intermediária | Intermediária         | 2   |
|              | A2-02     | Baixa         | Fina    | Muito         | Rasa          | Intermediária         | 6   |
|              | A2-03     | Alta          | Fina    | Muito         | Intermediária | Alta                  | 4   |
|              | A2-04     | Intermediária | Fina    | Muito         | Rasa          | Alta                  | 6   |
| A3           | A3-01     | Intermediária | Grossa  | Pouco         | Rasa          | Baixa                 | 8   |
|              | A3-02     | Alta          | Média   | Muito         | Profunda      | Intermediária         | 2   |
|              | A3-03     | Alta          | Fina    | Muito         | Profunda      | Intermediária         | 1   |
|              | A3-04     | Baixa         | Fina    | Muito         | Rasa          | Intermediária/S       | 6   |
|              | A3-05     | Alta          | Média   | Muito         | Profunda      | Alta                  | 4   |
|              | A3-06     | Alta          | Fina    | Intermediária | Profunda      | Intermediária         | 2   |

**Fonte:** Martins (2012).

Por fim, o autor compilou dentro de um banco de dados de um Sistema de Informação Geográfica as informações referentes às espécies biológicas, atividades socioeconômicas, cobertura da terra e a sensibilidade ambiental ao óleo dos ambientes fluviais presentes nas áreas pilotos e desenvolveu a Carta SAO da região.

Por conseguinte, ao buscar maior conhecimento das metodologias pioneiras, para cartas de sensibilidade ambiental em ambientes terrestres; optou-se por aplicar no presente trabalho a metodologia proposta por Martins (2012) para elaborar um Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo dos parâmetros físicos da área de estudo. Esta escolha baseou-se em buscar o trabalho que contemplasse com mais objetividade os aspectos físicos do ambiente.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

Para a realização deste trabalho foi utilizado um vasto referencial bibliográfico, disponível na biblioteca da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Rio Claro, e pesquisas em bases virtuais. Destaca-se uma abrangente quantidade de teses e dissertações disponíveis sobre o tema, além de artigos e periódicos.

Utilizou-se também imagens orbitais provenientes do satélite SPOT 5, banda pancromática, com 2,5 m de resolução espacial, e bandas multiespectrais de 10 m de resolução, cedidas pelo Ministério do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Para obtenção da carta de índices de sensibilidade ambiental utilizou-se algumas cartas e imagens:

- Cartas topográficas digitais adquiridas no IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo) com escala 1:10.000, não georreferenciadas ou vetorizadas. As cartas utilizadas foram: Folha Araras I (063/093); Folha Araras II (063/094), Folha Araras III (064/093), Folha Fazenda Santo Antônio (064/094), Folha Fazenda Remanso (065/093) e Folha Usina São João (065/094).

- Carta de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) do Estado de São Paulo, obtidas a partir da fotointerpretação sistemática de elementos texturais e tonais em produtos de sensoriamento remoto, geradas em parceria do IG (Instituto Geológico) com a SMA (Secretaria do Meio Ambiente) do Estado de São Paulo. Essas cartas, em formato shapefile, apresentam uma escala de 1:50.000.

- Mapa de Rodovias do Estado de São Paulo, adquiridos no site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em formato shapefile, em escala 1:50.000

- Mapa de Municípios do Estado de São Paulo, também adquiridos no site do IBGE, em formato shapefile, em uma escala 1:50.000.

- Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, em uma escala 1: 750000, do ano de 1999, adquirido no site da EMBRAPA.

- Mapa Geológico do Estado de São Paulo, em escala 1:750000, do ano de 2006, adquirido no site da CPRM (Serviço Geológico do Brasil).

Todas essas cartas foram digitalizadas e seus dados foram vetorizados e tratados nos softwares ArcGIS 10.1 (ESRI, 2015) e Surfer 10.2 (Golden Software, Inc.). Os equipamentos

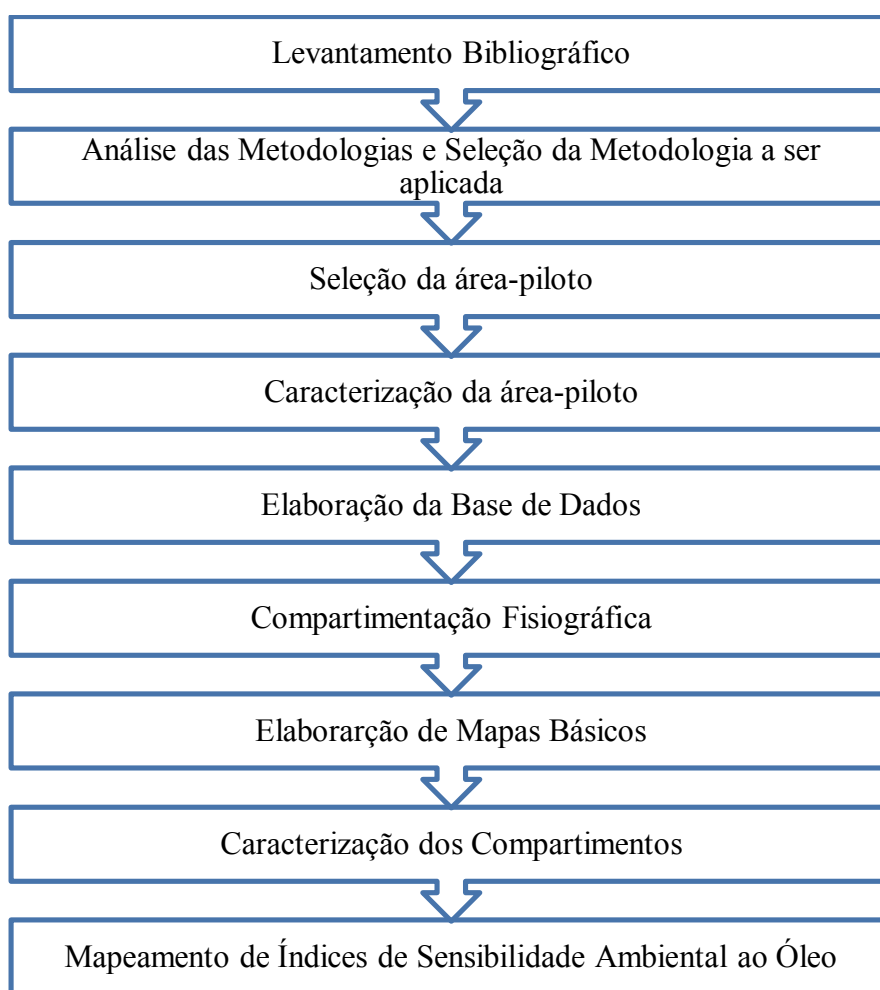
de informática usados foram computadores, scanners e impressoras disponíveis no Laboratório de Geoprocessamento, do Departamento de Geologia Aplicada (DGA), na UNESP, campus de Rio Claro.

Além dessas cartas foram utilizados os dados dos poços profundos da região da área-piloto, fornecidos pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica).

### 3.2 Métodos

As etapas da pesquisa podem ser observadas na figura 5. Deve-se ressaltar que cada etapa deste trabalho utiliza um método específico para sua realização.

**Figura 5.** Etapas de trabalho: Primeira Fase – Levantamento Bibliográfico, seleção e caracterização da área de estudo.



### 3.2.1 Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico permite a caracterização da área de estudo, além da construção da base teórica para a investigação dos parâmetros físicos dos ambientes em análise; do comportamento do óleo nesses ambientes; da sensibilidade ambiental ao óleo e conceitos relacionados.

A realização da presente pesquisa baseou-se em uma ampla bibliografia que aborda: a caracterização física dos diferentes ambientes que serão encontrados na área de estudo; publicações a respeito dos tipos de óleo e suas características; análises do comportamento do óleo e produtos tóxicos que possam impactar negativamente os ambientes abordados. Também foram consultados estudos e publicações a respeito de acidentes envolvendo produtos perigosos em rodovias, ferrovias e dutos, bem como a distribuição e comercialização de petróleo e derivados.

Para o estudo sobre sensibilidade ambiental consultou-se publicações internacionais e nacionais a respeito das Cartas SAO, destacando-se publicações específicas elaboradas sobre o mapeamento de sensibilidade aos derrames de óleo, como a “Environmental Sensitivity Index” (ESI) e a Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA), desenvolvidas pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), Serviço Nacional de Administração dos Oceanos e da Atmosfera dos Estados Unidos e também foi utilizada a publicação nacional “Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo”, elaborada pelo Ministério do Meio Ambiente, que é baseada na publicação do NOAA, adaptada às condições brasileiras.

Além dessas bibliografias, utilizou-se como consulta as publicações, estudos, teses e dissertações nacionais e internacionais a respeito de sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes terrestres, bem como estudos que envolvem sensibilidade ambiental em diversos ambientes, como subsídio para a construção de uma metodologia adequada.

### 3.2.2 Análise e seleção de metodologias

Com relação às bibliografias consideradas no capítulo 2.2.6, foi necessário uma análise de cada uma delas para definir qual seria a melhor metodologia a ser aplicada neste trabalho.

Pode-se constatar que Mendes et al (2005) não leva em consideração o meio físico, pois o trabalho é ancorado na biodiversidade e na recuperação apenas do ambiente biológico,

desconsiderando aspectos importantes do meio físico, como, por exemplo, sua permeabilidade, o que pode levar à contaminação do aquífero.

Observa-se na metodologia de Mattos (2008) que os elementos socioeconômicos e bióticos não são mostrados em camadas (layers), na representação cartográfica, porém estas características são utilizadas na composição das classes dos índices. Tal fato pode representar uma dificuldade, uma vez que estes dados são dinâmicos, o que repercute diretamente na elaboração dos índices, levando à necessidade de sua constante atualização.

Com relação à metodologia de Oliveira et al. (2003), o grande enfoque do trabalho é no uso e ocupação da terra e sua consequência na sensibilidade ambiental ao óleo, parâmetro este que não foi considerado no presente trabalho. Além disto, aspectos relevantes do meio físico, como seu grau de faturamento, não são avaliados, o que pode ser um agravante na percolação do óleo.

Ressalva-se que o Brasil é um país com grandes dificuldades econômicas e, portanto, é difícil a utilização de metodologias que propõem mapas que considerem parâmetros que podem se modificar com frequência, o que exigiria constante atualização das cartas de sensibilidade.

Vale ressaltar que se utilizam os termos “ambientes terrestres” para determinar áreas que não são compostas por ambientes litorâneos e fluviais, pois estes possuem metodologias próprias para a sensibilidade ambiental ao óleo.

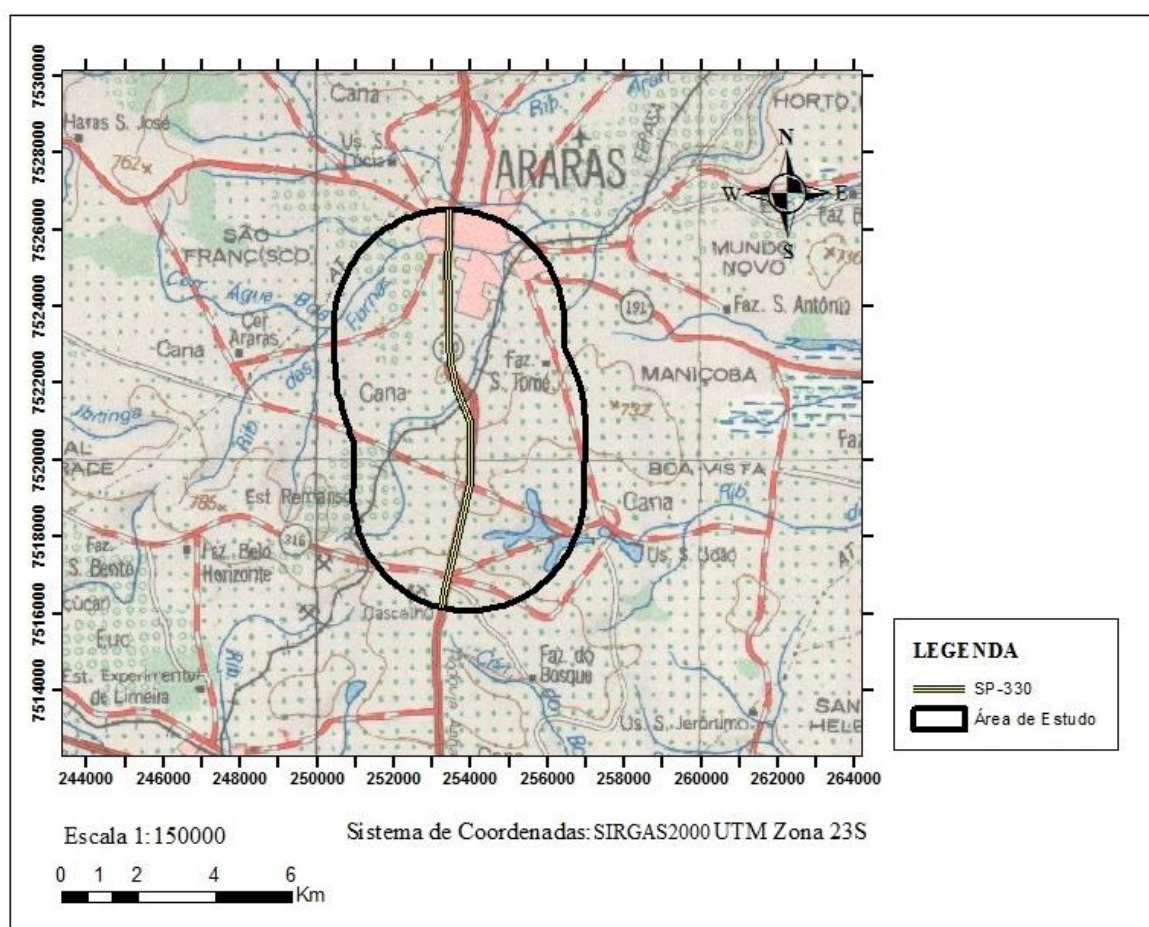
### 3.2.3 Seleção da área-piloto

Para dar continuidade ao trabalho, foi necessário estabelecer uma área de estudo de fácil acesso, próxima da cidade de Rio Claro, com heterogeneidade ambiental e geológica e que ainda apresentasse um alto tráfego de caminhões transportadores de óleo e derivados. Além disso, levou-se em consideração o alto número de acidentes com derramamento de óleo e derivados que ocorreram nas últimas décadas no local.

Sendo assim, a rodovia escolhida para aplicação deste estudo foi a Rodovia Anhanguera (SP-330). O trecho escolhido dentro da rodovia foi selecionado de acordo com a representatividade dos elementos que margeiam a rodovia, isto é, proximidade de área urbana, diversidade de cobertura vegetal, presença de corpos d'água, unidades de gestão ambiental (Área de Proteção Permanente, Unidade de Conservação, etc.), variabilidade de unidades geológicas (sedimentar e cristalina), além da escala cartográfica.

Uma vez que não foi encontrado na literatura o alcance horizontal do óleo em ocorrências de derramamentos, foi delimitada uma área de influência direta (*buffer*) de 3 km de raio, para cada lado da margem da rodovia (Figura 6). Este limite foi estabelecido a partir das experiências práticas da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) em eventos de derrame de óleo em rodovias.

**Figura 6.** Área piloto com influência direta (*buffer*) utilizadas na concepção e aplicação do método. Destaque para a Rodovia Anhanguera (SP-330). Mapa base utilizado – Topográfico, IBGE, escala 1:150000.



**Fonte:** Recortado de Mapa topográfico do IGC (1971).

### 3.2.4 Caracterização da área-piloto

Neste capítulo, apresenta-se a caracterização dos aspectos físicos da área de trabalho. Este capítulo inicia-se com a Geologia Regional, para contextualizar geologicamente a área de

estudo, seguida pela caracterização dos solos, da geomorfologia, da vegetação e de uso e cobertura da terra. Também há breve apresentação das informações gerais sobre a rodovia Anhanguera (SP-330) e do município de Araras.

#### *3.2.4.1 Geologia Regional*

A área em questão localiza-se, geologicamente, no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná. Esta bacia é uma ampla região sedimentar do continente sul-americano que inclui porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando uma área que se aproxima dos 1,5 milhão de quilômetros quadrados (MILANI et al., 2007). No Brasil, a bacia compreende parte dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais.

O registro estratigráfico da Bacia do Paraná é composto por um pacote sedimentar-magmático com aproximadamente sete mil metros de espessura.

Milani et al. (2007) classificam a Bacia do Paraná como sendo composta por seis unidades estratigráficas de ampla escala: Rio Ivaí/Ordoviciano-Siluriano, Paraná/Devoniano, Gondwana I/Carbonífero-Eotriássico, Gondwana II/Meso-Neotriássico, Gondwana III/Neojurássico-Eocretáceo e Bauru/Neocretáceo.

As primeiras três sequências citadas são constituídas por sucessões sedimentares que caracterizam ciclos transgressivo-regressivos, relacionados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozóico e, as demais sequências são constituídas por rochas sedimentares de origem continental, associadas a intrusões ígneas.

No contexto geológico da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo – Depressão Periférica, considerando o aspecto regional da Depressão Periférica, na região de Rio Claro – Piracicaba, dividiu-se as formações e grupos, baseadas na Coluna Estratigráfica proposta por Perinotto e Zaine (2008), modificada de Soares e Landim (1975), na Figura 7.

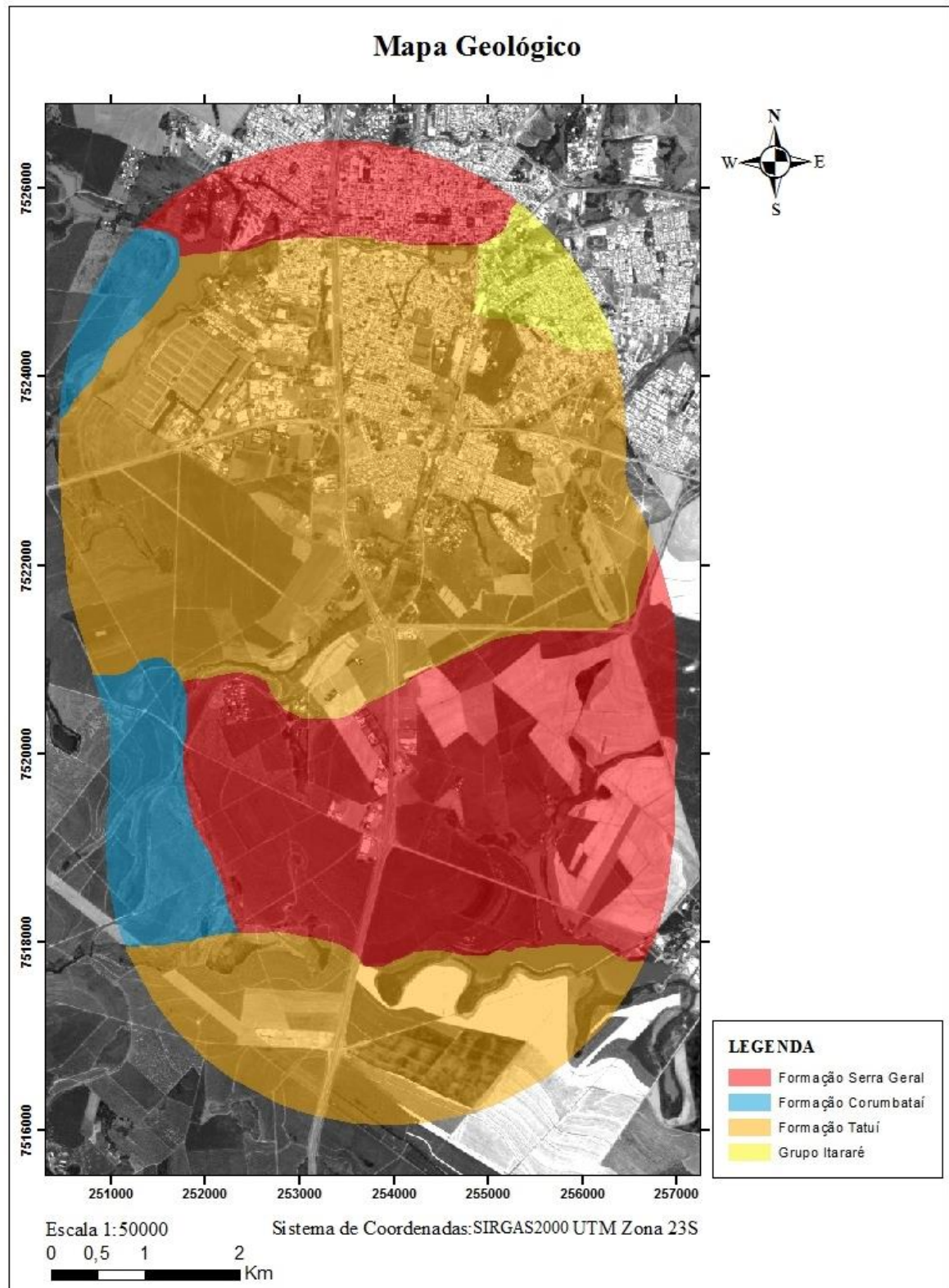
**Figura 7.** Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná, na região estudada.

| COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ NA REGIÃO |             |          |             |             |                               |                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                     |                                              |
|----------------------------------------------------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| ERA                                                | PERÍODOS    | GRUPO    | FORMAÇÃO    | LITOLOGIA   | Espe-<br>s. Média<br>(Metros) | DESCRIÇÃO SUCINTA                                                                                                                                                                 | AMBIENTE DE<br>DEPOSIÇÃO                                                                                                                                                                                            |                                              |
| CENO-<br>ZOICA                                     | QUATERNÁRIO |          | RIO CLARO   |             | 30                            | ARENITOS POUCO CONSOLIDADOS COM LENTES DE ARGILAS E NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE<br><i>(Arenitos = reservatórios de água subterrânea em poços rasos da região de Rio Claro)</i> | CONTINENTAL: PLANÍCIEALUVIAL E LACUSTRES.COLUVIÕES                                                                                                                                                                  |                                              |
|                                                    | TERCIÁRIO   | BAURU    | MARILIA     |             | 50                            | ARENITOS COM MATRIZ ARGILOSA OU CIMENTO CALCÍFERO, SILTITO                                                                                                                        | CONTINENTAL: PLANÍCIEALUVIAL E LACUSTRE                                                                                                                                                                             |                                              |
|                                                    |             |          | ADAMANTINA  |             |                               |                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                     |                                              |
|                                                    |             | CRETÁCEO | SÃO BENJ    | SERRA GERAL |                               | 100                                                                                                                                                                               | DERRAMES DEBASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE. DIQUESESOLEIRAS DE DIABÁSIO<br><i>(Basalto e diabásio = matéria-prima para brita - pavimentação e construção civil - na região de Rio Claro)</i>                 | MAGMATISMO FISSURAL                          |
|                                                    |             |          |             | BOTUCATU    |                               | 100                                                                                                                                                                               | ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRÃOS BEM ARREDONDADOS E SEM ESFERÓLOS, POUCA ARGILA                                                                                                                                  | Aquífero Guarani<br>CONTINENTAL: DESÉRTICO   |
| JURÁSSICO                                          |             |          | PIRAMBOIA   |             | 150                           | ARENITOS COM GRÃOS ARREDONDADOS E ESFERÓLOS, DIVERSOS NÍVEIS DE LAMITOS                                                                                                           | CONTINENTAL: FLUVIALEDESÉRTICO                                                                                                                                                                                      |                                              |
| MESOZOICA                                          | TRIÁSSICO   |          |             |             |                               |                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                     |                                              |
|                                                    | PALEOZOICA  | PERMIANO | PASSA DOIS  | CORUMBATAI  |                               | 100                                                                                                                                                                               | SILTITOS CONTENDO LENTES DEARENITOS FINOS<br>ARGILITOS, SILTITOS, ARENITOS FINOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMITICOS E COQUINAS<br><i>(Argilitos = matéria-prima para a indústria cerâmica da região de Rio Claro)</i> | CONTINENTAL: LACUSTRE MISTO:PLANÍCIE DE MARÉ |
|                                                    |             |          |             | IRATI       |                               | 40                                                                                                                                                                                | SILTITOS, FOLHINHOS PROBETUMINOSOS, CALCÁRIOS DOLOMITICOS<br><i>(pedreiras de calcário na região de Assisânia e Itocima)</i>                                                                                        | MISTO:LAGUNA/PLATAFORMA                      |
|                                                    |             | TUBARÃO  | PALERMO     |             | 50 (Tatuí)                    | SILTITOS ESQUITOS ARENOSOS                                                                                                                                                        | MISTO:PLANÍCIE COSTEIRA/PLATAFORMA                                                                                                                                                                                  |                                              |
|                                                    |             |          | TATUI       |             | 20 (Pal+RB)                   | ARENITOS E SILTITOS COM INTERCALAÇÕES DE DELGADAS CAMADAS DE CARVÃO                                                                                                               | CONTINENTAL: FLUVIAL/COSTEIRO MISTO:DELTAICO/MARINHO RASO                                                                                                                                                           |                                              |
|                                                    |             |          | RIO BONITO  |             |                               | ARENITOS, SILTITOS VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS SILTITOS)                                                                                                           | CONTINENTAL: GLACIAL FLUVIAL LACUSTRE                                                                                                                                                                               |                                              |
|                                                    |             |          | ITARARÉ     |             | 900                           | ARENITOS, SILTITOS VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS SILTITOS)<br><i>(Arenitos = reservatórios de água subterrânea em poços profundos da região)</i>                     | MISTO MARINHO (GLÁCIO-MARINHO)                                                                                                                                                                                      |                                              |
| CARBONÍFERO                                        |             |          | AQUIDAUANA  |             |                               | GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS, QUARTZITOS                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                     |                                              |
| Pré-Cambriano                                      |             |          | EMBASAMENTO |             |                               | GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS, QUARTZITOS                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                     |                                              |

**Fonte:** Perinotto; Zaine (2008), modificado de Soares; Landim (1975).

Dentre esses grupos e formações, vale ressaltar os que serão abordados nesse trabalho - O Grupo Itararé, a Formação Tatuí, a Formação Corumbataí e a Formação Serra Geral. Pode-se observar na Figura 8 a localização de cada unidade dentro da área estudada.

**Figura 8.** Unidades Litoestratigráficas da Área de Estudo.



**Fonte:** Mapa Geológico do Estado de São Paulo, em escala 1:500.000. IPT (1981). Recortado pela autora.

O Grupo Itararé é indiviso no Estado de São Paulo, correspondendo a uma única unidade constituída de arenitos com granulação variável, predominando granulometria média a grossa (SOARES, 1972). Ocorrem também pacotes expressivos de diamictitos e sedimentos pelíticos, representados por siltitos, folhelhos e ritmitos, podendo conter seixos e blocos erráticos. Subordinadamente, ocorrem camadas delgadas de carvão, pesquisadas pelo IPT no início dos anos 80 (CABRAL JR., 1991), antes descritas por SAAD (1977) e FULFARO et al. (1980). O Grupo Itararé atinge espessura de até 1.400 m no sudoeste do Estado, adelgaçando para nordeste.

Ascendendo na estratigrafia da área, tem-se a Formação Tatuí, de idade Eo-Permiana, bem desenvolvida na faixa de afloramentos do centro-leste do estado, sendo representada por siltitos e siltitos arenosos (PERINOTTO; ZAINE, 2008). A espessura aproximada da Formação Tatuí é de 50 metros e, de acordo com Zaine (1994), a Formação Tatuí corresponde, na região de Rio Claro, ao Grupo Guatá dos estados do sul, onde é dividido nas formações Rio Bonito e Palermo. Juntamente com o Grupo Itararé, a Formação Tatuí compõe, no Estado de São Paulo, o denominado Supergrupo Tubarão. Seu contato basal é admitido como transicional com o Grupo Itararé.

Litologicamente, é composta por siltitos e lamitos de cores verde, creme e chocolate, geralmente maciços e bioturbados, constituindo-se numa sequência eminentemente pelítica. Subordinadamente ocorrem arenitos, conglomerados e calcários.

O Grupo Passa Dois é constituído pelas formações Irati e Corumbataí, na área estudada. A Formação Irati é de idade permiana e pode ser dividida em dois membros: o Membro Taquaral e o Membro Assistência. A sequência de folhelhos e siltitos da base da formação constitui o Membro Taquaral, enquanto a seção rítmica de folhelhos cinza escuros, folhelhos pretos pirobetuminosos e calcários associados a nódulos de sílex, o Membro Assistência (SCHNEIDER et al., 1974). Esta formação apresenta espessuras da ordem de 40 metros em superfície.

A Formação Corumbataí, de idade Permiana, apresenta em sua parte inferior, argilitos, folhelhos e siltitos de cores cinza escura, e na parte superior, argilitos, folhelhos e siltitos arroxeados a avermelhados, com intercalações carbonáticas e camadas de arenitos muito finos e atinge uma espessura de 100 metros (PERINOTTO; ZAINE, 2008).

O Grupo São Bento compõe a sequência triássico-cretácica, representada pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, com registros de uma sedimentação exclusivamente continental, marcada por um clima árido a semi-árido e encerrada por um

extenso vulcanismo (magmatismo) basáltico; na área de estudos afloram apenas a Formação Serra Geral.

A Formação Serra Geral é composta por uma seqüência de rochas vulcânicas predominantemente compostas por lavas basálticas, de composição toleítica, de coloração cinza a preta, com amígdalas no topo dos derrames (ZAINÉ, 1994). Estão incorporadas aqui as rochas intrusivas associadas ao evento do vulcanismo da Bacia do Paraná, constituídas por diques e expressivas soleiras de diabásio. A extrusão das lavas foi dada por intenso vulcanismo de fissura, na primeira fase da Reativação Wealdeniana (ALMEIDA, 1967) ou Sul-Atlântica (SCHOBENHAUS et al., 1984).

De acordo com Zaine (1994), a Formação Serra Geral tem seus afloramentos na faixa de cuestas, às quais se associa pela relação litologia/erosão/relevo, e também em algumas faixas ao longo dos principais rios. Sua espessura é bastante variável, especialmente junto ao seu limite de ocorrência, podendo até estar ausente, em pleno Planalto Ocidental, como no alto estrutural de Piratininga, SP (SILVA et al., 1990). Em Presidente Epitácio, no poço perfurado pela Petrobras, foi registrada a maior espessura na bacia, ou seja, 1.529 m. Através de datações radiométricas é atribuído o intervalo do Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior à unidade aqui descrita (SCHNEIDER et al., 1974).

#### *3.2.4.2 Rodovia Anhanguera (SP-330)*

A rodovia Anhanguera (SP-330), selecionada para o desenvolvimento deste trabalho detém tráfego ativo de óleo e derivados. É uma rodovia brasileira do estado de São Paulo, considerada uma das mais bem conservadas rodovias do país, classificando-se na segunda posição do ranking elaborado através de pesquisa rodoviária de 2013, realizada pela Confederação Nacional do Transporte. Faz parte do sistema BR-050, que liga Brasília a Santos, com 453 km de extensão.

A Rodovia Anhanguera liga São Paulo com a região norte do estado e suas principais cidades industriais e a uma das mais produtivas áreas agrícolas. É uma das mais importantes rodovias do Brasil e uma das mais movimentadas, com o trecho de maior tráfego entre São Paulo e Campinas, o primeiro a ser construído. É duplicada, contendo trechos com faixas adicionais e pistas marginais. Têm um tráfego pesado, especialmente de caminhões. É considerada, juntamente com a Rodovia dos Bandeirantes e Rodovia Washington Luís, o maior corredor financeiro do país, pois interliga algumas das mais ricas regiões metropolitanas do

estado como São Paulo e Campinas, o Aglomerado Urbano de Jundiaí, a Região Administrativa Central e mais a Região Administrativa de Ribeirão Preto.

Por apresentar um tráfego de caminhões muito elevado, a rodovia foi escolhida como o foco do estudo, visto que um grande número de acidentes com derramamento de óleo ocorre na região, principalmente no trecho Limeira-Rio Claro. Um exemplo importante a ser citado foi o acidente ocorrido na madrugada de 8 de setembro de 1998, no quilômetro 179 da via Anhanguera (SP-330), próximo ao município de Araras: dois caminhões chocaram-se, um deles transportando 26 mil litros de óleo *diesel* e o outro, 6 mil litros de gasolina. Com o choque, teve início um incêndio que se alastrou pelo canteiro central da pista por cerca de 30 metros. A fumaça dificultou a visualização dos motoristas de dois ônibus, que juntos transportavam, 101romeiros, que regressavam de Aparecida do Norte (SP) para Goiânia (GO), provocando a colisão dos ônibus com os caminhões, o que resultou na morte de 53 pessoas carbonizadas, entre elas os motoristas de todos os veículos (ACIDENTES, 1998).

#### 3.2.4.3 Município de Araras

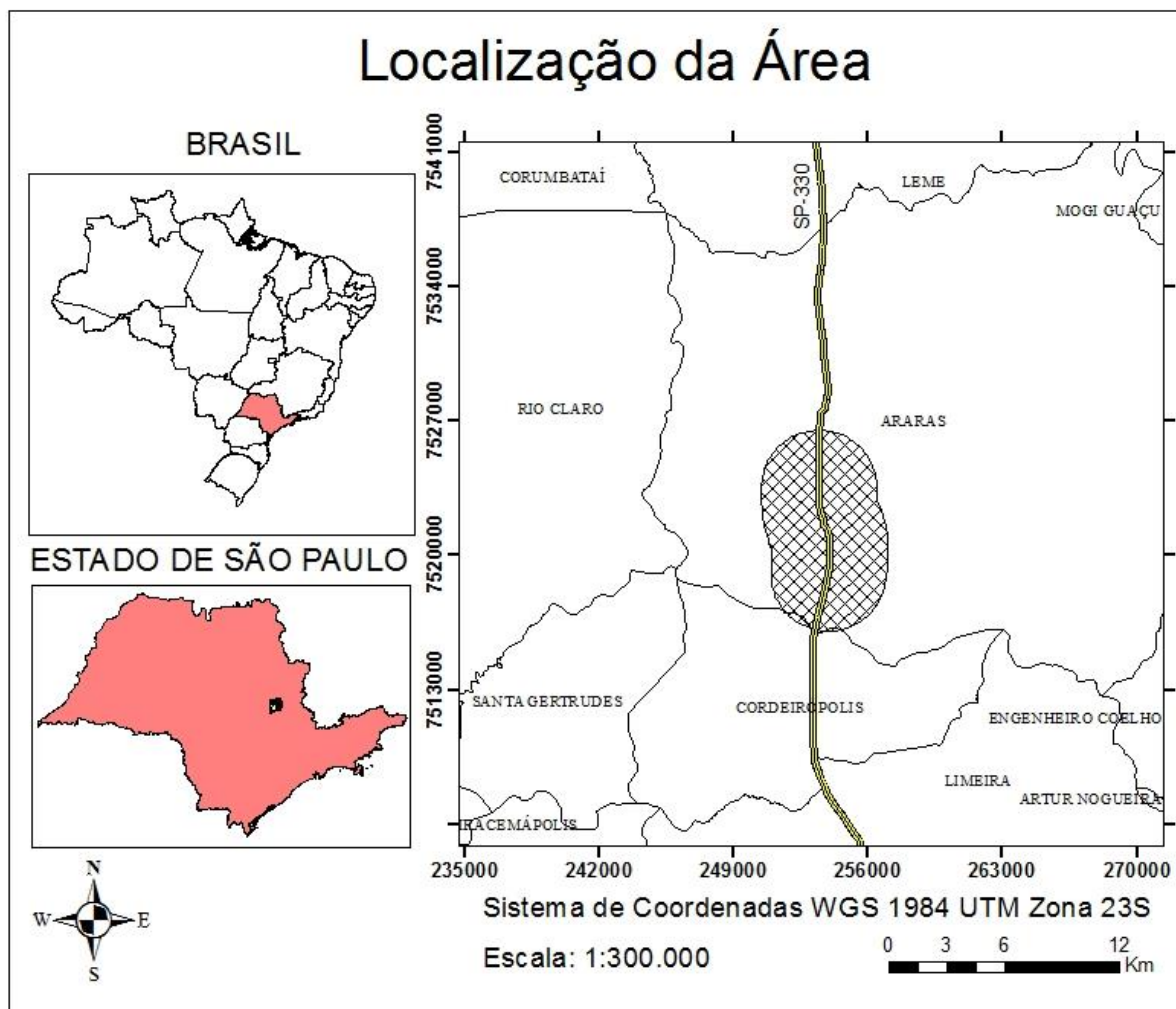
A área de estudo está localizada no sudeste do município de Araras, na divisa com o município de Cordeirópolis (Figura 9), num trecho de aproximadamente 10 quilômetros de extensão, e que corta a SP-191 (Rodovia Wilson Finardi). Os limites do município de Araras são: ao norte o Município de Leme; ao sul Limeira, Cordeirópolis e Engenheiro Coelho; a leste Artur Nogueira, Mogi-Guaçu e Conchal; e a oeste Rio Claro, Santa Gertrudes e Corumbataí. O acesso à cidade pode ser feito pela Rodovia Anhanguera (SP-330).

O Município de Araras está localizado no Estado de São Paulo entre as longitudes 47°15'W e 47°30'W e entre as latitudes 22°10'S e 22°30'S, à 174 km da capital do Estado (IBGE, 2001) e apresenta uma área total de 644,8 km<sup>2</sup>. Os principais rios na área de estudo são: Mogi-Guaçu, Ribeirão das Araras, Ribeirão Ferraz e Ribeirão das Furnas e todo o Município faz parte da bacia dos rios Mogi-Guaçu e Pardo.

A microbacia do Ribeirão das Araras está localizada no Município de Araras, onde ocupa uma área de aproximadamente 400 km<sup>2</sup> na porção central do Município, na margem esquerda da macrobacia do Rio Mogi-Guaçu. Apresenta um padrão dendrítico, semelhante a “galhos de árvores” (ECOAGRI, 2006).

O clima de Araras apresenta temperatura média anual de 21,4°C, com a mínima no mês de julho de 17,7°C e a máxima no mês de fevereiro de 24,1°C. A precipitação anual é de 1.441 mm com déficit hídrico entre os meses de abril e outubro (SENTELHAS et al., 2003).

**Figura 9.** Localização da área de estudo.



#### 3.2.4.4 Solos

Os solos do Município de Araras (SP) são representados por latossolos e argissolos.

Os latossolos, que ocorrem na região, são solos minerais não hidromórficos, contendo minerais secundários resistentes ao intemperismo, com predominância de filossilicatos do tipo 1:1 (caulinita) na fração argila, em mistura com óxidos e hidróxidos de alumínio e/ou de ferro.

De acordo com Oliveira et al. (1982), os latossolos ocupam a maior área do município de Araras (Figura 11).

Os Latossolos Roxos são originários de materiais provenientes do intemperismo de rochas básicas, como o basalto e o diabásio. Devido à presença de ilmenita, esses solos apresentam teores relativamente altos de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>), também é comum a presença de manganês (VALLADARES et al., 2008).

Os Latossolos Vermelho-Escuros de textura argilosa são provenientes de intemperismo e retrabalhamento de rochas sedimentares de textura fina: argilitos e siltitos com variada contribuição de rochas básicas. Esses materiais de cobertura estão representados por espessos mantos detríticos de vários metros de espessura, identificáveis como tal pelas freqüentes linhas de seixos observáveis nos cortes mais profundos de estrada ou nas posições de meia encosta. Esses solos são na maioria muito profundos (VALLADARES et al., 2008). Esse tipo de solo é o predominante na área de estudos e apresenta uma grande aptidão agrícola, além de ter origem nas formações Corumbataí, Pirambóia e Intrusivas Básicas (INSTITUTO AGRONÔMICO DE SP, 1981).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos apresentam, no horizonte B diagnóstico, cores mais amareladas do que 3,5YR e relação valor/croma superior a 4/4. No Município de Araras, esses solos são álicos e ácidos, com saturação por alumínio superior a 50% e valor de pH baixo e estão presentes nas regiões mais baixas e planas do município, e estão associados a Formação Tatuí, de acordo com o Instituto Agrônomo de SP (1981).

Vale ressaltar que os latossolos observados na figura 10 não foram diferenciados entre si, como descrito neste capítulo, isto se deve ao problema gerado pela grande escala do mapa pedológico do Estado de São Paulo (1:750000), usado como base para geração deste mapa. Para se conseguir um mapa pedológico da região, com maior precisão, deve-se investir em trabalhos de campo na cidade de Araras; procedimento, este, que não foi efetuado neste trabalho.

Uma das características mais importantes do latossolo, para esse estudo, é a presença acentuada de microagregados. De acordo com Allaby e Allaby (2003), os microagregados são partículas primárias da estrutura do solo, presentes em unidades secundárias. Essas unidades secundárias são definidas com base em sua forma, tamanho e grau, e podem ser facilmente afetadas pelo clima, atividades biológicas e manejo do solo.

Agregados do solo podem ser definidos como uma união natural ou grupo de partículas nos quais as forças que mantêm os colóides juntos são muito mais expressivas que entre agregados adjacentes (MARTIN et al., 1955).

O desenvolvimento dessa estrutura é discutido até hoje, com base na mineralogia, localização da paisagem, material parental e atividade biológica da região. Muitos estudiosos, como Schaefer (2001), Schaefer et al. (2002), Balbino et al. (2001, 2002) e Volland-Tuduri et al. (2005b) afirmam que as atividades biológicas de longa duração são essenciais para o desenvolvimento dessa estrutura, principalmente as vinculadas a comunidades de cupins e formigas.

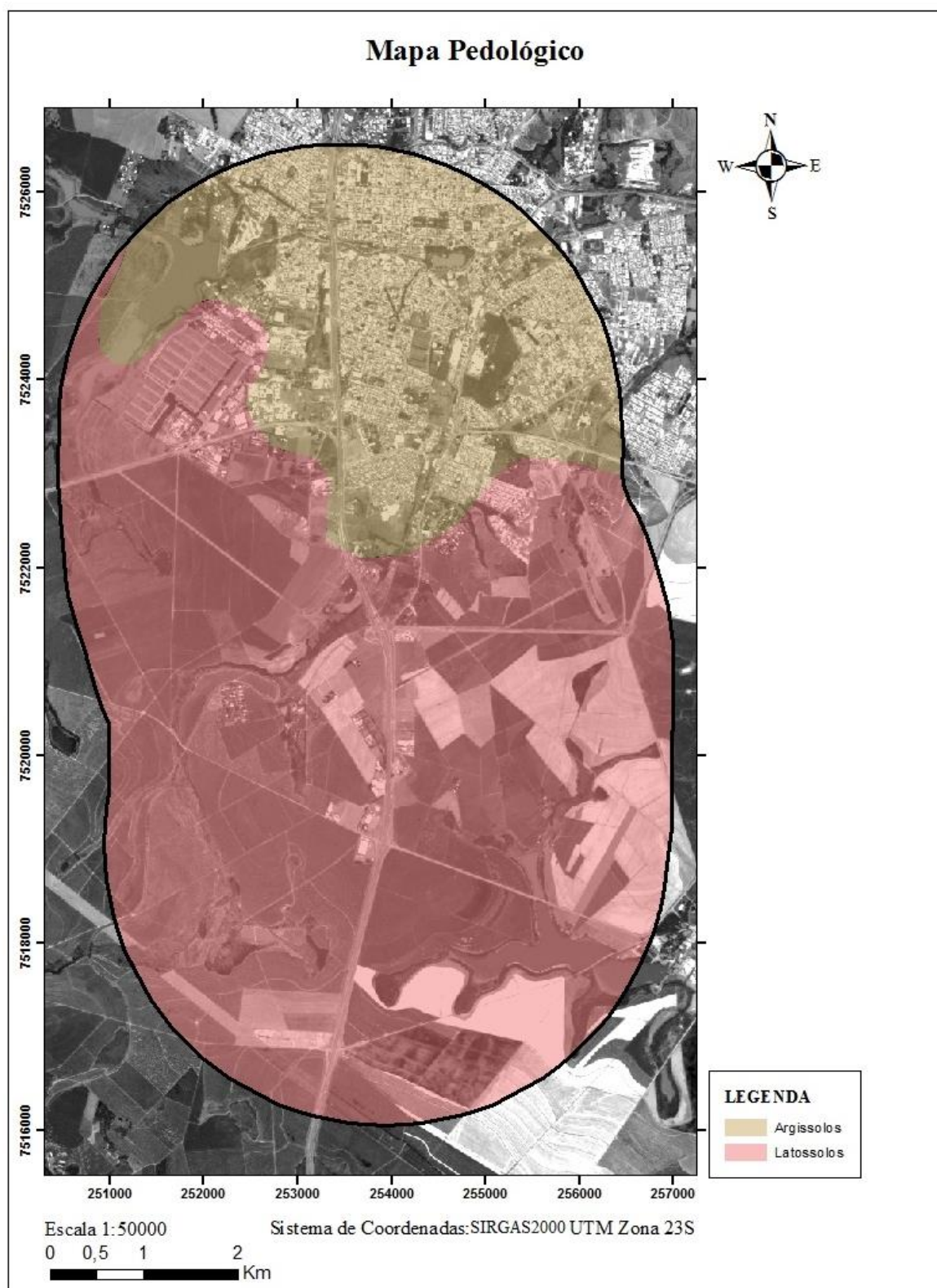
El-Swaify (1980), porém, defende que a microagregação ocorre muito mais em função do tipo de argila (caulinita e gibbsita) combinada a óxidos de ferro (goethita e hematita), do que em função da presença de material orgânico. Neste sentido, embora os latossolos possam ter elevado teor de argila, quanto maior o teor de ferro, a sua microagregação lhe confere um comportamento parecido com um solo arenoso (RESENDE et al., 1997).

Resende et al. (1997) afirmam também em sua pesquisa que, quanto maior a quantidade de argila no latossolo, maior a sua permeabilidade, porém em um estudo mais recente feito por Ferreira, Fernandes e Cury (1998) afirma-se que através de ensaios laboratoriais pôde-se verificar que, de início, a caulinita e a gibbsita, que são argilas ricas em alumínio e cálcio, respectivamente, contribuíram para a maior macroporosidade e condutividade hidráulica dos latossolos estudados. Porém, a presença de caulinita em grande quantidade afeta esses resultados, podendo-se dizer que a influência do alumínio sobre as propriedades físicas associadas à estrutura dos latossolos estudados foi mais pronunciada que a do ferro, ou seja, regiões que apresentaram grandes quantidades de caulinita e ferro não estavam tão permeáveis quanto regiões que apresentaram gibbsita e ferro associados.

Os solos derivados de basalto e de argilitos são argilosos com significativa porcentagem de silte, enquanto os provenientes de siltitos apresentam textura argilosa e os originários do arenito, textura arenosa. As Terras Roxas Estruturadas são originárias de rochas básicas. Apresentam horizonte B textural argiloso ou muito argiloso; teores totais de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$  relativamente elevados ao longo do perfil; cor mais vermelha que 3,5YR com relação valor/croma igual ou inferior a 3,5/5 no horizonte B diagnóstico; baixa relação textural; textura argilosa ou muito argilosa ao longo do perfil, com possível diminuição de argila no horizonte BC e correspondente acréscimo de silte; cerosidade comum e moderada ou mais destacada. Ocorrem em relevo um pouco mais movimentado, ocupando, o terço médio ou inferior das vertentes, quando o declive se torna ligeiramente mais íngreme (7%-10%) (VALLADARES et al., 2008).

Betim et al. (2012) observaram que, para latossolos, os valores de condutividade hidráulica demonstram tendência de aumento com o aumento da profundidade, ao contrário dos argissolos, que apresentam tendência de diminuição dos valores com o aumento de profundidade, o que pode estar relacionado ao processo de acúmulo das argilas em horizontes mais profundos, comuns nesses solos.

**Figura 10.** Mapa de solos da área de estudo, Araras (SP).



**Fonte:** Recortado de Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, em escala 1: 500.000 (1999).  
Recortado pela autora.

#### *3.2.4.5 Vegetação e geomorfologia*

A vegetação nativa do município de Araras foi devastada ao longo dos anos por ações humanas. Os remanescentes de vegetação primária existentes no município são classificados como Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Vegetações Ripárias (ALMEIDA et al., 2006).

No Município de Araras a vegetação é composta por um mosaico de formações predominadas por florestas altas e densas, entremeadas por formações dominadas por estratos arbóreos mais baixos ou até mesmo estratos arbustivos e herbáceos. Em outros locais, é comum a presença de árvores de pequeno porte e arvoretas esparsas, constituindo o Cerrado. Também é comum trechos onde o solo é coberto exclusivamente por vegetação herbácea (MATTOS, 1996; SANTIN, 1999).

A geomorfologia de Araras é composta por formas suavizadas, por morros arredondados, colinas médias e onduladas a planas ou terrenos ondulados a planos, com cuevas de porte de até centenas de metros; além de morrotes alongados e espigões. Essa geomorfologia de relevos baixos, juntamente com o barramento representado pelo fronto de cuevas, permitem o desenvolvimento de extensas planícies aluviais, ao longo da bacia do Mogi-Guaçu (IPT, 1981).

Almeida (1974) caracteriza o relevo que predomina, na região, de campos extremamente uniformes, com vales amplos, pouco profundos e que abriga cursos d'água com pequenas margens formadoras de planícies aluviais arenosas, bem como terraços.

#### *3.2.4.6 Uso e cobertura da terra*

A economia de Araras é baseada na agroindústria e agropecuária. Sendo a canavieira e a citricultura atividades fortes no município (PREFEITURA DE ARARAS, 2008).

A área urbana encontra-se na porção central da área de estudo e ocupa 32,26 km<sup>2</sup>, ou seja, 5,01% do total da área do município de Araras. A floresta estacional é um tipo de vegetação nativa da área de estudo e típica do bioma Mata Atlântica. Hoje ocupa uma área de 20,62 km<sup>2</sup> (3,20% da área total do município de Araras). Essa vegetação foi muito devastada por ações humanas principalmente. As principais áreas de ocorrência estão na parte noroeste e norte do município.

### 3.2.5 Elaboração da Base de dados

Neste item, que inicia a segunda fase do trabalho, são apresentados os procedimentos e critérios adotados para realização da base de dados, bem como para a adequação, organização, e elaboração dos mapas utilizados no desenvolvimento da pesquisa.

Primeiramente, deu-se início à aquisição e organização do material cartográfico, para a inserção na base de dados. Todos os materiais encontrados tiveram que ser projetados no fuso correto, dentro do software ArcGIS, ou seja, todos os arquivos foram georreferenciados e transformados para o sistema de coordenadas SIRGAS2000, 23S.

Na geração da base de dados foram incorporados os seguintes materiais cartográficos: As seis cartas topográficas da região de Araras, o Mapa Geológico do Estado de São Paulo, o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, a Carta de Rodovias do Estado de São Paulo, a Carta de Municípios do Estado de São Paulo e as Cartas UBC do Estado de São Paulo, descritas no item materiais.

Além dessas cartas, foram adicionadas à Base de Dados a imagem do satélite SPOT 5. As bandas dessa imagem foram contrastadas, de forma a melhorar a visualização, e foi elaborada a composição colorida 1B2G3R.

Em seguida, foram efetuados recortes das informações das cartas anexadas no *layer* do ArcGis, para que estas se adequassem ao tamanho da área-piloto. As cartas recortadas foram transformadas em novos *shapefiles*.

A primeira carta a ser recortada foi a de Rodovias e, a partir dela, criou-se um novo *shapefile* de polígonos para aplicar, dentro desse, um *buffer* de três quilômetros de raio (área-piloto). Posteriormente foram efetuados recortes nas cartas de UBC e nas de Municípios. A imagem do SPOT 5 permaneceu no tamanho original.

Com base na Carta Topográfica do IGC, foram digitalizadas as curvas de nível da área-piloto, bem como os cursos d'água existentes.

### 3.2.6 Compartimentação Fisiográfica

Para a compartimentação fisiográfica da área-piloto, a carta de UBCs, executada pela SMA, foi detalhada e os novos limites foram extraídos manualmente com base nos elementos texturais e estruturais da drenagem e do relevo, a partir das imagens SPOT, e de declividade, seguindo os critérios de análise do Quadro 7.

O detalhamento foi necessário, pelo fato do presente mapeamento ser em escala de 1:25000 e as UBCs da SMA apresentarem escala de 1:50000.

**Quadro 7.** Critérios adotados na compartimentação e caracterização do relevo e propriedades analisadas

| ELEMENTOS DE ANÁLISE                      | CRITÉRIOS DE ANÁLISE                                                                                                                                                                                                    | PROPRIEDADE ANALISADA                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Densidade textural</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Densidade de elementos de drenagem</li> <li>- Densidade de elementos de relevo</li> </ul>                                                                                      | Permeabilidade<br>Relação escoamento superficial/infiltração<br>Espessura do manto de alteração                                                                                    |
| <b>Formas e características do relevo</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Amplitude local</li> <li>- Declividade</li> <li>- Forma das encostas</li> <li>- Forma dos vales</li> <li>- Topos (forma e extensão)</li> <li>- Feições particulares</li> </ul> | Resistência à erosão<br>Profundidade do topo rochoso<br>Espessura de material inconsolidado<br>Grau de escavabilidade<br>Potencial a erosão hídrica linear e a movimentos de massa |
| <b>Estruturas geológicas</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sinuosidade</li> <li>- Tropa</li> <li>- Assimetria de relevo</li> </ul>                                                                                                        | Composição e estrutura<br>Planos de descontinuidade                                                                                                                                |
| <b>Análise complementar</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Processos geológicos</li> <li>- Vegetação e uso do solo</li> </ul>                                                                                                             | Afloramento e blocos rochosos<br>Nível de água subterrânea                                                                                                                         |

Fonte: Amorim (2015).

### 3.2.7 Elaboração de Mapas básicos

Nesta etapa foram gerados os mapas básicos, que foram utilizados para a caracterização dos compartimentos fisiográficos e para a posterior geração da carta de índice de sensibilidade ambiental ao óleo.

#### 3.2.7.1 Mapa de Declividade e Hipsométrico

Para a elaboração da base topográfica foram utilizadas as folhas topográficas apresentadas na seção materiais. Estas folhas foram georreferenciadas e articuladas para a

vetorização das curvas de nível, que foram digitalizadas de 5 em 5 metros no software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015).

A partir da digitalização das curvas de nível foi elaborado um modelo numérico do terreno (MNT) e, a partir deste, gerados os mapas hipsométrico e de declividade.

No software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015), através da ferramenta *Create TIN*, foi adicionado o *shapefile* “CurvasNivel”, referente à digitalização das curvas de nível nas folhas topográficas da área de estudo, e em seguida foi gerado um novo arquivo em formato *TIN*. A partir deste arquivo foi possível desenvolver os mapas hipsométrico e de declividade.

Para a digitalização da hidrografia, também foram utilizadas as folhas topográficas georreferenciadas apresentadas anteriormente.

#### 3.2.7.2 Mapa de Fraturas

A extração das fraturas da área de estudo foi realizada, pois em locais com presença de substrato rochoso, o deslocamento do contaminante será determinado pela quantidade, orientação e distribuição de fraturas presentes na região (NEWELL et al, 1995). Na área de estudo, ocorre um substrato, na maior parte, sedimentar e, por isso, o deslocamento do contaminante pode se dar tanto pelos poros do material quanto pelas fraturas da rocha, sendo assim relevante a extração das mesmas.

As fraturas foram identificadas na imagem orbital como feições lineares que, geralmente, condicionam as drenagens. A extração das feições foi realizada através do software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015) e sua representação realizada em *shapefile* no formato linha.

Após a extração das fraturas da área de estudo, foi gerado um diagrama de rosáceas através do *software* Spring (INPE,1996), a fim de determinar as principais direções destas estruturas na área.

#### 3.2.7.3 Mapa de profundidade do nível d'água

Para a determinação do nível d'água, foram levantados os dados dos poços existentes na área de estudo, que foram localizados em mapa, para permitir a determinação da profundidade do nível d'água da região, característica importante em relação à sensibilidade ambiental ao óleo, devido à capacidade do contaminante atingir o nível freático.

Os dados referentes aos poços foram obtidos pelo Relatório de Outorga do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (2016). Estes dados foram fornecidos através de tabelas que continham os valores referentes às cotas altimétricas dos poços presentes nas cidades, que compõem a área de estudo, além de dados relacionados aos aquíferos correspondentes. Essas tabelas, em formato Excel, foram transferidas para o software ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015) a partir da ferramenta *Export Data*. Para a realização correta desse procedimento foi necessário modificar as tabelas em formato Excel, retirando vírgulas e outros caracteres, pois esses símbolos não são corretamente aceitos no ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015). Foram mapeados 89 poços na área de estudo.

Além dos poços, utilizou-se também o ArcGIS 10.2.2. (ESRI, 2015) para marcar as cotas das nascentes presentes na área em estudo, em folha topográfica digitalizada. Sendo assim, criou-se um *shapefile* no formato ponto contendo as nascentes, acompanhado de tabela com a cota e coordenadas das mesmas. Foram localizadas 40 nascentes dentro da área-piloto.

Após esta etapa preliminar deu-se continuidade à confecção do mapa de profundidade do nível d'água, através dos MDTs (Modelos Digitais de Terreno).

Para a representação da superfície física da Terra pode-se utilizar Modelos Digitais do Terreno – MDT. Um MDT pode ser definido como a representação matemática de uma superfície, através das coordenadas X, Y e Z (ROCHA, 2000). Esta expressão traduz não apenas a feição altimétrica de uma região, mas qualquer outra característica do terreno a ser representada de forma contínua, como por exemplo temperatura, vegetação, hidrologia, geologia, poluição, tipo de solo, regiões do corpo humano e outras.

Uma vez definida a resolução e consequentemente as coordenadas de cada ponto de uma grade, seja ela regular ou triangular, deve-se aplicar um dos métodos de interpolação para calcular o valor aproximado da variável Z. Dentre os métodos de interpolação utilizados na geração de MDT, selecionou-se o método da Curvatura Mínima. No método de Curvatura Mínima, admite-se que dois pontos adjacentes de um levantamento estejam contidos num mesmo arco, e este arco está localizado em um plano, no qual se conhece a inclinação e o ângulo de orientação (SAWAM, 2005).

Em 1985, o método de Curvatura Mínima foi reconhecido pela indústria como um dos mais acurados métodos de interpolação, mas era muito pesado para o cálculo manual dos dados a serem interpolados. Hoje, com o uso dos computadores cada vez mais potentes, este método é aceito como padrão pela indústria.

Elaborou-se uma tabela no excel, contendo as coordenadas X e Y, além do valor de Z (profundidade do nível água), que foi utilizada para a geração das linhas de contorno de profundidade e também de sua superfície 3D, ambas confeccionadas por meio do software Surfer 10.2(Golden Software, Inc.).

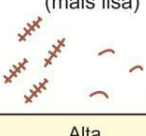
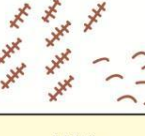
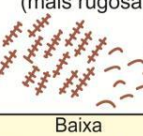
### 3.2.8 Caracterização dos Compartimentos

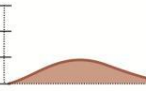
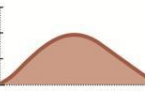
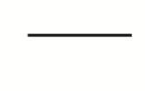
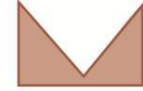
O capítulo de revisão 2.2.5 descreve toda a caracterização fisiográfica e a partir dele pode-se observar que em relação aos diferentes níveis hierárquicos identificados no mapeamento da Secretaria do Meio Ambiente (2014), no Quadro 3, do capítulo 2.2.5 a área-piloto está situada na Bacia Vulcano Sedimentar do Paraná – Depressão Periférica (nível 1), em uma depressão diferenciada (nível 2), na Depressão Mogi-Guaçu (nível 3).

A partir dessa interpretação, pode-se dar início a análise da área-piloto. Sendo assim, nesta etapa foram elaborados quadros com as características extraídas por meio de fotointerpretação para a separação dos compartimentos, que foi complementada pelas informações obtidas pelos mapas básicos realizados. Esta caracterização fotogeológica foi feita visualmente com base nas imagens orbitais do SPOT 5.

Como referencial teórico-metodológico foi adotado a proposta de Zaine (2011) (Figura 11) que orienta quanto à análise da densidade textural, das formas e características do relevo, das estruturas geológicas, e das inferências das propriedades geotécnicas.

**Figura 11.** Sequência de procedimentos propostos por Zaine (2011) e adotados neste estudo, para análise e fotointerpretação das feições fisiográficas, e para inferência das propriedades geotécnicas.

| 1. Análise da densidade textural                         |                                                                        | CLASSES                                                                                                                |                                                                                                                           |                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elementos de análise                                     | Elementos de drenagem e relevo                                         |                                                                                                                        |                                                                                                                           |                                                                                                                      |
| Critérios de análise                                     | Densidade dos elementos de drenagem                                    | Baixa (0 a 5/10 km <sup>2</sup> )<br> | Média (5 a 30/10 km <sup>2</sup> )<br> | Alta (> 30/ km <sup>2</sup> )<br> |
|                                                          | Densidade dos elementos do relevo (dissecação e rugosidade do terreno) | Baixa (mais lisa)<br>                 | Média<br>                              | Alta (mais rugosa)<br>            |
| Propriedade a ser interpretada                           | PERMEABILIDADE (intergranular)                                         | Alta (Permeável)                                                                                                       | Média                                                                                                                     | Baixa (Pouco permeável a impermeável)                                                                                |
| APLICAÇÕES<br>Informações interpretadas por esta análise | Relação escoamento superficial/infiltração                             | Baixa                                                                                                                  | Média                                                                                                                     | Alta                                                                                                                 |
|                                                          | Espessura e características do manto de alteração                      | Grande (Espesso; > 5m)                                                                                                 | Média                                                                                                                     | Pequena (Raso/rocha aflorante)                                                                                       |

| 2. Análise das formas e características do relevo |                                                                                                | CLASSES                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elementos de análise                              | Declives, vertentes, topos, vales, rupturas de declive (quebras de relevo), cristas e escarpas |                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                          |
| Critérios de análise                              | a) Amplitude local (variações de cotas na unidade)                                             | Pequena (0 a 100 m)<br>                                                                          | Média (100 a 300 m)<br>                                                                           | Grande(> 300 m)<br>                                                                                 |
|                                                   | b) Declividade                                                                                 | Baixa (0 - 15%)<br>                                                                              | Média (15 - 30%)<br>                                                                              | Alta (> 30%)<br>                                                                                    |
|                                                   | c) Forma de encosta / vertente (* representação em planta)                                     | Convexa <br> | Côncava <br> | Retilínea <br> |
|                                                   | d) Forma do vale (* representação em planta)                                                   | Aberto <br>  |                                                                                                   | Fechado <br>   |
|                                                   | e) Forma do topo                                                                               | Aplainados<br>                                                                                   | Arredondados<br>                                                                                  | Angulosos<br>                                                                                       |

Fonte: Zaine (2011).

### 3.2.9 Mapeamento do Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo em Ambiente Terrestre

Como exposto no capítulo 3.2.6 os mapas das variáveis a serem consideradas na análise, denominados aqui de mapas básicos, são essenciais para o mapeamento do índice de sensibilidade ambiental ao óleo.

Para geração desse mapa foi necessária a utilização de uma ferramenta do software ArcGIS (ESRI, 2015), chamada *weight sum (overlay)*, que trabalha com arquivos no formato *raster*, podendo assim, associar diferentes tipos de mapas (todos vetorizados e georreferenciados com as mesmas bases) e gerar uma superposição entre eles. Anterior à utilização dessa ferramenta, foi necessária a conversão dos *shapefiles* (polígonos) para *rasters*, através da ferramenta *polygon to raster*.

A *weight sum (overlay)* permite que o usuário escolha o peso de cada variável, representada na forma de um mapa parcial, para a geração de um mapa final com valores diferenciados, de acordo com seus objetivos. Por exemplo, pode-se associar peso 2 ao mapa de declividade e peso 1 ao mapa de densidade de drenagem, caso se considere que a declividade interfere mais intensamente na sensibilidade ao óleo do ambiente do que a densidade de drenagem.

Após a confecção do mapa, pode-se fazer a conversão do *raster* em *shapefile*, através da ferramenta *reclassify*, para a posterior união de informações de todos os mapas em uma única tabela, usando-se a ferramenta *intersect*.

Desta forma, foram associados pesos às diferentes classes dos mapas parciais, que representam as diferentes variáveis consideradas na análise, avaliando-se a influência de cada uma delas na sensibilidade ambiental ao óleo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos a partir da análise e aplicação metodológica sugerida no trabalho.

### 4.1 Mapa de Declividade e Hipsométrico

O mapa de declividade tem o objetivo de demonstrar as inclinações de uma área em relação a um eixo horizontal e serve como fonte de informações das formas do relevo, das aptidões agrícolas, riscos de erosão, restrições de uso e ocupação urbana, dinâmica do óleo no meio ambiente, entre outros. Quanto mais inclinada uma vertente, maiores são as velocidades de escoamento da água e também do óleo. Em uma carta topográfica, é possível verificar a declividade através da proximidade das curvas de nível. Quando estas estiverem mais próximas, a declividade será maior e quanto mais afastada, menor será a declividade.

No presente estudo foram elaborados os mapas de declividade e hipsométrico para auxiliar na delimitação e caracterização das unidades básicas de compartimentação do terreno e, posteriormente, na análise da sensibilidade ambiental da área, no caso da declividade. De acordo com Martins (2012), a dinâmica do óleo no meio ambiente é amplamente influenciada pela declividade, pois dependendo do ângulo de declive, o deslocamento pode ser vertical ou horizontal.

O mapa de declividade (Figura 12) gerado com diferentes subdivisões apresenta a área de estudo em 7 classes de intervalos (0-2 °, 2-4°, 4-6 °, 6-12°, 12-20°, 20-30° e >30°). Para a definição do intervalo do mapa de declividade, foram levados em conta os trabalhos de Lepsch et al. (1991), Ross (1995) e De Biase (1970) (Quadro 8), sendo adaptadas as classes segundo a realidade da área de estudo, que não possui declividades muito superiores a 30%.

**Quadro 8.** Classes de declividade e principais características.

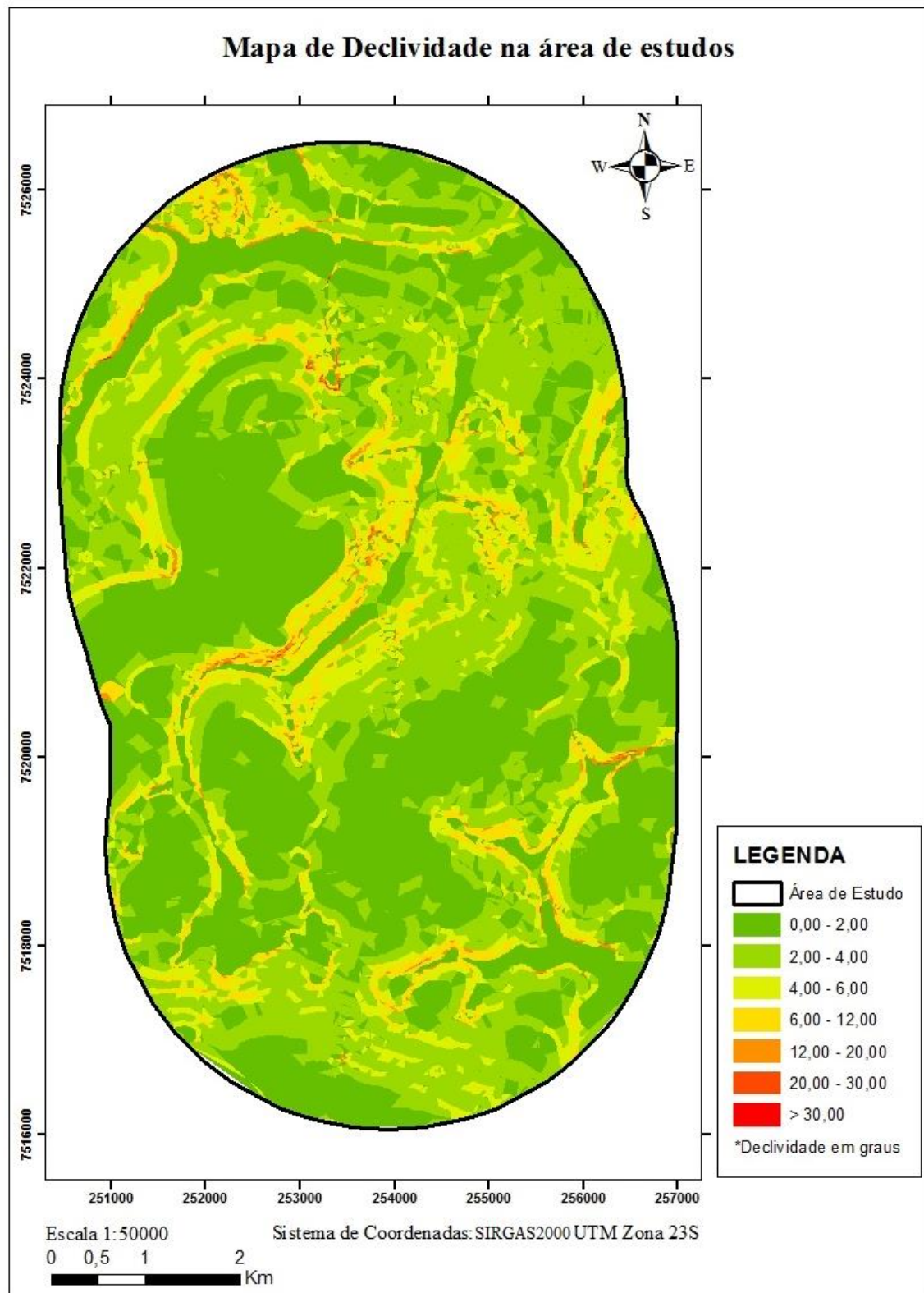
| Classe               | Características                                                                                                                                            |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0 – 3%<br>3 – 6%     | Declives suaves; escoamento superficial lento a médio; ausência de problemas de erosão linear e laminar                                                    |
| 6 – 12%              | Superfícies inclinadas, geralmente com relevo ondulado; escoamento superficial médio a rápido; suscetível a processos erosivos                             |
| 12 – 20%<br>20 – 30% | Grande inclinação do terreno; o parcelamento do solo é permitido somente em áreas com declividade de até 30%; áreas com predomínio de problemas com erosão |
| > 30%                | Áreas com fragilidade muito alta; encostas são os limites para o corte raso da vegetação                                                                   |

**Fonte:** Adaptado de Lepsch et al. (1991), Ross (1995) e De Biase (1970).

Essa classificação de declividade foi escolhida para ser aplicada neste trabalho por se tratar de uma classificação aplicada a erosão e escoamento superficial, foco este muito importante no trabalho.

Na área de estudo não foram encontradas regiões com altos declives. Toda a área-piloto apresenta uma predominância em declives entre 0° e 12°, com regiões mais próximas as drenagens apresentando um declive um pouco maior (12°-15°) e pontos bem específicos de declives maiores de 15 graus, localizados em toda a área.

**Figura 12.** Mapa de Declividade da Área de Estudo.



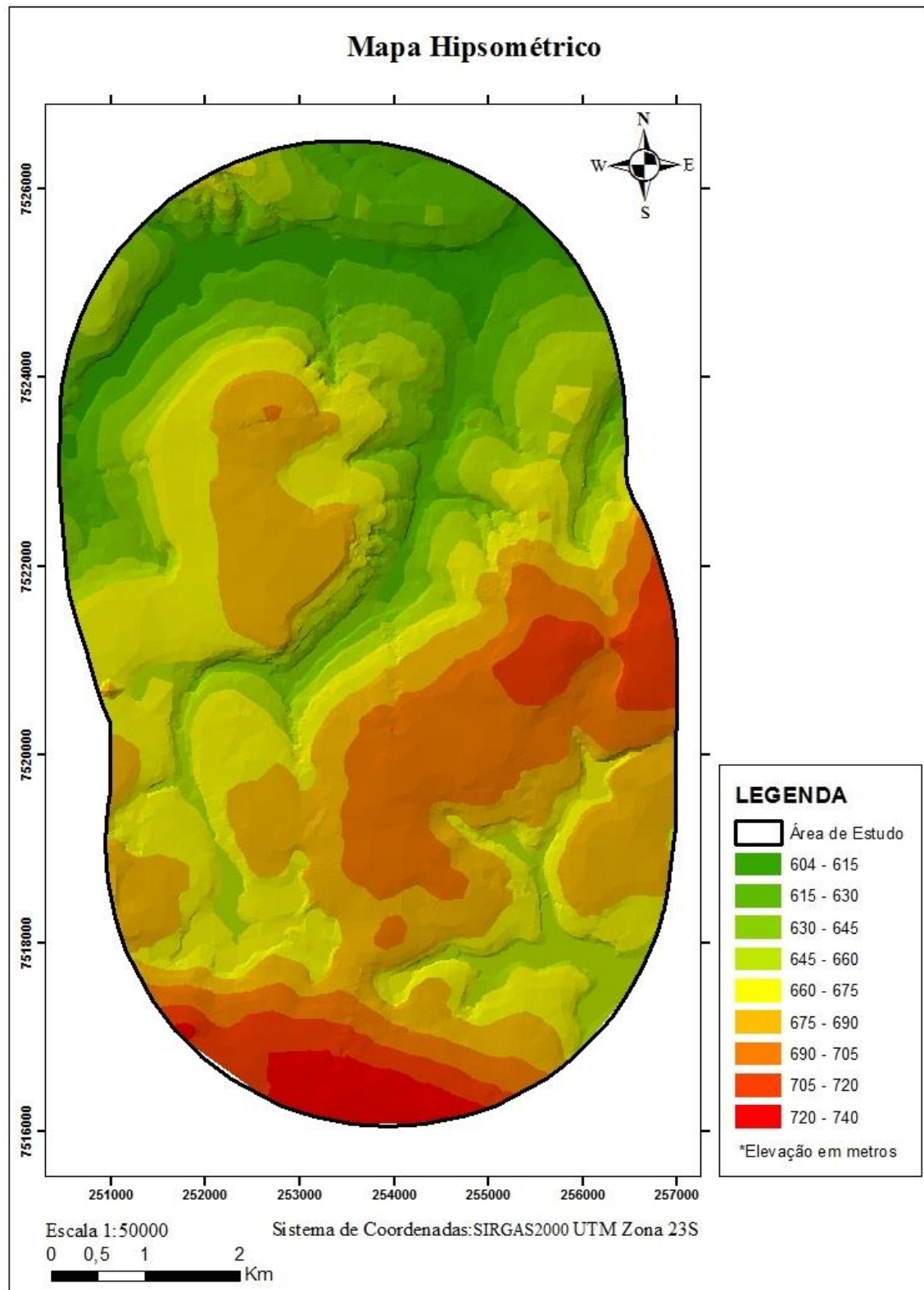
Mapas hipsométricos são mapas que representam a elevação de um terreno através de cores, geralmente utiliza-se um sistema de graduação de cores que começam com verde escuro para baixa altitude e, passando por amarelo e vermelho, até cinza e branco para grandes elevações. Para a confecção do mapa hipsométrico (elevation), deve-se estabelecer primeiramente as classes de altimetria que mais se adéquam à área a ser mapeada.

O mapa hipsométrico (Figura 13) está subdividido em 9 classes, em intervalos de 15 metros, definidos a partir da cota de cada curva de nível em relação ao nível do mar. Esse intervalo foi definido por ter se mostrado mais satisfatório para a representação das diferenças de altitude da área de estudo. Na área de estudo a região sudoeste caracterizou-se por apresentar os maiores valores de hipsometria. A região central da área apresenta os valores medianos de altitude e a região norte apresenta os valores de maior altitude.

Assim, em uma análise que relaciona a hipsometria e a declividade com o comportamento do óleo, a área de estudo apresenta alta sensibilidade ambiental ao óleo. Em áreas que apresentam baixos valores de declividade, e dependendo das características de permeabilidade e condutividade hidráulica do solo, o óleo tende a direcionar-se ao subsolo (FUSSEL et al., 1981).

Em áreas que apresentam alta declividade, o óleo tende a espalhar-se horizontalmente, mesmo em casos em que esteja sujeito à permeabilidade superficial. Entretanto, Martins (2012) ressalva que essas regiões podem apresentar alta sensibilidade ambiental devido às características locais de substrato e organismos biológicos, portanto é necessária uma análise mais detalhada dessas regiões para a determinação adequada dos índices de sensibilidade ambiental ao óleo.

**Figura 13.** Mapa Hipsométrico da Área de Estudo.



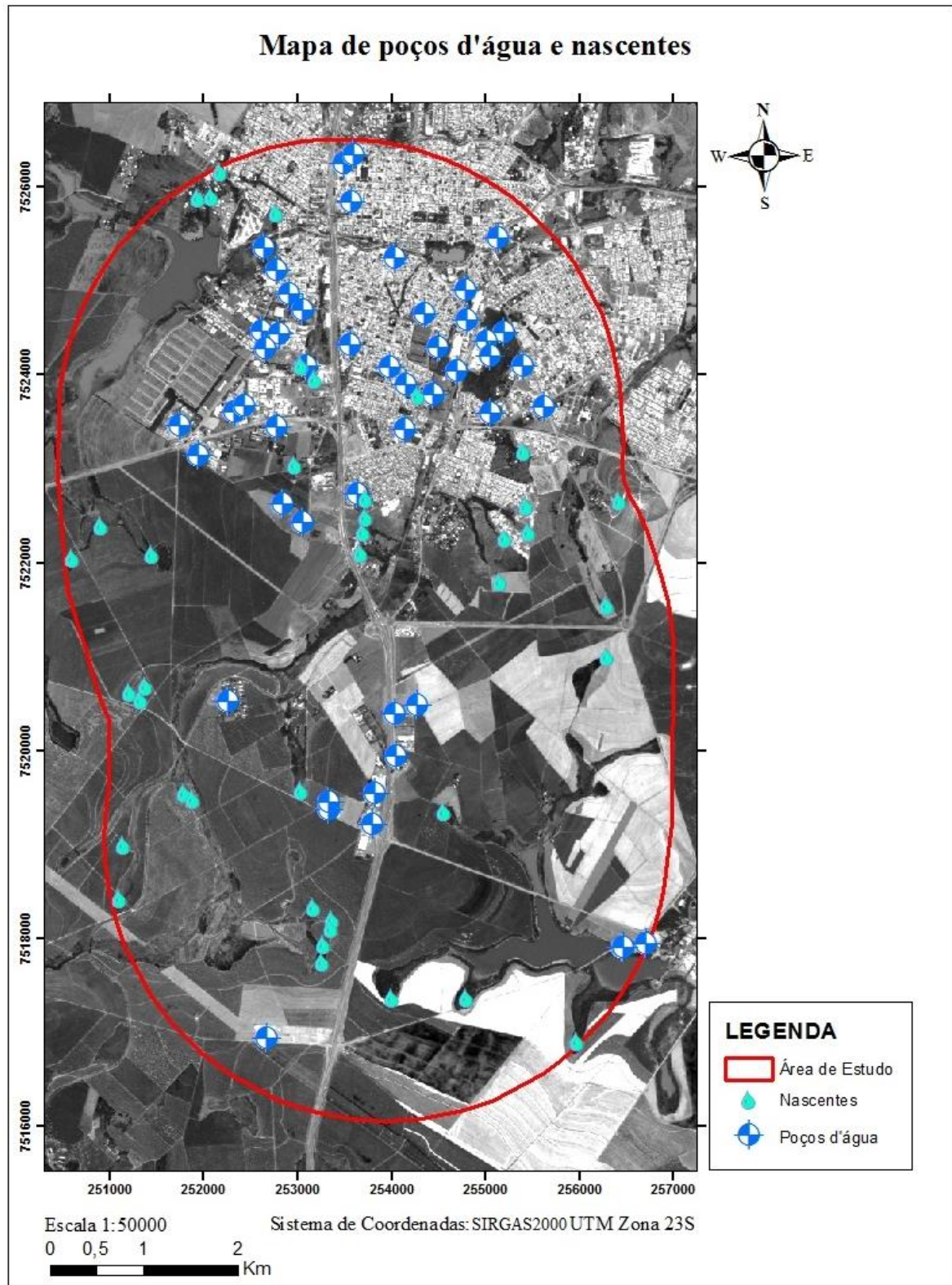
## 4.2 Mapa de profundidade do nível d'água

As informações a respeito dos poços d'água e das nascentes presentes na área de estudo (Figura 14) foram utilizadas para determinar a profundidade do nível d'água da região. A sensibilidade ambiental ao óleo relaciona-se com a profundidade do nível d'água visto que, quanto mais próxima a zona saturada estiver da superfície, maior será a sensibilidade ambiental ao óleo, pois este será mais facilmente atingido. Em contato com a água subterrânea, o óleo poderá ser movido para diversas regiões através do fluxo de água.

Além disso, o tipo de óleo irá determinar o comportamento do mesmo no subsolo. O contaminante poderá flutuar próximo do nível d'água, seguindo o fluxo hidráulico ou direcionando-se para outros locais (FERREIRA; ZUQUETTE, 1998). Caso se formem montículos de óleo, a área impactada será maior devido ao espalhamento horizontal do contaminante.

Assim, de acordo com Martins (2012), a profundidade do nível d'água é de grande importância para a análise da sensibilidade ambiental dos ambientes terrestres, e deve ser considerada nos estudos ambientais. Portanto, as informações a respeito da superfície do lençol freático e profundidade de nível de água da área de estudo foram obtidas a fim de corroborar a pesquisa e determinar um índice de sensibilidade ambiental adequado.

Figura 14. Mapa de poços d'água e nascentes da área de estudo.

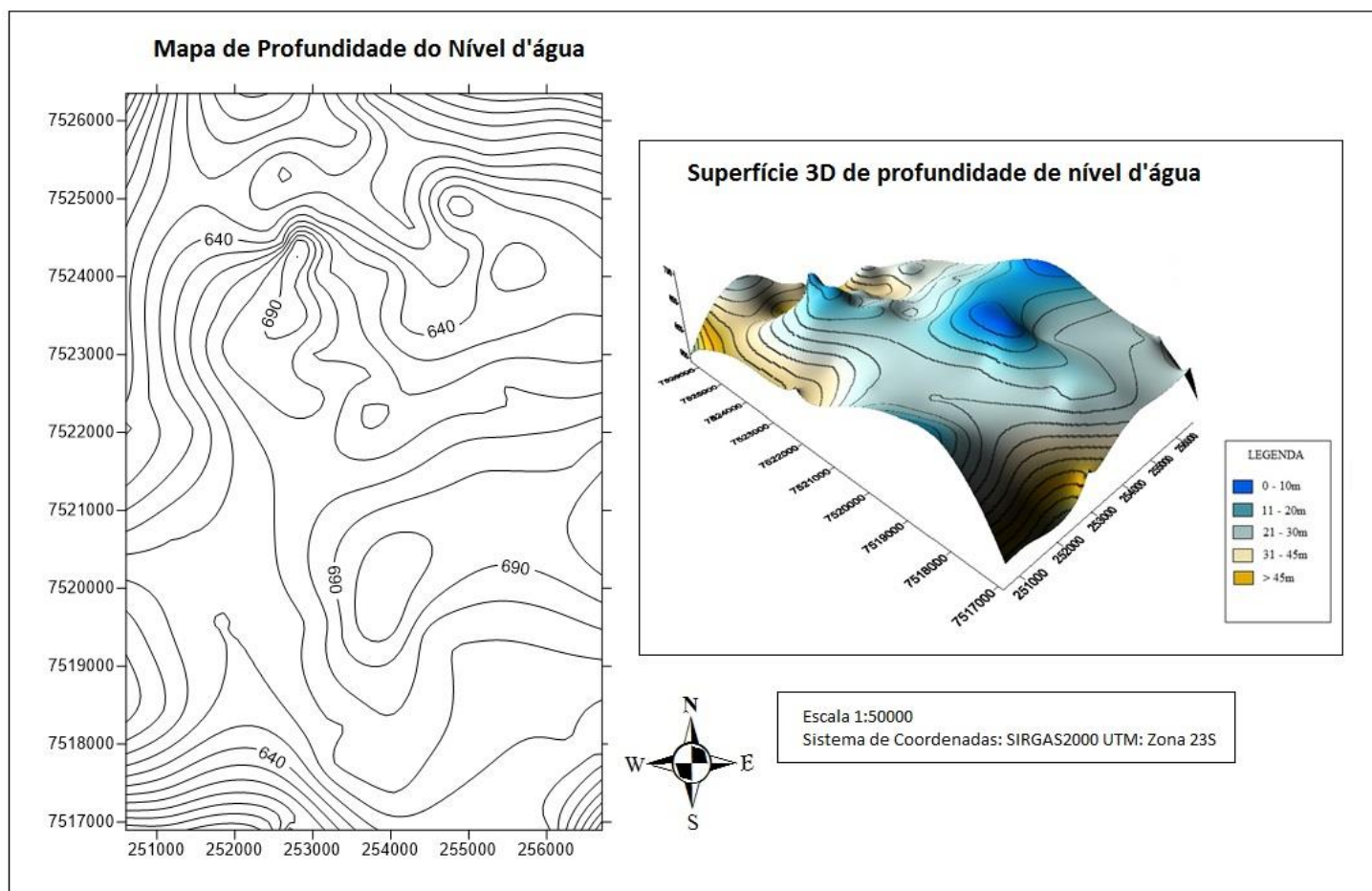


O mapa de profundidade do nível d'água (N.A.) é um dos mais importantes mapas para a geração do mapa índice de sensibilidade ambiental ao óleo, pois entender a correlação da profundidade do N.A. com a sensibilidade ambiental é trivial.

Caso o óleo derramado infiltre no perfil do solo, e não fique retido na camada menos permeável, fatalmente irá alcançar o lençol freático. Alcançando as águas subterrâneas, o óleo poderá ser carreado a outras regiões, por meio do fluxo das águas (VIANA, 2009).

Na área de estudos há predominância de segmentos com NA raso (Figura 15), formando, portanto, ambientes com alta sensibilidade parcial. Podemos observar que as regiões azuis escuras, na Figura 15, são as áreas com o NA mais superficial (0-15m), azuis claras a amarelas claras, um nível mais intermediário (15- 45m), seguido das regiões amarelas escuras que são níveis d'água profundos, atingindo uma profundidade maior de 45m.

**Figura 15.** Mapa de contorno do nível d'água e superfície 3D.



### 4.3 Densidade de Drenagens e Fraturas

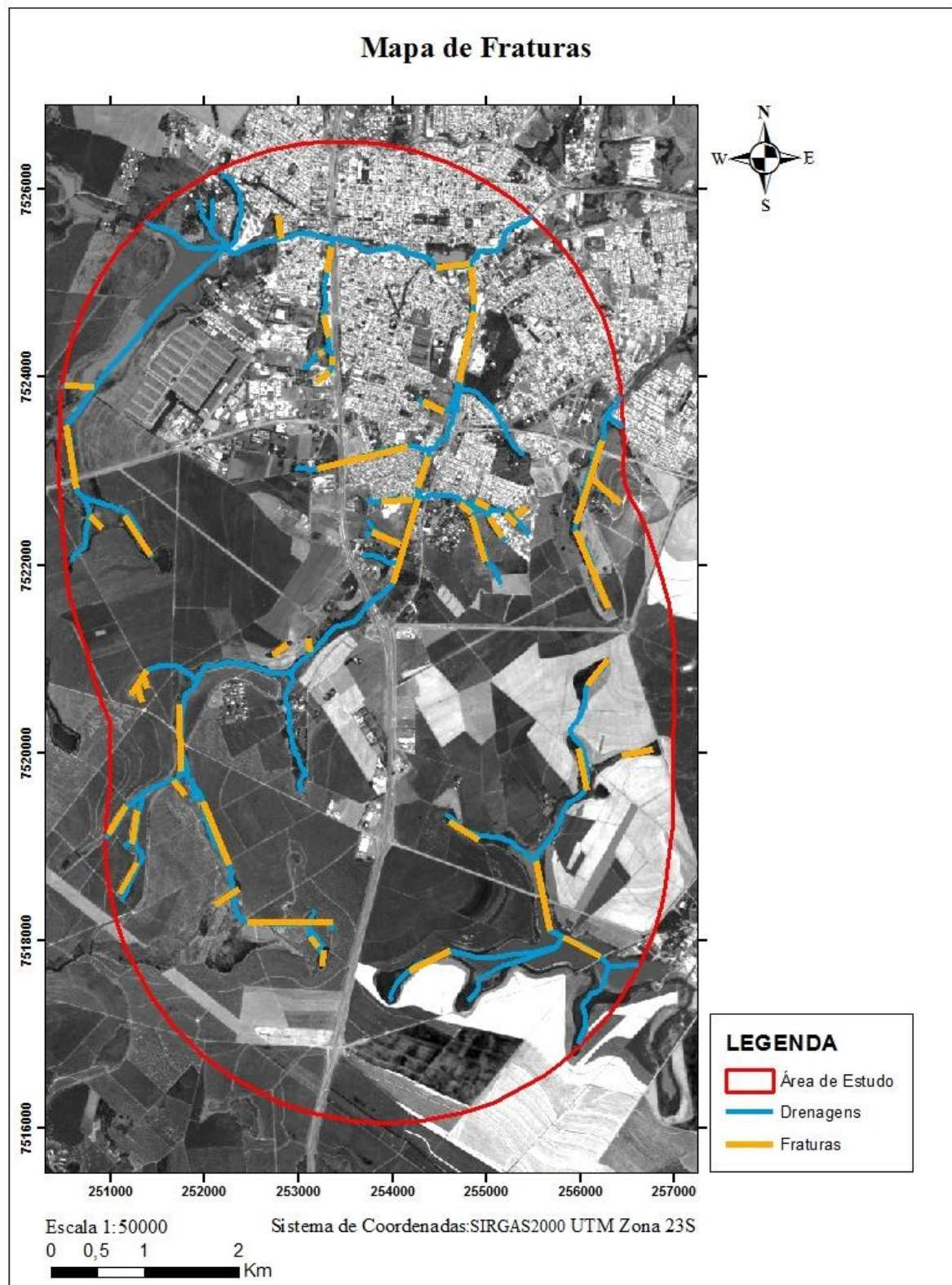
Em relação à sensibilidade ambiental ao óleo, áreas que apresentam alta densidade de drenagem, possuem valores baixos de permeabilidade e, portanto, baixos valores de sensibilidade ambiental ao óleo. Em locais que apresentam baixa densidade de drenagem, os valores de permeabilidade serão mais altos e em consequência, a sensibilidade ambiental ao óleo apresentará maiores valores.

As fraturas também influenciam diretamente os valores de sensibilidade ambiental ao óleo. Os esforços de compressão e distensão que ocorrem na superfície, devido aos processos endógenos, acabam por gerar rupturas nos terrenos que facilitam a percolação de óleo em subsuperfície.

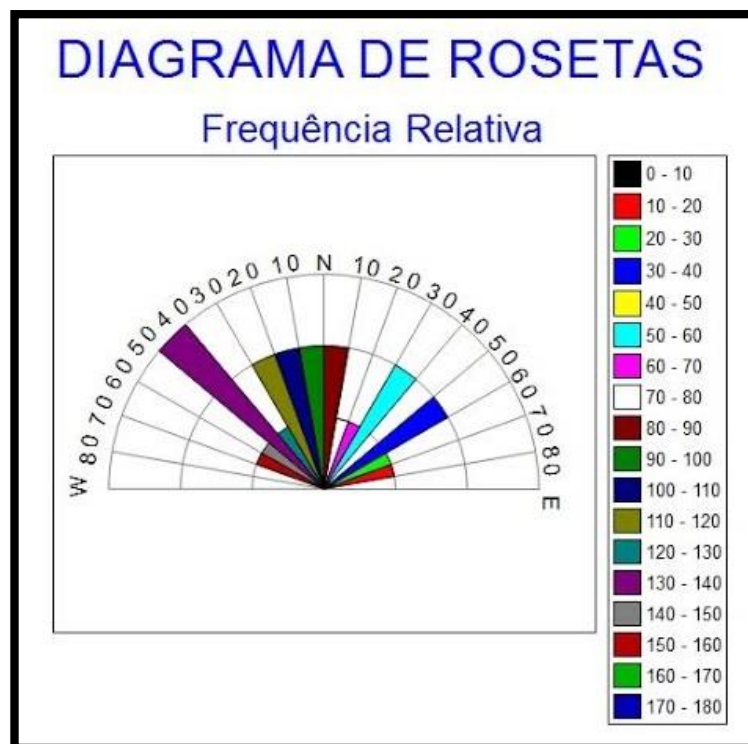
Em locais com ocorrência de rochas cristalinas com fraturamentos, o óleo pode direcionar-se para estes espaços, podendo alcançar diversas direções e maiores profundidades rapidamente. No caso de rochas sedimentares, o óleo percola tanto pelos poros do material, com também por fraturas. Os dois processos podem ser até mesmo concomitantes. Informações sobre a orientação das fraturas são essenciais para determinar o possível direcionamento do óleo em regiões fraturadas.

A figura 16 apresenta o mapa com as fraturas extraídas na área de estudo, acompanhadas pelas drenagens da região e a Figura 17 apresenta a rosácea com o direcionamento das fraturas mapeadas na área de estudo. A direção predominante na rosácea é a NW-SE. Esta direção obtida corresponde à direção que Sousa e Morales (1999) citam em seu artigo e dizem que esse sistema de fraturas (NW-SE e SW-NE) controla, claramente, as drenagens e paisagens locais.

**Figura 16.** Mapa de Fraturas da área de estudo.



**Figura 17.** Rosácea das fraturas da área de estudo.



Sendo assim, pode-se afirmar que, ao se tratar de derrames de óleo na região, as fraturas vão condicionar uma absorção de óleo na direção NW-SE, principalmente entre N40W e N50W.

Portanto, associando-se essas informações, em uma análise da sensibilidade ambiental preliminar da área, pode-se afirmar que as áreas com maior quantidade de fraturas apresentam alta sensibilidade ambiental ao óleo, pois o contaminante em contato com essas feições poderá atingir rapidamente os cursos d'água e/ou a água subterrânea. Ressalva-se, que nesta pesquisa, não foi considerada a sensibilidade fluvial, pois neste caso deve ser utilizada uma metodologia específica de sensibilidade ambiental fluvial.

#### 4.4 Caracterização dos compartimentos

A compartimentação fisiográfica foi feita utilizando-se técnicas de fotointerpretação, segundo metodologia proposta por Zaine (2011), com o intuito de determinar os segmentos ambientais, com características homogêneas, para a realização da análise da sensibilidade ambiental ao óleo das feições. Nessa técnica, o produto cartográfico gerado é único, porém

seccionado em unidades do terreno que refletem as diferentes características referentes ao relevo, solo, geologia, dentre outros, cujas informações são sintetizadas e apresentadas como uma análise integrada (Zaine, 2011).

Primeiramente, foram usadas as informações contidas na Compartimentação Fisiográfica realizada pela Secretaria do Meio Ambiente e, posteriormente, realizou-se um detalhamento da compartimentação, utilizando os métodos e classificações propostos por Zaine (2011), além de técnicas de fotointerpretação que se basearam na assimilação dos resultados da fotoanálise, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos, de forma a identificar o significado, função e relação das características das unidades fisiográficas delimitadas.

De tal modo, foram identificadas oito unidades fisiográficas. As características dessas unidades, bem como informações relevantes relacionadas à sensibilidade ambiental ao óleo apresentam-se no Quadro 9.

**Quadro 9.** Características encontradas na área de estudo.

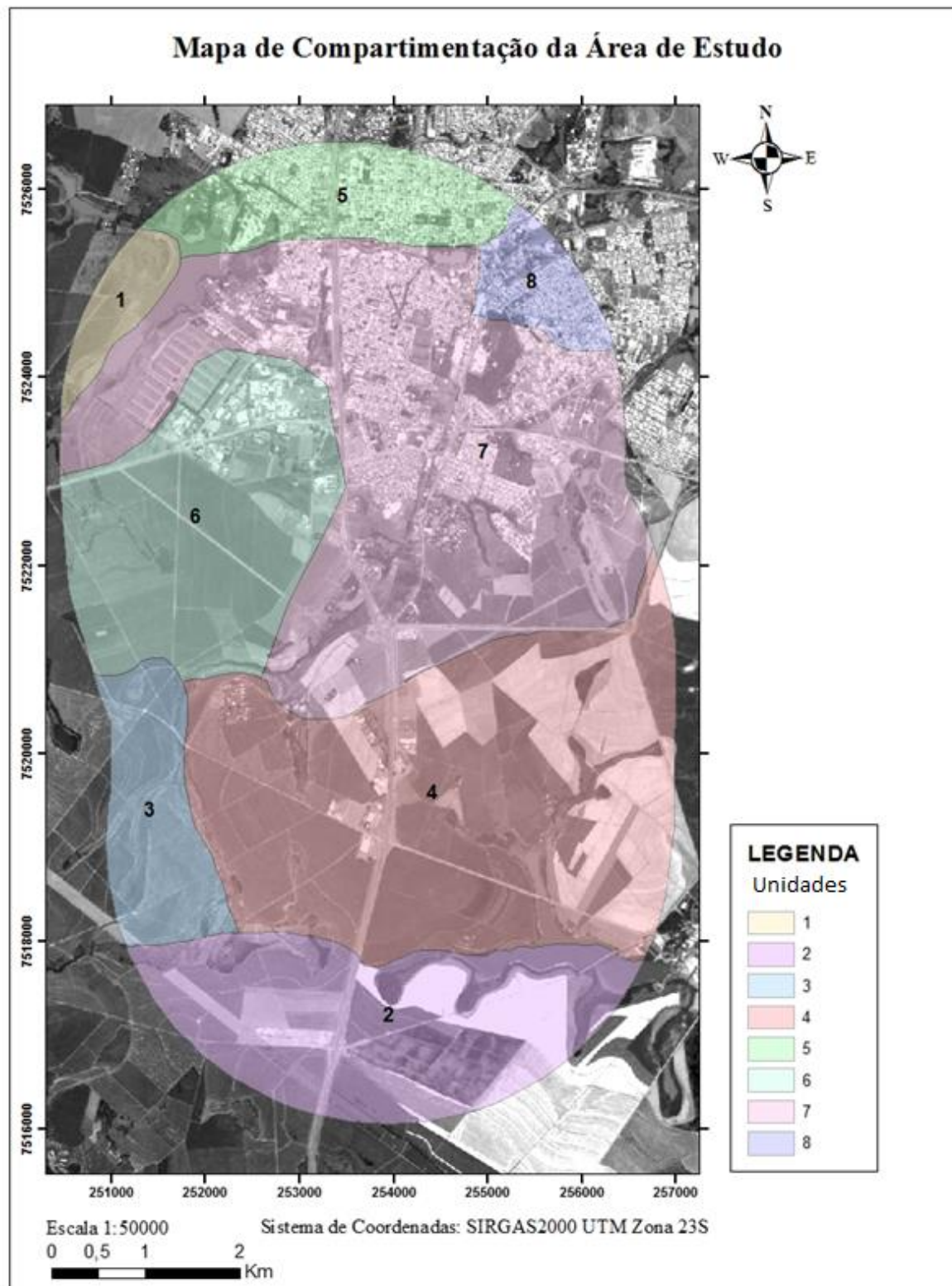
| Unidades | Unidade Morfoestrutural                                   | Unidade Morfoescultural | Litologia                                | Pedologia               | Amplitude | Declividade | Densidade de drenagem | Forma de encosta | Permeabilidade | Forma de topo |
|----------|-----------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------|-------------------------|-----------|-------------|-----------------------|------------------|----------------|---------------|
| 1        | Bacia vulcano sedimentar do Paraná - Depressão Periférica | Depressão Mogi-Guaçu    | Formação Corumbataí                      | Argissolos e Latossolos | Pequena   | Baixa       | Baixa                 | Convexa          | Alta           | Arredondada   |
| 2        | Bacia vulcano sedimentar do Paraná - Depressão Periférica | Depressão Mogi-Guaçu    | Formação Tatuí                           | Latossolos              | Pequena   | Baixa       | Baixa                 | Convexa          | Alta           | Arredondada   |
| 3        | Bacia vulcano sedimentar do Paraná - Depressão Periférica | Depressão Mogi-Guaçu    | Formação Corumbataí                      | Latossolos              | Pequena   | Baixa       | Baixa                 | -----            | Alta           | -----         |
| 4        | Bacia vulcano sedimentar do Paraná - Depressão Periférica | Depressão Mogi-Guaçu    | Formação Serra Geral, intrusivas básicas | Latossolos              | Pequena   | Baixa       | Baixa                 | Convexa          | Baixa          | Aplainada     |
| 5        | Coberturas sedimentares inconsolidadas                    | Depressão Mogi-Guaçu    | Formação Serra Geral, intrusivas básicas | Argissolos              | Pequena   | Baixa       | Baixa                 | Convexa          | Baixa          | Aplainada     |
| 6        | Bacia vulcano sedimentar do Paraná - Depressão Periférica | Depressão Mogi-Guaçu    | Formação Tatuí                           | Latossolos e Argissolos | Pequena   | Baixa       | Baixa                 | Convexa          | Alta           | Aplainado     |
| 7        | Bacia vulcano sedimentar do Paraná - Depressão Periférica | Depressão Mogi-Guaçu    | Formação Tatuí                           | Argissolos e Latossolos | Média     | Média       | Média                 | Convexa          | Média          | Arredondado   |
| 8        | Bacia vulcano sedimentar do Paraná - Depressão Periférica | Depressão Mogi-Guaçu    | Grupo Itararé                            | Argissolos              | Pequena   | Baixa       | Muito Baixa           | -----            | Alta           | -----         |

Assim, a partir dessa identificação, apresenta-se o mapa de compartimentação fisiográfica da área de estudo (Figura 18).

A partir da geração do mapa de compartimentação fisiográfica pode-se iniciar a confecção do mapa de índices de sensibilidade ambiental ao óleo, visto que para isso foi necessário à compilação de diferentes características.

As características “Declividade”, “Densidade de Drenagem” e “Permeabilidade”, analisadas nas unidades fisiográficas, são relevantes em relação à sensibilidade ambiental ao óleo, visto que podem determinar a dinâmica do poluente no ambiente. Estes dados serão correlacionados com informações obtidas em outros mapas-base gerados, para a determinação dos índices de sensibilidade ambiental.

**Figura 18.** Mapa de Compartimentação Fisiográfica da Área de Estudo.



#### **4.5 Mapa de Índices de Sensibilidade Ambiental ao óleo em trecho da Rodovia Anhanguera (SP-330), Município de Araras**

O Mapa de Índices de Sensibilidade Ambiental ao óleo gerado neste trabalho foi baseado na metodologia de Martins (2012), com algumas adaptações necessárias para a área em estudo.

Definido como um trecho da área de estudo com características ambientais homogêneas (MMA, 2004), os segmentos ambientais aqui propostos para a elaboração de um índice de sensibilidade ambiental terrestre constituem recortes das zonas homólogas do terreno, resultantes da sua intersecção com a área de buffer (3 km), estabelecida ao redor da rodovia. Os segmentos ambientais constituem uma forma sintética de representação espacial do Índice de Sensibilidade Terrestre (IST) nas Cartas SAO, o qual foi explicado no capítulo 2.2.6 deste trabalho.

A identificação das zonas homólogas a partir da compartimentação resultou em um banco de dados espacial, onde os polígonos, correspondentes aos vários compartimentos, receberam atributos referentes às diferentes variáveis-chave, consideradas relevantes com relação ao comportamento do óleo no meio terrestre, de forma a definir sua sensibilidade (MARTINS, 2008).

As variáveis-chave elencadas para a composição do IST são: (1) declividade (2) textura do material do perfil de alteração, (3) profundidade do perfil de alteração, (4) profundidade do nível d'água (lençol freático), e (5) densidade de drenagem (Quadro 10).

**Quadro 10.** Tabela de identificação das zonas homólogas e suas variáveis-chave.

\* Dd - Densidade de Drenagem; Dv - Declividade; T - Textura, E - Espessura; PNA- Profundidade do Nível d'água.

| Grupos   | Unidades       | Peso da Classificação | Dens. De Drenagem | Pd Dd | Declividade | Pd Dv | Textura          | Pd T | Espessura | Pd E | Profundidade do NA | Pd PNA | IST |
|----------|----------------|-----------------------|-------------------|-------|-------------|-------|------------------|------|-----------|------|--------------------|--------|-----|
| <b>1</b> | F. Corumbataí  | P1                    | Muito baixa       | 3     | Baixa       | 3     | Argila           | 1    | Média     | 2    | Médio              | 2      | 11  |
| <b>2</b> | F. Tatuí       | P1                    | Baixa             | 3     | Baixa       | 3     | Areia            | 3    | Alta      | 1    | Profundo           | 1      | 11  |
| <b>3</b> | F. Corumbataí  | P1                    | Baixa             | 3     | Baixa       | 3     | Areia            | 3    | Alta      | 1    | Raso               | 3      | 13  |
| <b>4</b> | F. Serra Geral | P1                    | Baixa             | 1     | Baixa       | 3     | Areia            | 3    | Alta      | 1    | Raso               | 3      | 11  |
| <b>5</b> | F. Serra Geral | P1                    | Baixa             | 1     | Baixa       | 3     | Argila           | 1    | Média     | 2    | Médio              | 2      | 09  |
| <b>6</b> | F. Tatuí       | P1                    | Muito baixa       | 3     | Baixa       | 3     | Areia            | 3    | Alta      | 1    | Raso               | 3      | 13  |
| <b>7</b> | F. Tatuí       | P1                    | Média             | 2     | Média       | 2     | Areia/<br>Argila | 2    | Média     | 2    | Raso               | 3      | 11  |
| <b>8</b> | F. Itararé     | P1                    | Muito baixa       | 3     | Baixa       | 3     | Argila           | 1    | Média     | 2    | Médio              | 2      | 11  |

\*\* Pd – Ponderação. 1 = baixa sensibilidade; 2 = sensibilidade intermediária; 3 = alta sensibilidade

\*\*\* IST - Índice de Sensibilidade Terrestre.

Após o estabelecimento de classes para todas as variáveis ao banco de dados, foi atribuída uma sensibilidade ambiental parcial (baixa, intermediária, alta) para cada classe, de acordo com a interação do óleo com as variáveis, conferindo uma cor característica a cada sensibilidade relativa e um valor para as mesmas. As cores e os valores utilizados foram os seguintes: vermelha, para classe com sensibilidade ambiental parcial alta e valor três; amarela, para sensibilidade intermediária, e um valor dois; e verde para a classe cuja sensibilidade for baixa com um valor um.

O Índice de Sensibilidade Ambiental Terrestre (IST) de cada segmento foi definido utilizando cinco diferentes classes (uma classe de cada variável), e definido a partir da combinação das cores representativas de cada classe e de seu valor respectivo. Essas características podem ser observadas na Figura 19.

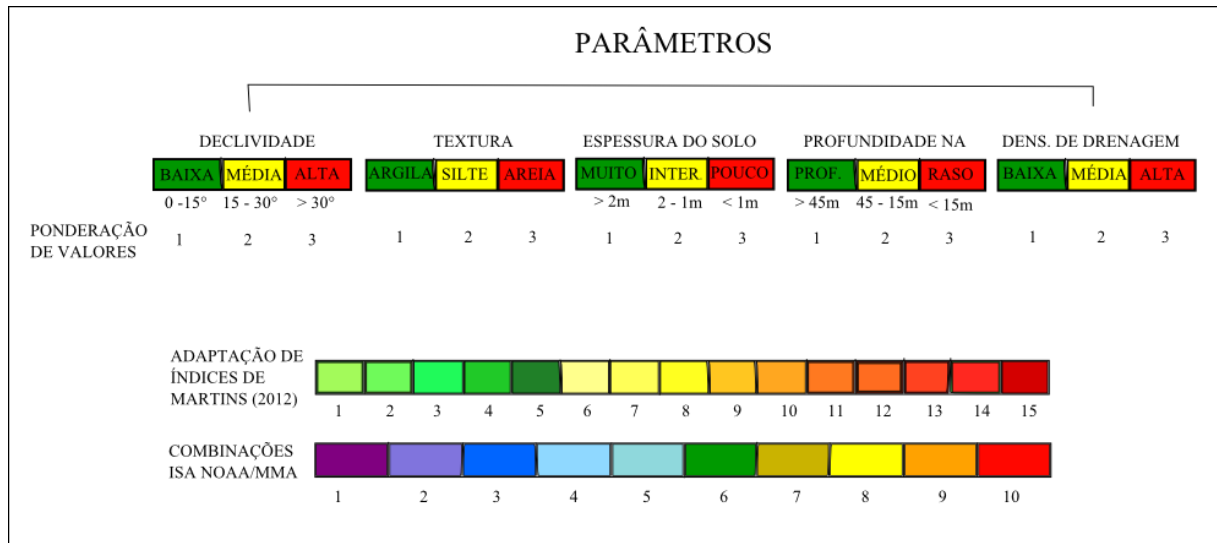
Na Figura 19 podem-se observar, também, as combinações de cores feitas pelo NOAA e o MMA e as adaptações feitas para esta pesquisa, baseada nos índices sugeridos por Martins (2012). Martins (2012) gerou em seu trabalho um IST com 21 variações de cores, mas para este trabalho se pôde utilizar apenas 15 variações.

Essas variações de cores levaram em consideração as cinco variáveis-chave e os valores impostos a elas (1 a 3), admitindo que todas as variáveis afetam de mesma maneira na sensibilidade local, ou seja, que todos eles foram analisados com o mesmo peso (1). Sendo assim, o total de valores que se poderia chegar para o IST seria 15.

Após essa análise e a geração de um IST, foi necessária a reclassificação desse valor (15) em um índice de 0 a 10, para que assim fosse possível a integração entre esses valores do terrestre com o índice feito pelo MMA, baseado no NOAA, para as áreas costeiras. Essa integração entre o ambiente costeiro e o terrestre é necessária, pois nenhum ambiente é independente do outro.

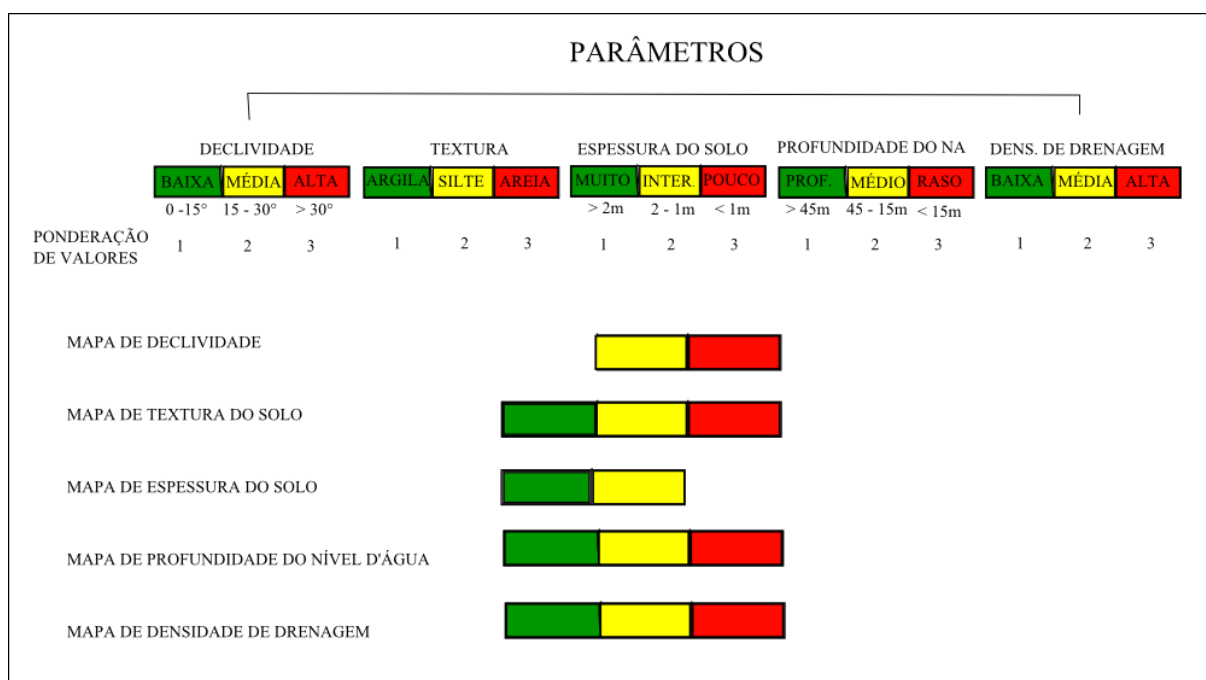
Sendo assim, para a confecção do mapa de índices de sensibilidade ambiental ao óleo utilizaram-se as mesmas cores de classificação que foram empregadas pelo NOAA/MMA.

**Figura 19.** Análise gráfica realizada nas classes de variáveis utilizadas no desenvolvimento do IST e as adaptações feitas a partir da metodologia de Martins (2012).



A partir das adaptações feitas no IST para a execução do Mapa Índice de Sensibilidade Ambiental ao óleo, em trecho da Rodovia Anhanguera, pode-se confeccionar cinco mapas preliminares de sensibilidade; cada um com valores de 1-3, referentes a variáveis-chave, isoladamente. O valor 1 para a classe indica que sua sensibilidade ambiental parcial é baixa. (Figura 20).

**Figura 20.** Parâmetros analisados nos mapas preliminares da Carta de Índices de Sensibilidade Ambiental ao óleo.



O Apêndice I mostra, separadamente, os cinco mapas preliminares gerados, e suas respectivas áreas mais sensíveis e menos sensíveis, de acordo com a variável analisada.

O primeiro mapa da figura é o de densidade de drenagem (Apêndice I.a). A densidade de drenagem possui uma estreita relação com a permeabilidade. A permeabilidade é uma propriedade dos materiais que é caracterizada pela maior ou menor facilidade de percolação de um fluido em um meio poroso e é resultado da comunicação entre os espaços intergranulares das rochas ou materiais inconsolidados ou, ainda, entre os espaços produzidos por fraturamento (SOARES; FIORI, 1976).

Para áreas sedimentares, a permeabilidade é considerada inversamente proporcional à densidade de drenagem, uma vez que a permeabilidade é a função da capacidade de infiltração; já nas regiões cristalinas, a correlação entre a densidade de drenagem e a permeabilidade é direta. No caso de áreas cristalinas, quanto maior o número de fraturas, que condicionam a drenagem, maior a permeabilidade do meio. No caso das áreas sedimentares, a permeabilidade é função tanto da porosidade da rocha, quanto do seu faturamento. Desta forma, o maior faturamento também conduz a uma maior permeabilidade.

No Quadro 10 observa-se que a densidade de drenagem na região é predominantemente muito baixa a baixa, sendo que apenas um dos oito compartimentos

apresenta uma densidade de drenagem intermediária. Além disso, dois compartimentos são de rocha cristalina, com grau de faturamento baixo, levando a interpretar que, em relação a esta variável, esses dois compartimentos são de menor sensibilidade; ao contrário dos compartimentos sedimentares e de baixa densidade de drenagem.

Deste modo, se o óleo atingir uma área de rochas cristalinas fraturada, há uma grande possibilidade do mesmo percolar pelas fraturas e atingir grandes profundidades rapidamente. Caso o óleo seja derramado em área sedimentar fraturada, o comportamento do contaminante é semelhante ao que acontece nas áreas de rochas cristalinas. Caso o meio não seja fraturado, a percolação do óleo será dependente da permeabilidade decorrente da porosidade do material. Neste caso, em meios arenosos a percolação será maior do que em meios argilosos.

O mapa de sensibilidade ambiental ao óleo em relação à profundidade do nível d'água (Apêndice I.b) demonstra uma alta sensibilidade da área-piloto considerando esta variável, visto que a maior parte da área apresenta um nível d'água muito raso (0-15m), chegando inclusive até a superfície. Apenas um compartimento da região sul apresenta baixa sensibilidade, pois o nível d'água está localizado a mais de 45 metros de profundidade.

A importância da profundidade do nível d'água na sensibilidade ambiental ao óleo faz com que seja indispensável a presença desta variável em qualquer tipo de análise ambiental, visto que o contato direto entre água subterrânea e óleo é um dos maiores problemas de contaminação gerados.

O Apêndice I.c mostra a sensibilidade ambiental ao óleo considerando a espessura do solo. É importante salientar que a espessura foi inferida, pois não houve um trabalho de campo na área, para análise e interpretação do perfil pedológico. Sendo assim, utilizou-se o conhecimento de fotointerpretação e de pedologia para gerar as classes de profundidade.

Esta característica geotécnica foi inferida a partir da análise de três elementos morfológicos do relevo: a forma, a extensão dos topos e a declividade (OLIVEIRA et al. 2007). Regiões de baixo declive, topos arredondados e amplos e forma de encosta convexa são características de solos profundos, enquanto topos amplos, com encosta convexa e declividade média são características de solos mais intermediários. Pode-se observar na figura 30 que todas as vertentes são convexas e que a declividade da região é baixa, com apenas um compartimento médio. Sendo assim, inferiu-se que os solos da região são profundos a médios, em poucos locais. Os solos são menos profundos ao norte da área, onde a declividade é um pouco mais acentuada.

Além dessas características usadas na fotointerpretação, pode-se encontrar na bibliografia as características dos solos da região. Os dois tipos de solos que ocorrem na área são os argissolos e latossolos, que foram discutidos anteriormente, no capítulo 3.2.1.4.4.

Considerando que latossolos são solos minerais profundos (normalmente superiores a dois metros) e horizonte B muito espesso (>50cm), pode-se dizer que quatro dos oito compartimentos apresentam solo muito espesso, pois são compostos por latossolos. Já os argissolos, são considerados solos de espessura intermediária, com aproximadamente um metro de espessura, geralmente, e horizonte B com no máximo 50 cm, de acordo com a Embrapa (1978).

O principal problema em se tratando de derramamento de óleo em ambiente com perfil de alteração pouco espesso é que o contaminante alcance a rocha e esta, esteja fraturada, uma vez que a capacidade de coletar as informações detalhadas para uma descrição completa de um sistema de rocha fraturada contaminado é considerado nem tecnicamente possível nem economicamente viável (SCHMELLING; ROSS, 1988).

Outra complicação em perfis pouco espessos ocorre devido à dificuldade de se retirar o solo por escavação mecânica para fins de limpeza e recuperação da área. O método de escavação, apesar de poder ser o método mais econômico de recuperação, não é indicado para áreas onde haja afloramentos rochosos (BEYNON et al., 1983). Esta condição denota a alta sensibilidade inerente aos perfis pouco espessos, uma vez que a remediação deste ambiente é mais complexa, quanto mais raso for o solo. De outro modo, solos profundos são mais suscetíveis à aplicação de diferentes métodos de limpeza e recuperação, além de manter distante a possibilidade de uma rocha fraturada ser atingida.

Sendo assim, ao analisar a área de estudo em relação à espessura do solo, pode-se considerar uma área com baixa a média sensibilidade ambiental, por não ocorrerem solos de pequena espessura na região.

O próximo parâmetro a ser apresentado no Apêndice I.d é a textura do solo. A textura do solo foi outro fator inferido neste trabalho, visto que não houve trabalhos de campo para coleta e futuras análises das amostras. A partir do mapa geológico da CPRM e do Mapa Pedológico da EMBRAPA, pode-se induzir o tipo de textura do solo da região.

Os Latossolos são, em geral, muito permeáveis. Esta permeabilidade é função da textura e da própria mineralogia, como tratado no capítulo 3.2.4.4, o qual discute essa permeabilidade dos latossolos e a formação de agregados minerais, o que faz com que esses solos apresentem um comportamento semelhante ao solo arenoso e que sejam extremamente permeáveis, ao

contrário do que se poderia supor a princípio, quando se consideram os latossolos provenientes de rochas básicas, que são argilosas.

A relação da capacidade de retenção do solo com o dano ambiental segue o mesmo encadeamento lógico da permeabilidade, ou seja, quanto maior o tamanho do grão, mais extenso será o espalhamento vertical, maior será a área atingida e mais sensível será o ambiente.

De acordo com Raij (1969), a capacidade de troca de cátions (C.T.C.) é uma característica físico-química fundamental dos solos, pois esta indica a quantidade de íons positivos que um solo é capaz de reter em determinadas condições e permutar por quantidades estequiometricamente equivalentes de outros íons do mesmo sinal. Trata-se de um atributo de grande interesse prático, muito útil em estudos de fertilidade, além de ser indispensável para a caracterização de unidades de solos.

Cabe apenas dizer que a C.T.C. acompanha os teores de argila. Assim, de uma maneira geral, nos argissolos, onde o teor de argila é quase sempre bem maior no horizonte B do que no A, a C.T.C. da fração mineral também o é, enquanto nos latossolos, onde o teor de argila aumenta menos em profundidade, a C.T.C. inorgânica também varia pouco.

Pode-se concluir a partir dessas premissas que os latossolos, por apresentarem uma C.T.C. maior em menor profundidade, podem gerar uma grande sensibilidade ambiental no ambiente, visto que a percolação do óleo é muito facilitada pela porosidade desse solo; ao contrário dos argissolos, que apresentam uma porosidade muito baixa e, além disso, sua C.T.C. é alta em profundidade, contribuindo para reduzir a chance de contaminações.

De acordo com Raij et al. (1991), solos arenosos apresentam uma baixa C.T.C. e conseqüentemente uma capacidade muito pequena de reter poluentes, e solos argilosos apresentam alta capacidade de retenção de poluentes. O uso de solos argilosos como impermeabilizantes ou barreiras de atenuação está se tornando um material de escolha para retardar a taxa de percolação e permitir a atenuação química dos contaminantes através de diversos processos de sorção.

Deve-se levar em consideração que os latossolos, apesar de apresentarem um comportamento arenoso, também apresentam caulinina e gibsitita em sua composição, que são argilas e, em teoria, também apresentam uma C.T.C. relevante, mas ao associá-las com os óxidos de ferro essas argilas perdem a sua alta capacidade de troca de cátions, tornando assim o latossolo extremamente sensível.

Sendo assim, ao gerar o mapa parcial de sensibilidade ambiental, em relação à textura do solo, conclui-se que a região que apresenta latossolos é extremamente sensível e mais a sul, quando ocorre a transição para argissolo, mostra-se uma área menos sensível.

Por fim, mas não menos importante, deve-se citar a última variável utilizada, a declividade (Apêndice I.e). A mesma está diretamente relacionada à espessura dos solos, de forma que em regiões de alta declividade, são esperados solos mais rasos, enquanto que em regiões de baixas declividades, o solo tende a ser mais profundo.

Como discutido no item 4.1, apesar de contaminar uma área de maior extensão horizontal no sítio afetado, o ambiente com altos declives implica baixa sensibilidade ambiental. Esta afirmação é baseada na facilidade de limpeza e recuperação de áreas em que o óleo não atinja deslocamento vertical acentuado, situação em que o óleo pode alcançar, por exemplo, a zona saturada, ampliando o potencial poluidor. É sempre mais difícil a limpeza em subsuperfície do que a superficial.

O cruzamento desses cinco mapas parciais de sensibilidade, dentro de um único mapa gera o mapa preliminar de Índices de Sensibilidade Ambiental ao Óleo, em um trecho da Rodovia Anhanguera (SP-330), ilustrado no Apêndice II. Esse mapa ilustra a união destes fatores, relevantes na interpretação da sensibilidade ambiental ao óleo. Ressalta-se que esse mapa gerado possui índices de 0 a 13, pois apesar de existirem 15 combinações possíveis, duas classes não ocorrem na área, como pode ser observado na figura 23.

Após a análise das variações, o mapa foi reclassificado no intervalo de 1 a 10, utilizado pela NOAA e MMA para ambientes costeiros. Para a utilização do mesmo intervalo de índices, parte-se do pressuposto que áreas costeiras, terrestres e fluviais devam ser integradas no futuro, com índices comparáveis, permitindo a interpretação da sensibilidade de grandes áreas, com diversidade de ambientes. Da mesma forma, as cores que representam cada um dos índices também são as mesmas dos ambientes costeiros,

O mapa gerado mostrou a área como altamente sensível, visto que dos oito compartimentos, nenhum deles apresentou um IST menor do que 6 e que, apenas um deles apresenta o IST 6, que já é considerado um IST médio – alto; cinco compartimentos apresentaram um IST 8 e dois compartimentos apresentaram um IST 9, sendo que o nível máximo desses índices chegaria a 10.

Sendo assim, conclui-se que o compartimento mais a sul da área apresenta-se como o menos sensível, com o IST 6, e os compartimentos centrais e a nordeste são bastante sensíveis

(IST8), e dois compartimentos a noroeste apresentam os níveis mais altos encontrados nesse trabalho, com IST 9, de uma escala de 0-10, como pode ser visualizado no Apêndice II.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental ao óleo de um trecho da Rodovia Anhanguera (SP-330), demonstrou a variedade de ambientes que podem ser contemplados com a elaboração dessas cartas de índice de sensibilidade.

A Rodovia Anhanguera, entendendo a área piloto como uma representação de sua extensão, possui sensibilidade médio-alta, uma vez que há presença de IST 6, 8 e 9, sendo que o máximo alcançável seria 10 na escala. Deve-se levar em consideração que não foram avaliadas as características socioeconômicas e nem bióticas do local, que constituem os outros componentes da Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) . Neste trabalho, como proposto, foi considerado apenas o índice de sensibilidade, que foi ancorado no meio físico, de forma análoga ao que acontece nas cartas SAO de áreas costeiras, com a aplicação da metodologia do MMA ( 2002 e 2004) , adaptada de NOAA ( 1995) , Sendo assim, pode-se dizer que o meio físico da área em estudo apresenta uma sensibilidade de média a alta.

Conclui-se também que a compartimentação fisiográfica constitui-se em interessante procedimento a ser aplicado para a análise da sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes terrestres, visto que permite a determinação de áreas com características homogêneas , o que viabiliza a aplicação da proposta do MMA para sensibilidade ambiental ao óleo. Nesta metodologia, segmentos homogêneos são identificados, para posterior classificação de sensibilidade.

A utilização do mapa pedológico e a elaboração dos mapas de declividade e de profundidade do nível d'água, foram fundamentais na compreensão e análise da sensibilidade da área, pois apresentam informações importantes, que conduzem a inferências em relação ao comportamento do óleo no ambiente.

Além disso, as técnicas de fotointerpretação utilizadas para a determinação dos compartimentos mostraram-se eficientes, e seriam otimizadas pelo trabalho de campo, representando uma maior compreensão total da área, bem como a confirmação das feições mapeadas e identificadas através da imagem orbital.

A metodologia de Martins (2012), selecionada para a realização deste trabalho, com as adaptações necessárias, foi eficiente para a confecção do Mapa de Índices de Sensibilidade Ambiental ao Óleo, em ambientes terrestres. A proposta do autor foi a geração de um Índice de Sensibilidade Terrestre (IST) utilizando as seguintes variáveis: a declividade do terreno, a textura e a profundidade do perfil de alteração, a profundidade do nível d'água e a

permeabilidade relativa. Desta forma, os índices utilizados neste trabalhos foram os mesmos de Martins (2012).

Além disso, o trabalho do autor se baseou na utilização de técnicas de fotointerpretação e geoprocessamento, com destaque à compartimentação fisiográfica de trechos da região em estudo, a fim de determinar a persistência natural do óleo e sua facilidade de limpeza, através das características homogêneas da região, identificadas por esse método.

A metodologia, baseada na compartimentação fisiográfica, para a elaboração dos índices de sensibilidade ambiental ao óleo em áreas terrestres, é eficiente e pode ser utilizada para a elaboração de Cartas SAO, onde serão posteriormente adicionadas as informações bióticas e socioeconômicas. Estas cartas são fundamentais como apoio de ações de emergência em acidentes que envolvam derrames de produtos perigosos, além dos hidrocarbonetos (por exemplo, o caso dos ácidos), pode ser levado em consideração, já que a tipologia do impacto e do meio é semelhante. A presente metodologia e sua aplicação seguramente deverão ser refinadas a partir da constatação de inconsistências do seu emprego em situações reais de acidentes envolvendo derrame de óleo.

Espera-se também, que este trabalho possa contribuir para a geração de cartas de sensibilidade ambiental ao óleo (Cartas SAO) em ambientes terrestres.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. A terra paulista. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 23, p. 5-38, 1956.
- ACIDENTE: inferno na madrugada. **Época**, Rio de Janeiro, n. 33, p.46-49, 14/09/1998.
- ALLABY, A.; ALLABY, M. **A Dictionary of Earth Sciences**. University Press, Oxford. 619 pp. 2003.
- ALENCAR, C. A. G. **Mapeamento de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo: Estudo de Caso para Icapuí, Ceará**. 2003. 95 f. Dissertação (Mestrado em Política e Gestão Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, n. 41, p. 167-263, 1964.
- ALMEIDA, T. C. et al. **Diagnóstico Preliminar das Condições Ambientais da Área de Manancial do Município de Araras – SP**. 2006. Disponível em: <[http://www.biologico.sp.gov.br/biologico/v68\\_supl\\_raib/337.PDF](http://www.biologico.sp.gov.br/biologico/v68_supl_raib/337.PDF)> Acesso em: 19 mar. 2016.
- AMORIM, D. G. A. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio de análise integrada no Parque Estadual do Juquery – Franco da Rocha – SP**. 2015. 126 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.
- ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**. Araraquara, v. 35, n. 3, 2010.
- ARAUJO, S. I. **Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo: Ambientes costeiros, estuarinos e fluviais**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2006.
- ARAUJO, S. I.; MUEHE, D. C. E. H.; 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: Petrobras, 2002. 134p.
- ARARAS. **História do município**. [2015]. Disponível em: <<http://www.araras.sp.gov.br/historia/>> Acesso em: 21 abr. 2015.
- ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. A.; PERINOTTO, J. A. J. Paleocorrentes, paleogeografia e sequências deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.33, n.1, p. 33-40, 2003.
- BALBINO, L.C., BRUAND, A., BROSSARD, M., GUIMARÃES, M.F. Comportement de la phase argileuse lors de la dessiccation dans des Ferralsols microagrégés du Brésil: rôle de la

microstructure et de la matière organique. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, v. 332, p. 673–680. 2001.

BALBINO, L.C., BRUAND, A., BROSSARD, M., GRIMALDI, M., HAJNOS, M., GUIMARÃES, M.F. Changes in porosity and microaggregation in clayey Ferralsols of the Brazilian Cerrado on clearing for pasture. **European Journal of Soil Science**, v. 53, p. 219–230. 2002.

BERNARDELLI, V. C. **Análise das alterações geomorfológicas provocadas pela urbanização: o caso da bacia hidrográfica do Córrego do Facão em Araras (SP)**. 2015. 129 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

BETIM, L.S. et al. **Caracterização da condutividade hidráulica dos solos típicos de uma microbacia representativa da Zona da Mata de Minas Gerais**. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 4p. 2012.

BEYNON, L. R.; GÖDJEN, H.; LILIE, R. H. ASTON, G. H. R.; SIBRA, P. STAPLEFORD, J. K.; **A field guide to inland oil spill clean-up techniques**. CONCAWE. Report nº. 10/83. 1983.

BRAUN, O. P. C.; OLIVEIRA, W. J. Mapas de sensibilidade ambiental de faixas de dutos terrestres. In: SEMINÁRIO DE ATENDIMENTO A EMERGÊNCIAS EM NÍVEL REGIONAL – REGIÃO SÃO PAULO E CENTRO OESTE, 1., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CETESB, 2003.

BORUFF, B. J.; EMRICH, C.; CUTTER, S. L. Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. **Journal of Coastal Research**, Fort Lauderdale, v. 21, n. 5, p. 932-942, 2005.

BTC. **Potential impacts of oil spillage to na onshore environment**. BTC General Oil Spill Response Plan. Appendix F. Disponível em: <[http://ww.bp.com/liveassets/bp\\_internet/bp\\_caspian/bp\\_caspian\\_en/STAGING/local\\_assets/downloads\\_pdfs/xyz/BTC\\_English\\_General\\_OSRP\\_Content\\_Appendix\\_F.pdf](http://ww.bp.com/liveassets/bp_internet/bp_caspian/bp_caspian_en/STAGING/local_assets/downloads_pdfs/xyz/BTC_English_General_OSRP_Content_Appendix_F.pdf)>. Acesso em: 20 de jul. 2016.

CABRAL JR, M. Avaliação do potencial metalogenetico da Bacia do Paraná no Estado de São Paulo para depósitos sedimentares fosfáticos, evaporíticos e de metais base. **Rio Claro, 238p.(Dissertação de Mestrado-Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP)**, 1991.

CASARINI, D. C. P. Padrões de Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas. In: WORKSHOP DE BIODEGRADAÇÃO E BIORREMEDIAÇÃO, 1., 1996, Campinas. **Anais...** Campinas: Embrapa, 1996.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Cadastro de Emergências Químicas - Quadro de estatísticas 2013**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/estatisticas/estatisticas.asp>>. Acesso em: 04 mai. 2016.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Os acidentes químicos no Estado de São Paulo ocorridos nas atividades–indústria, descarte e armazenamento no período 1980 A 2013. **Anais: Encontro Internacional de Vulnerabilidades e Riscos Socioambientais**. 2013.

CHAHUD, A. **Geologia e paleontologia das formações Tatuí e Irati no centro-leste do Estado de São Paulo**. 2011. 299 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CHAKRADEO, P. P.; KAYAL, J. J.; BHIDE, S. V.; Effect of benzo(a)pyrene and methyl(acetoxymethyl) nitrosamine on thymidine uptake and induction of aryl hydrocarbon hydroxylase activity in human fetal oesophageal cells in culture. **Cell Biology International**. London, v. 17, n. 7, p. 671-676, 1993.

CODUTO, D. P. **Geotechnical Engineering: principle and pratices**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

CORTEZ, L.A. et al. **Relações espaciais entre caulinita e gibbsita e a estabilidade dos agregados de Latossolo**. 5p. Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias. Botucatu, SP. 2009.

COSTA, D. M. **Estabelecimento de um índice de sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais, com o suporte da ferramenta Morph**. 2013. 193 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

CNT, PESQUISA RODOVIÁRIA. **Confederação Nacional do Transporte**. 2009.

CUSTANCE, S. R. Et al. Environmental fate of the chemical mixtures: crude oil, jp-5, mineral spirits, and diesel fuel. **Journal of Soil Contamination**, Boca Raton, v. 1, n. 4, p. 379-386, 1992.

DAY, M. J. ; REINKE, R. F. ; THOMSON, J. A. M. **Fate and Transport of Fuel Componets Below Slightly Leaking Underground Storage Tanks**. 2001. Disponível em: <<http://www.idealibrary.com>>. Acesso em: 01 ago. de 2016.

DE ALMEIDA, C. L. F. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Brotas. I. Mapas de solos**. Instituto Agrônômico, 1981.

DE ALMEIDA, Fernando Flávio Marques. **Origem e evolução da plataforma brasileira**. DNPM, 1967.

DE BIASE, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**. V. 21. P. 8-12. 1970.

DATAGEO. **Sistema Ambiental Paulista**. 2016. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/web/guest/inicio>>. Acesso em: 2 de fev. 2016.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Pesquise os poços profundos**. Disponível em:

<<http://www.aplicacoes.dae.sp.gov.br/usuarios/DaeewebpocoexcelDpo.html>>. Acesso em: 10 de mai. 2016.

EL-SWAIFY, S. A. Physical and mechanical properties of Oxisols. In: THENG, B. K. (Ed.) **Soils with variable charge**. Palmerston North: Society of Soil Science, 1980. p. 303-322.

EMBRAPA. **Brasil em Relevô**. [2016] Disponível em:

<<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/sp/index.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

EMBRAPA. **Monitoramento por satélite – SRTM**. [2016]. Disponível em:

<<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/conteudo/relevo/material.htm>>. Acesso em 20 de mar. 2016.

EMBRAPA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamento e reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro**, 1978. 455p. (EmbrapaSNLCS. Boletim Técnico, 53).

ENGESAT. **Ficha técnica resumida-SPOT5**. Disponível em:

<<http://www.croce.ggf.br/SR/SR1/SPOT%205.htm>>. Acesso em: 17 de jun. 2016.

ESRI. **ArcGIS Desktop**: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2015

E-TECH INTERNATIONAL INC. **Environmental Sensitivity Mapping**. Disponível em:

<<http://www.oil-spill-info.com/Mainframes/Mainframe%20Mapping.htm>>. Acesso em: 04 fev. 2016.

FERREIRA, J.; ZUQUETTE, L.V. Considerações sobre as interações entre contaminantes constituídos de hidrocarbonetos e os compostos do meio físico. **Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 527-557, 1998.

FERREIRA, M. F.; BEAUMORD, A. C. Mapeamento da sensibilidade ambiental a derrames de óleo nos cursos de água da bacia do rio Canhanduba, Itajaí, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 12, n. 2, p. 61-72, 2008.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 23, p. 515-524, 1999.

FINOTI, A. R.; CAICEDO, N. O. L. Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de Petróleo: toxicidade e legislação brasileira. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 29-46, 2001. Disponível em

<[http://www.abrh.org.br/novo/arquivos/v6/v6n2/v62\\_03contaminacoesfinal.pdf](http://www.abrh.org.br/novo/arquivos/v6/v6n2/v62_03contaminacoesfinal.pdf)>. Acesso em 29 jul. 2016.

FOGAÇA, L. B. V.; MARTINS, F.; AMORIM, L. L. G.; ALMEIDA, F. P. Comportamento da percolação de poluentes hidrocarbonetos em função da textura do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 5.. 2014, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2014.

FUSSEL, D. R. et al. **Revised inland oil spill clean-up manual**. [S.I]: CONCAWE, 1981.

GUIGUER, N. **Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento**. Ontário: Waterloo Hydrogeologic, 1996.

GUNDLACH, E. R. et al. Incorporating biodiversity into sensitivity maps of the Niger River delta. **International Oil Spill Conference Proceedings**, Washington, v. 2001, n. 1, p. 391-403, 2001.

GUNDLACH, E. R. et al. Pipeline and coastal environmental sensitivity mapping for the BTC pipeline system in Turkey. **International Oil Spill Conference Proceedings**, Washington, v. 2005, n. 1, p. 1-6, 2005.

GUNDLACH, E. R.; HAYES, M. O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Marine Technology Society Journal**. Washington, v. 12, p. 18-27. 1978.

HAYES, M. O.; MICHEL, J.; DAHLIN, J. A. Identifying and mapping sensitive resources for inland area planing. **International Oil Spill Conference Proceedings**. Washington, v. 1995, n. 1, 1995, p. 365-371. Disponível em: <<http://ioscproceedings.org/>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

HAYES, M. O.; MICHEL, J.; MONTELLO, T. M. The reach sensitivity index (RSI) for mapping river and streams. **International Oil Spill Conference**. p. 343-350. 1997.

HAYES, M O.; MICHEL, J.; MONTELLO, T. M. The environmental sensitivity index (ESI) for mapping rivers and streams. **International Oil Spill Conference Proceedings**. Washington, v. 1997, n. 1, p. 343- 350, 1997. Disponível em: <<http://ioscproceedings.org/>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

HULING, S. G; WEAVER, J. W. **Ground water issue: Dense Nonaqueous Phase Liquids**. Oklahoma : EPA, 1991.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Acidentes Ambientais 2012**. 27p. 2012. Disponível em: <[www.ibama.gov.br/emergencias/download/194/](http://www.ibama.gov.br/emergencias/download/194/)>. Acesso em: 06 set. 2016.

IBGE, Censo. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE-The Brazilian Institute of Geography and Statistics). 2001.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo escala 1: 500.000**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981.

IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 1 mapa. preto e branco. Escala 1:1.000.000. (IPT. Séries Monografias).

LEACOCK, E. **The Exxon Valdez oil spill**. New York: Facts On File, 2005.

LEPSCH, I. F., BELLINAZZI, R., BERTOLINI, D., ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1991.

MACHADO, F. B. **Petrologia e caracterização geoquímica das fontes mantélicas da região noroeste da província magmática do Paraná**. 2009. 250 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.

MACKAY, D. M.; CHERRY, J. A. Ground-Water Contamination: Pump and Treat Remediation. **Environmenal Science & Technology**, Washington, v. 23, n. 6, p. 630-636, 1989.

MARTIN, J. P.; MARTIM, W. P.; PAGE, J. B.; RANEY, W. A; MENT, J.D. **Soil aggregation**. *Advances Agronomy*, v. 7, p. 1-37, 1955.

MARTINS, P. T. A. **Carta de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo em rodovias: proposta aplicada a Estrada dos Tamoios (SP – 099)**. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2012. 172 p,

MATTOS, C. O. **Contribuição ao planejamento e gestão da área de proteção ambiental de Souzas e Joaquim Egídio**. Campinas: Embrapa, 1986.

MATTOS, M. B. C. Application of oil spill environmental sensitivity analyses to Brazilian road networks. **International Oil Spill Conference Proceedings**, Washington, v. 2008, n. 1, p. 169-175, 2008.

MEDINA, A. S.; MEDINA, S.M.S. **A representação da superfície topográfica através de modelos digitais de terreno**. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomatemática. 8p. 2007.

MENDES, R. F. et al. MARA – Elaboração de metodologias para análise dos riscos ambientais. In: RIO PIPELINE CONFERENCE AND EXPOSITION, 1., 2005. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo e gás, 2005.

MICHEL, J.; HAYES, M. O.; BROWN, P. J. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of lower Cook Inlet, Alaska. **Environmental geology**, Berlin, v. 2, n. 2, p. 107-117, 1978.

MICHEL, J.; DAHLIN, J. **Guidelines for Development of Digital Environmental Sensitivity Index Atlases and Database**. Seattle : National Oceanic and Atmospheric Administration, 1993.

MILANELLI, J. C. C. **Vazamentos de óleo no mar: Impactos Ambientais e Procedimentos de Emergência**. Trabalho não publicado, 2011.

MILANI, E. J. **Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental**. 1997. 255 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 69-82, 1994.

MILANI, E. J. et al. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Rio de Janeiro: MMA, 2002, 22p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília: MMA, 2004, 107p.

MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 30 jun. 2016.

MOREIRA, C. A.; DOURADO, J. C. Análise de contaminantes de fase líquida não aquosa (NAPLs) por aplicação do método eletromagnético indutivo (EM). **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 213-220, 2005

NANNI, A. S. **Contaminação do meio físico por hidrocarbonetos e metais na área da refinaria Alberto Pasqualini, Canoas, RS**. 2013. 156 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

NEWELL, C. J. et al. **Ground Water Issue: Ligth Nonaqueous Phase Liquids**. Oklahoma: EPA, 1995.

NOAA (NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION). **Sensitivity mapping of inland areas**: Technical support to the Inland Area Planning Committee Working Group. USEPA Region 5. HAZMAT Report 95-4. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 1995.

NOWATZKI, A.; OKA-FIORI, C. **Mapeamento da fragilidade e ambiental da bacia do rio Capivarí (Tijucas do Sul e São José dos Pinhais/PR)**. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais eletrônico...** Viçosa: UFV, 2009. Disponível em:

<[http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos\\_completos/eixo1/007.pdf](http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/007.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2016.

OLIVEIRA, J. B. et al. **Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de Araras**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1982.

OLIVEIRA, W. J. DE; BRAUN, O. P. G.; PEREIRA JR., E. R.; NASCIMENTO, V. L. DO; BRAGA FILHO, J. B.; PINESCHI, R.; RODRIGUES, A. F.; LOEIRO, R. T. M.; BIZERRIL, C. R. S. F. **Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Petróleo e Derivados no Sistema Petrobrás: Ambientes Terrestres e Fluviais – Sistema Petrobrás**. 2003. 176 p.

OLIVEIRA, E. M. **Carta Geológico-Geotécnica como subsidio a elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental, a derrames de petróleo e derivados, na região do oleoduto “Guararema-São José dos Campos”, Vale do Paraíba (SP)**. Dissertação de mestrado. – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2009. 102p.

OLIVEIRA, T. A.; RIEDEL, P. S.; VEDOVELLO, R.; SOUZA, C. R. G.; BROLLO, M. J. Utilização de técnicas de fotointerpretação na compartimentação fisiográfica do município de Cananéia, SP – apoio ao planejamento territorial e urbano. **Geociências**, v. 26, n. 1, p. 55-65, 2007.

OLIVEIRA, JB de et al. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: Escala 1: 500.000. **Campinas-SP: Instituto Agrônomo**, 1999.

ONWURAH, I. N. E. et al. Crude Oil Spills in the Environment, Effects and Some Innovative Clean-up Biotechnologies. **International Journal of Environmental Research**, Tehran, v. 1, n. 4, p.307-320, 2007. Disponível em: <<http://www.bioline.org.br/request?er0741>>. Acesso em: 08 ago. 2016.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do Setor Centro-Ocidental da Depressão Periférica Paulista**. 1976. 86 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976.

PEREIRA, M. G. **Aplicações da teoria da percolação à modelagem e simulação de reservatórios de petróleo**. 2006. 94 f. Tese (Doutorado em Física da Matéria Condensada, Astrofísica e Cosmologia, Física da Ionosfera) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/16533>>. Acesso em: 29 jul. 2016.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINÉ, J. E. **Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro**, com base em Soares & Landim (1975). 2008. Não publicado.

PERROTA, M. M. et al. Mapa geológico do estado de São Paulo. **São Paulo: CPRM, Programa Geologia do Brasil-PGB**, 2005.

PETERSEN, J. et al. **Environmental Sensitivity Index Guidelines**. Seattle: NOAA, 2002.

PILACHEVSKY, T. **Zoneamento geoambiental do município de São João da Boa Vista (SP)**. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP. 2013.

PREFEITURA DE ARARAS. **Araras**. [2016]. Disponível em: <<http://www.araras.sp.gov.br/>> Acesso em: 19 jul. 2016.

PROCESSAMENTO DIGITAL. **ENVI: Composição de Imagens SPOT5 em cores verdadeiras**. 2011. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2011/08/08/envi-composicao-de-imagens-spot-5-em-cores-verdadeiras/>>. Acesso em: 17 de jun. 2016.

PROJETO ECOAGRI. **Projeto Ecoagri Diagnóstico Ambiental da Agricultura em São Paulo**: Bases para um desenvolvimento rural sustentável. Campinas: Unicamp/Fapesp, 2006. Disponível em: <<http://ecoagri.cnptia.embrapa.br/resultados/relatorios/IIIRelatorioEcoAgri2006Completo.pdf>> Acesso em: 14 jun. 2016.

RAIJ, B. van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, v. 28, n. unico, p. 85-112, 1969.

RAIJ, B. van et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargill, 1991. 170p.

REATTO, A. et al. Development and origin of the microgranular structure in latosols of the Brazilian Central Plateau: Significance of texture, mineralogy, and biological activity. **Catena**, v. 76, p. 122-134. 2009.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Inf. Agropec.**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p. 3-18, 1985.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 2. ed. Viçosa: NEPUT, 1997. 367 p.

ROSS, J. L. S. (1995). Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia. FFLCH, USP**, (9), p.65-75. 1995.

ROSS, J. L. S. MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo 1:500.000 - Vol. I - Mapa - Vol II - Livro**. São Paulo: FAPESP, 1997, v.1. 66 p.

SAAD, Antonio Roberto. **Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro e sul do Estado de São Paulo**. 1977. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SAWARN, S.J; THOROGOOD, J.L. **A compendium of directional calculations base don the minimum curvature method**. Society of Petroleum Engineers Drilling & Completion. 2005.

SCHAEFER, C.E.R. Brazilian Latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal Soil Research**, v.39, p. 909–926. 2001.

SCHAEFER, C.E.R., KER, J.C., GILKES, R.J., CAMPOS, L.M., SAADI, A. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. **Geoderma**, v. 107, p. 243–269. 2002.

SCHOBENHAUS, Carlos et al. Geologia do Brasil. In: **Geologia do Brasil**. DNPM, 1984.

SCHNEIDER, R. L. et al. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais ...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. v. 1, p. 41-65.

SCHMELLING, S. G.; ROSS, R. R. **Contaminant Transport in Fractured Media**: Models for Decision Makers. U.S. EPA, EPA/600/SF-88/002, October, 1988.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Unidades básicas de compartimentação do meio físico (UBC) do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2014.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Cessão de dados**. [2016]. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/cessao-de-dados/>>. Acesso em: 4 abr. 2016.

SENTELHAS, P. C. et al. **Clima dos municípios paulistas**. [2016]. Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_038.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_038.html)>. Acesso em: 14 fev. 2008

SILVA, R. O. **Mapeamento de Vulnerabilidade Ambiental para o Gerenciamento de Riscos de Transporte Ferroviário de Produtos Perigosos** – uma proposta metodológica. 2010. 207 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2010.

SIMÕES, M. G.; FITTIPALDI, F. C. **As conchas fósseis da região de Rio Claro**. Rio Claro: Arquivo do Município de Rio Claro, 1992.

SOARES, P. C. O limite glacial – pós-glacial do Grupo Tubarão do Estado de São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 44, p. 161-172, 1972.

SOARES, P.C. Elementos estruturais da parte nordeste da Bacia do Paraná: Classificação e Gênese. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, p. 107-121.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografia aéreas em Geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p.71-104, 1976.

SOARES, P. C. et al. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Brazilian Journal of Geology**, v. 10, n. 3, p. 177-185, 1980.

SOUZA, J.; FERREIRA, F. J. F. Anomalias aerogamaespectrométricas (K, eU e eTh) da quadrícula de Araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatos. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 251-274, 2005.

SPRING:" **Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**"

Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

**SURFER 10.2 – User's guide. Countouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers:** Goldem Software, inc. 2015.

**TOPODATA. Banco de dados geomorfológicos do Brasil.** 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 5 jul. 2016.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (Rio Claro). Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação. **Normas ABNT e busca bibliográfica.** Ed. rev. Rio Claro, 2016. Disponível em: <[http://issuu.com/bibliotecaunesprc/docs/apostila\\_total\\_2014](http://issuu.com/bibliotecaunesprc/docs/apostila_total_2014)>. Acesso em: 04 abr. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Sensores e Plataformas Orbitais.** [201-?]. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/sensores.html>> Acesso em: 17 jun. 2016.

USDA. United State Department of Agriculture. **Design Guide for Oil Spill Prevention and Control at Substations**, Bulletin 1724E-302. 1993a. Disponível em: <[http://www.rurdev.usda.gov/SupportDocuments/UEP\\_Bulletin\\_1724E-302.pdf](http://www.rurdev.usda.gov/SupportDocuments/UEP_Bulletin_1724E-302.pdf)>. Acesso em: 08 ago. 2016.

USDA. United States Department of Agriculture. **Soil survey manual.** Soil Survey Division Staff. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18. 1993b. Disponível em: <<http://soils.usda.gov/technical/manual/>>. Acesso em 10 fev. 2016.  
VALLADARES, G. S.; AVANCINI, C. S. A.; TÔSTO, S. G. **Uso e Coberturas das terras do Município de Araras.** Campinas: EMBRAPA, 2008.

VALLADARES, G. S.; CORRALES, F. M.; ROSSI, A. de S. **Uso e cobertura das terras do Município de Araras.** Campinas: EMBRAPA, 2008.

VEDOVELLO, R. Zoneamento Geotécnico com base em Sensoriamento Remoto para fins de Planejamento Regional e Urbano [Geotechnical Zoning based on Remote Sensing Techniques for Urban and Regional Planning]. **M. Sc, INPE—National Institute for Space Research)(in Portuguese)**, 1993.

VEDOVELLO, R.; MATTOS, JT de. A utilização de unidades básicas de compartimentação (UBCs) como base para a definição de unidades geotécnicas: uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**, v. 3, 1998.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotectônicos aplicados a gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBC.** 2000. 154 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

VIANA, J. A. P. Comportamento de hidrocarboneto no solo: uma revisão bibliográfica. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA, 4., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SEPEGE, 2009.

VOLLAND-TUDURI, N. **Nature et mode d'assemblage des constituants minéraux et organiques dans des Ferralsols de la région des Cerrados (Brésil)**. Evolution après mise en culture. PhD-tese. Université d'Orléans-Orléans, France. 2005b. Disponível em: <<http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00009347/fr/>>. Acesso em Outubro de 2016.

WALKER, D. A. et al. Effects of crude and diesel oil spills on plant communities at Prudhoe Bay, Alaska, and the derivation of oil spill sensitivity maps. **Arctic**, Calgary, v. 31, n. 3, p. 242-256, 1978.

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. 1994. 1994. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Geociências)—Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro.

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo**: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). 2000. 188 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZAINE, J. E. **Método de Fotogeologia Aplicado a Estudos Geológico- Geotécnicos: Ensaio em Poços de Caldas, MG**. 2011. 103 f. Tese (Livre-docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

ZAINE, M. F.; PERINOTTO, J. A. J. **Patrimônios Naturais e História Geológica da região de Rio Claro – SP**. Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, 1996.

ZENGEL, S.; HAYES, M. O.; MICHEL, J.; WHITE, M. Integrated planning front the mountains to the sea: environmental sensitivity mapping in the Caribbean. **International Oil Spill Conference**, p. 1-5, 2001a.

ZENGEL, S.; HAYES, M. O.; MICHEL, J.; ROBERTSON, A. Sensitive areas planning for inland South Florida: web and GIS tools. **International Oil Spill Conference**, p. 789-796, 2001b.

ZUQUETTE, Lázaro Valentin et al. **Cartografia geotécnica**. 2004.

**Apêndice I.** Mapas de Índices parciais de Sensibilidade Ambiental ao Óleo, em trecho da Rodovia Anhanguera (SP-330).



**Apêndice II.** Mapa de Índices de Sensibilidade Ambiental ao Óleo: Trecho da Rodovia Anhanguera (SP-330).

