UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE

DANIELA FERREIRA RIBEIRO

SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO PARA RODOVIAS: ESTUDO DE CASO DE TRECHO DA RODOVIA WASHINGTON LUÍS (SP 310)

Rio Claro – SP
2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

DANIELA FERREIRA RIBEIRO

SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO PARA RODOVIAS: ESTUDO DE CASO DE TRECHO DA RODOVIA WASHINGTON LUÍS (SP 310)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientadora: Profª Drª Paulina Setti Riedel

Rio Claro – SP
2017

550 Ribeiro, Daniela
R484s Sensibilidade ambiental ao óleo para rodovias: estudo de caso de trecho da Rodovia Washington Luís (SP 310) / Daniela Ribeiro. - Rio Claro, 2017
119 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Paulina Setti Riedel

1. Geologia. 2. Cartas SAO. 3. Cartas de sensibilidade ambiental. 4. Geotecnologias. 5. Transporte de produtos perigosos. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

DANIELA FERREIRA RIBEIRO

SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO PARA RODOVIAS: ESTUDO DE CASO DE TRECHO DA RODOVIA WASHINGTON LUÍS (SP 310)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Profª. Drª. Paulina Setti Riedel (Orientadora)

IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Profª. Drª. Cenira Maria Lupinacci

IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Profª. Drª Maria José Brollo

Instituto Geológico/SMA/São Paulo (SP)

Rio Claro, 02 de março de 2017

Dedico aos meus amados pais,
ao amor da minha vida Ailton,
e aos meus queridos amigos Alexandre e Carolina.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cleonice e Vander, exemplos de vida, pelo apoio, incentivo e amor incondicional em todos os momentos da minha vida, por sempre acreditarem em meu potencial e por serem meu porto seguro.

Ao amor da minha vida, namorado e grande amigo, Ailton Fabrício Neto, pelo amor, companheirismo, apoio, paciência, risadas, conselhos e por sempre acreditar em mim e no meu trabalho, estando sempre ao meu lado nos melhores e piores momentos.

Ao meu grande amigo e irmão, Alexandre Magnum Leme, pelo apoio, companheirismo, conselhos e auxílio em todas as etapas da pesquisa, principalmente quando os caminhos da mesma pareciam não ter saída e quando o desânimo e o cansaço eram inevitáveis.

A minha querida amiga e companheira de casa e pós-graduação, Carolina Reame Santos, pela amizade, auxílio e apoio nos melhores e piores momentos.

A Professora Dra. Paulina Setti Riedel, pela orientação fundamental, profissionalismo, determinação, confiança e apoio não só durante a pesquisa, mas também nos momentos difíceis que a vida proporcionou.

A Professora Dra. Cenira Maria Lupinacci, pelo auxílio imprescindível, e trocas de ideias enriquecedoras que motivaram a continuidade da pesquisa e trabalhos futuros.

Ao Professor Dr. José Eduardo Zaine pelo auxílio em trabalho de campo e em minha formação acadêmica.

As companheiras de casa, Rafaela Niemann, Patrícia Kalaf e Gabriela Villani pela amizade.

Aos meninos da República Lenda pela amizade e momentos de diversão.

Aos queridos amigos Adriano Delgado, Isabela Horta, Felipe Marostegan, Francielle Sodelli, Thamiris Basílio, Jordano Tramontina e Mariana Bortolin pela paciência, amizade e apoio.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação por todo auxílio.

Aos funcionários da Biblioteca da UNESP de Rio Claro por todo auxílio oferecido.

A CAPES pelo auxílio financeiro.

RESUMO

A presente pesquisa propõe um índice de sensibilidade ambiental ao óleo para os parâmetros físicos adjacentes a um trecho da rodovia Washington Luís (SP 310) a fim de colaborar com o desenvolvimento de Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) para ambientes adjacentes a rodovias. As Cartas SAO constituem-se em ferramentas interessantes para o auxílio na tomada de decisões em caso de acidentes envolvendo derrames de óleo, visto que apresentam as áreas com maior e menor sensibilidade, colaborando assim nas operações de emergência e com a escolha dos procedimentos adequados de limpeza e remoção. O índice de sensibilidade ambiental para a rodovia (IST) baseou-se em metodologias propostas pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), pelo Ministério do Meio Ambiente e em trabalhos realizados em ambientes terrestres sujeitos a esse tipo de acidente. Os estudos envolvendo as Cartas SAO possuem ampla aplicação nos ambientes litorâneos e fluviais, mas ainda apresentam-se incipientes em ambientes terrestres, entretanto estes devem ser priorizados, pois são frequentes acidentes com derrames de óleo e derivados de petróleo, principalmente próximos a rodovias, visto que o modal rodoviário é um dos mais utilizados atualmente para o transporte desses produtos no Brasil. A metodologia aplicada baseou-se na técnica de compartimentação fisiográfica, pois o IST deve apresentar as características homogêneas de segmentos de interesse e ser representado de forma linear, seguindo as bases propostas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). A compartimentação foi realizada por meio da interpretação de imagens orbitais da área de estudo, apoiada por mapas básicos e trabalhos de campo, a fim de determinar zonas homólogas e classifica-las quanto à sensibilidade ambiental ao óleo. Foram delimitados 17 compartimentos, que foram classificados quanto à declividade, textura e espessura do solo, profundidade do nível d'água e permeabilidade. Para cada variável foi determinado um grau parcial de sensibilidade ambiental classificado entre baixo, médio e alto. Foram atribuídos pesos, baseados na importância relativa das diferentes classes, que foram então combinadas de forma ponderada pela ferramenta *Weighted Sum*, do software ArcGIs, o que possibilitou uma análise integrada dos fatores envolvidos. Os valores finais de sensibilidade ambiental ao óleo foram atribuídos com base no sistema de índices proposto pela NOAA, que utiliza índices de sensibilidade de 1 a 10, sendo este último o mais sensível. No geral, o trecho da rodovia estudado apresentou valores altos e intermediários de sensibilidade, não apresentando os índices de 1 a 4. As áreas mais sensíveis foram classificadas como índices 8 e 9. Esses valores relacionaram-se principalmente à alta ou média sensibilidade das variáveis declividade, espessura do solo e profundidade do nível d'água em grande parte da área de estudo. Conclui-se que a metodologia de sensibilidade ambiental ao óleo para áreas terrestres, especificamente para o modal rodoviário, mostrou-se adequada ao determinar os ambientes com maior e menor sensibilidade, entretanto os parâmetros de análise devem ser ajustados de acordo com a realidade local dos ambientes. Além disso, o uso de ferramentas geotecnológicas mostrou-se eficaz, tornando essa metodologia acessível para estudos futuros.

Palavras-chave: Sensibilidade Ambiental ao Óleo, Cartas de Sensibilidade Ambiental, Geotecnologias, Transporte de Produtos Perigosos, Rodovias.

ABSTRACT

The present study proposes an environmental sensitivity index to oil for the physical parameters adjacent to a section of the Washington Luís Highway (SP 310), in order to collaborate with the development of Environmental Sensitivity Map for Oil Spills for areas adjacent to highways. The Environmental Sensitivity Maps for Oil Spills are interesting tools to assist in decision-making in the occurrence of accidents involving oil spills, seeing that they present the areas with greater and lesser sensitivity, thus collaborating in the emergency operations, aiding the choice of the appropriate procedures of cleaning and removal. The Environmental Sensitivity Index for Highways (STI) based on the methodologies proposed by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), the Ministry of the Environment and studies performed in terrestrial environments subject to this type of accident. The studies involving Environmental Sensitivity Maps have wide application in the coastal and fluvial environments, but are still incipient in terrestrial environments, however these should be prioritized, since accidents with oil spills and petroleum derivatives are frequent, especially near roads, seen that the road modal is one of the most used currently for the transportation of these products in Brazil. The applied methodology was based on the technique of physiographic subdivision, on this account the IST have to present the homogeneous characteristics of segments of interest and be represented in a linear way, based on the proposed by the Ministry of the Environment (MMA). The compartmentalization was performed through the interpretation of orbital images of the study area, supported by basic maps and field work, in order to determine homologous zones and classify them as to the environmental sensitivity to oil. Seventeen compartments were delimited, which were classified as slope, soil texture and thickness, water depth and permeability. For each variable a partial degree of environmental sensitivity classified as low, medium and high was determined. Weights were assigned based on the relative importance of the different classes, which were then combined in a weighted way by the "Weighted Sum" tool of the ArcGIs software, which made possible an integrated analysis of the factors involved. The final values of environmental sensitivity to oil were attributed based on the index system proposed by NOAA, which uses sensitivity indexes from 1 to 10, the latter being the most sensitive. In general, the section of the highway studied presented high values and intermediate sensitivity, and did not present indexes from 1 to 4. The most sensitive areas were classified as indexes 8 and 9. These values were mainly related to the high or medium sensitivity of the variables slope, soil thickness and depth of water level in much of the study area. It is concluded that the methodology of environmental sensitivity to oil for terrestrial areas, specifically for the road modal, was adequate when determining the environments with greater and lesser sensitivity, however the parameters of analysis should be adjusted according to the local reality of the environments. In addition, the use of geotechnical tools proved effective, making this methodology accessible for future studies.

Key words: Environmental Sensitivity to Oil, Environmental Sensitivity Maps to Oil Spills, Geotechnologies, Hazardous Products Transport, Highways.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da Área de Estudo. 17
Figura 2: Coluna estratigráfica da região mapeada. 18
Figura 3: Unidades Litoestratigráficas da área de estudo. 22
Figura 4: Formas de Relevo da área de estudo. 26
Figura 5: Solos da área de estudo 29
Figura 6: Mapa de Rede Hidrográfica da Área de Estudo 32
Figura 7: Reservas de petróleo por região, medidas em bilhões de barris. 34
Figura 8: Volume de petróleo refinado por refinarias. 35
Figura 9: Infraestrutura da produção e movimentação de petróleo e derivados no país 40
Figura 10: Classes de risco de produtos envolvidos em acidentes rodoviários no ano de 2015. 45
Figura 11: Meios atingidos por derrames de produtos perigosos no ano de 2015. 46
Figura 12: Análise gráfica realizada nas classes de variáveis utilizadas no desenvolvimento do IST. 57
Figura 13: Modelo de transporte de NAPLs no solo. 60
Figura 14: Transporte de LNAPL no subsolo 61
Figura 15: Processo de infiltração de LNAPL no solo 62
Figura 16: Comportamento no LNAPL em subsuperfície 62
Figura 17: Movimentação de LNAPL para outras direções devido ao gradiente hidráulico de LNAPL. 63
Figura 18: Processo de migração de óleo em um substrato rochoso fraturado 64
Figura 19: Fluxograma das etapas do trabalho. 68
Figura 20: Grade de coordenadas referente ao topo do lençol freático da área de estudo. 74
Figura 21: Topo do lençol freático da área de estudo em visualização 3D. 75
Figura 22: Unidades de Compartimentação analisadas na área de estudo. 81
Figura 23: Pontos visitados em trabalho de campo na área de estudo. 83
Figura 24: Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo dos parâmetros físicos adjacentes ao trecho da rodovia Washington Luís referente à área de estudo. 91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Derivados de petróleo e sua utilização 37
Quadro 2: Classes de produtos considerados perigosos de acordo com o Manual de Produtos Perigosos da CETESB 42
Quadro 3: Tipologia de volume de óleo derramado estabelecido pelo MMA. 51
Quadro 4: Valores finais de Índice de Sensibilidade Ambiental para Rodovias 55
Quadro 5: Índices de vulnerabilidade ambiental dos trechos da rodovia proposto por Mattos (2008) 56
Quadro 6: Combinações para atribuição de IST 58
Quadro 7: Folhas Topográficas utilizadas para compor a base cartográfica da área de estudo. 67
Quadro 8: Número de poços d'água presente nos municípios da área de estudo. 73
Quadro 9: Síntese dos critérios adotados na compartimentação do relevo e propriedades analisadas 76
Quadro 10: Recortes da imagem SRTM da área de estudo comparadas as classificações de densidade de drenagem propostas por Zaine (2011). 77
Quadro 11: Recortes da área de estudo com as curvas de nível representativas de cada classe proposta por Zaine (2011). 79
Quadro 12: Recortes da imagem SPOT da área de estudo relacionada à classificação proposta por Zaine (2011) para forma de topos. 80
Quadro 13: Parâmetros escolhidos para a determinação dos índices de sensibilidade ambiental ao óleo para a rodovia com as respectivas classes de análise e o peso correspondente para cada classe. 86
Quadro 14: Cores correspondentes ao ISA proposto pelo NOAA/MMA e seu valor equivalente para o ISR. 87
Quadro 15: Unidades de Compartimentação mapeadas e suas respectivas características litológicas, geomorfológicas e pedológicas. 89
Quadro 16: Parâmetros determinados para a análise da sensibilidade ambiental e os correspondentes valores de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo I. 92
Quadro 17: Parâmetros determinados para a análise da sensibilidade ambiental e os correspondentes valores de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo II 94
Quadro 18: Parâmetros determinados para a análise da sensibilidade ambiental e os correspondentes valores de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo III. 95
Quadro 19: Parâmetros determinados para a análise da sensibilidade ambiental e os correspondentes valores de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo IV. 97
Quadro 20: Parâmetros determinados para a análise da sensibilidade ambiental e os correspondentes valores de sensibilidade para a Unidade 11 pertencente ao Grupo V. 98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de derivados de petróleo por refinarias no ano de 2014 38
Tabela 2: Número de acidentes distribuído pelas principais vias terrestres nos anos de 2013, 2014 e 2015. 44
Tabela 3: Classificação de sensibilidade ambiental ao óleo para Dutos, proposta por Mendes et al. .. 53
Tabela 4: Valores de intervalos e seu respectivo valor atribuído. 55

ÍNDICE

1. Introdução 13

1.2 Objetivos 15

1.2.1 Objetivo Geral 15

1.2.2 Objetivos Específicos 15

1.3 Organização da Pesquisa 15

2. Caracterização da Área de Estudo 16

2.1. Contexto geológico regional 18

2.2 Contexto Geomorfológico 23

2.3. Solos 27

2.4 Aspectos Climáticos 30

2.5 Aspectos Hidrográficos 30

2.6 Aspectos da Vegetação e Uso e Ocupação do Solo 33

3. Estado da Arte 34

3.1 Aspectos Teóricos 34

3.1.1 Produção de Petróleo 34

3.1.2 Produção de Derivados de Petróleo 36

3.2 Transporte de Petróleo e Derivados 38

3.2.1 Contexto Geral 38

3.2.2 Emergências Químicas 41

3.2.3 Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo 43

3.2.4 Acidentes Rodoviários 43

3.2.5 Programa de Gerenciamento de Riscos para Administradores de Rodovias para o Transporte de Produtos Perigosos - PGR Rodovias. 46

3.3. Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo 47

3.3.1 Contexto Histórico 47

3.3.2 Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Brasil 50

3.3.3 Sensibilidade Ambiental ao Óleo em Ambientes Terrestres 51
3.3.4 Carta SAO para Rodovias 53
3.4 Óleo e Hidrocarbonetos em Ambientes Terrestres 58
3.4.1 Comportamento do óleo em subsuperfície 59
3.4.2 Comportamento do óleo em substrato rochoso 64
3.5 Compartimentação Fisiográfica e a Sensibilidade Ambiental ao Óleo 64
4. Material e Métodos 66
4.1 Material 66
4.1.1 Base Cartográfica 66
4.2 Métodos 68
4.2.1. Etapa 1: Escolha da Área de Estudo 69
4.2.2 Etapa 2: Levantamento bibliográfico 69
4.2.3 Etapa 3: Elaboração do banco de dados 70
4.2.4 Etapa 4: Compartimentação Fisiográfica 76
4.2.5 Etapa 5: Trabalho de Campo 82
4.2.5 Etapa 6: Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo para Rodovias 84
5. Resultados e Discussões 88
Grupo I – Índice de Sensibilidade Ambiental para a Rodovia - 5 92
Grupo II – Índice de Sensibilidade Ambiental para a Rodovia - 6 94
Grupo III – Índice de Sensibilidade Ambiental para a Rodovia - 7 95
Grupo IV – Índice de Sensibilidade Ambiental para a Rodovia – 8 96
Grupo V - Índice de Sensibilidade Ambiental para a Rodovia – 9 98
6. Considerações Finais 99
Referências Bibliográficas 101
APÊNDICES 107

1. Introdução

Atualmente o petróleo destaca-se como uma das principais fontes de energia explorada pelo homem. De acordo com dados da Agência Nacional de Petróleo – ANP (2015) o petróleo é utilizado em diversas atividades, como por exemplo para a geração de energia elétrica e matéria-prima de diversos produtos fundamentais para a humanidade, dentre eles a gasolina, principal combustível de automóveis do mundo (ANP, 2015).

Entretanto, a intensa utilização do petróleo acarreta riscos ao meio ambiente, devido à possibilidade de acidentes envolvendo vazamentos. O petróleo apresenta riscos à população devido ao seu alto teor de toxicidade, possuindo caráter inflamável e nocivo. Segundo Mariano (2001), o petróleo pode gerar impactos sobre a saúde, causando irritação aos olhos e problemas no sistema cardiovascular e respiratório; prejuízos irreversíveis à vegetação e aos ecossistemas; além de danos socioeconômicos.

Os acidentes envolvendo derrames de óleo e derivados de petróleo estão diretamente relacionados ao processo de transporte dos hidrocarbonetos. Os principais tipos de transporte dividem-se em terrestres, como o ferroviário, rodoviário e dutoviário, e transportes aquaviários, que utilizam as vias hídricas para navegação. Os desastres ocorrem principalmente devido a colisões de navios cargueiros, rompimento de dutos, explosões em plataformas e acidentes envolvendo veículos transportadores (ARAUJO et al., 2002). O óleo é importado ou extraído dos campos de produção em território nacional, marinho ou terrestre, e é conduzido às refinarias, de onde é processado e transportado para terminais, sendo em seguida novamente transportado para centros consumidores.

Segundo dados da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, no Brasil, o transporte de produtos petroquímicos é realizado principalmente pelo modal rodoviário, devido ao modelo de transporte adotado pelo país, e ausência de malha dutoviária nacional adequada. Entretanto, segundo dados da Confederação Nacional de Transportes - CNT (2009) 69% das rodovias brasileiras apresenta qualidade variando de ruim a péssima, possibilitando assim o aumento da probabilidade de ocorrência de acidentes envolvendo o transporte de petróleo e derivados em rodovias.

Dentro desse contexto, as Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo - Cartas SAO, constituem-se em ferramentas importantes para avaliação de danos causados pelos vazamentos. De acordo com Jensen et al. (1998), as Cartas SAO representam instrumentos de planejamento e resposta a derrames de óleo, cujo objetivo primordial é a localização de áreas

mais sensíveis, visando à proteção desses locais e estabelecimento de estratégias adequadas de limpeza, bem como a redução dos possíveis impactos ambientais e sociais.

O conceito de Cartas SAO 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 (MICHEL et al., 1978). 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, baseado no manual norte-americano elaborado pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA.

Atualmente, tem-se um satisfatório levantamento da sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo bruto e seus derivados em ambientes litorâneos e um ainda incipiente levantamento para os ambientes terrestres. Entretanto, estas regiões também devem ser priorizadas visto que representam locais com diversas características físicas, biológicas e socioeconômicas que podem ser prejudicadas em situações de derrames, e são áreas que se apresentam em contato com esse tipo de poluente. Desta forma, as áreas adjacentes a rodovias constituem-se em regiões interessantes para a aplicação de estudos relacionados à sensibilidade ambiental ao óleo, pois englobam características típicas de ambientes terrestres, que serão amplamente impactadas por derrames de óleo em caso de acidentes envolvendo veículos transportadores.

Dentro desse contexto, optou-se por determinar como área de estudo um trecho da rodovia Washington Luís (SP – 310). A escolha da área justifica-se devido a informações fornecidas pela ANP (2015) que mostram que a região Sudeste é uma das principais responsáveis pelo refino de petróleo no país, além disso, de acordo com dados estatísticos fornecidos pela CETESB (2015) no ano de 2015 ocorreu um total de 221 acidentes envolvendo produtos perigosos em rodovias no estado de São Paulo, sendo que a grande maioria dos acidentes envolveu derrames de gasolina, óleo diesel e álcool etílico. No referido ano, a rodovia Washington Luís ocupou o 4º lugar no ranking de acidentes rodoviários envolvendo emergências químicas.

Por fim, busca-se colaborar com o desenvolvimento de metodologias em relação às Cartas SAO, a fim de torná-las aplicáveis e úteis para estudos ambientais em rodovias e possivelmente utilizá-las em trabalhos futuros em órgãos ambientais e de gestão.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo dessa pesquisa é colaborar para o desenvolvimento de metodologias para a construção de Cartas SAO para ambientes terrestres através do desenvolvimento de um índice de sensibilidade ambiental ao óleo (ISA) dos parâmetros físicos dos ambientes adjacentes a um trecho da rodovia Washington Luís (SP-310).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar metodologias relacionadas à sensibilidade ambiental ao óleo a fim de determinar a aplicabilidade das mesmas para ambientes terrestres.
- Através de pesquisas bibliográficas, buscar parâmetros e metodologias que possam ser utilizadas para o desenvolvimento de um índice de sensibilidade ambiental ao óleo para o modal rodoviário.

1.3 Organização da Pesquisa

A presente pesquisa organiza-se em seis capítulos, denominados por Introdução; Caracterização da Área de Estudo; Estado da Arte; Material e Métodos; Resultados e Discussões e Conclusões.

A Introdução corresponde a uma apresentação sucinta da pesquisa, com a justificativa e objetivos da mesma. O segundo capítulo, denominado Caracterização da Área de Estudo, apresenta os principais parâmetros físicos da área de estudo. O capítulo Estado da Arte corresponde ao referencial teórico da presente pesquisa. O quarto capítulo possui uma apresentação dos materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa e os métodos utilizados para a obtenção dos resultados. O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos e a discussão dos mesmos. O capítulo Conclusões possui as considerações finais da pesquisa.

Em seguida apresenta-se o Referencial Bibliográfico que corresponde às bibliografias utilizadas para compor a pesquisa e os Apêndices que apresentam documentos complementares importantes para o desenvolvimento da pesquisa.

2. Caracterização da Área de Estudo

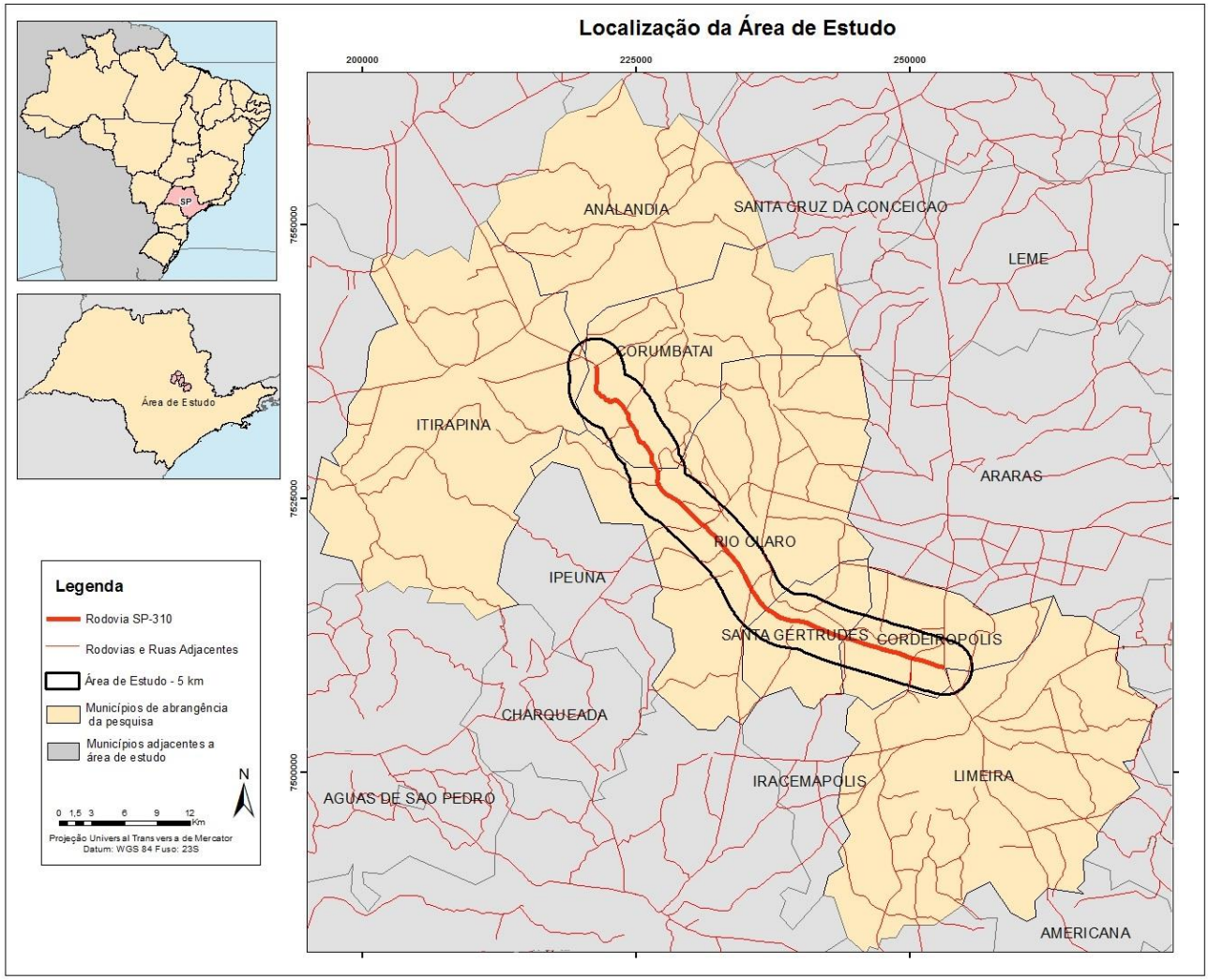
A rodovia selecionada como área de estudo corresponde a um trecho da rodovia estadual Washington Luís (SP – 310).

O trecho localiza-se na região nordeste do estado de São Paulo, na Região Administrativa de Campinas, e corresponde a uma área de 47 km, iniciando-se aproximadamente no quilômetro 153, e com término aproximadamente no quilômetro 200.
O trecho insere-se entre as coordenadas de latitude 22° 14’ 92” e 22° 30' 94" sul e longitude 47° 43’ 40” e 47° 22' 86" oeste. A rodovia perpassa os municípios de Itirapina, Corumbataí, Analândia, Rio Claro, Santa Gertrudes, Cordeirópolis e Limeira.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2016) o município de Itirapina apresenta uma população de 17.377 habitantes com uma área territorial de aproximadamente 564.603 km². O município de Analândia apresenta uma população estimada de 4.789 habitantes e possui uma área territorial de 325.953 km². O município de Rio Claro apresenta uma população de 201.473 habitantes e sua área territorial é de aproximadamente 498.422 km². O município de Santa Gertrudes possui uma população de aproximadamente 25.192 habitantes e ocupa 98.291 km² de área territorial. Cordeirópolis apresenta-se com uma população estimada em 23.517 habitantes e 137.579 km² de área territorial. E por fim, o município de Limeira apresenta uma população de 298.701 habitantes e uma área territorial de 580.711 km². As rodovias que oferecem acesso aos referidos municípios englobam os sistemas Anhanguera, Dom Pedro e Washington Luís (IBGE, 2016).

A Figura 1 apresenta a localização da área de estudo.

Figura 1: Localização da Área de Estudo.



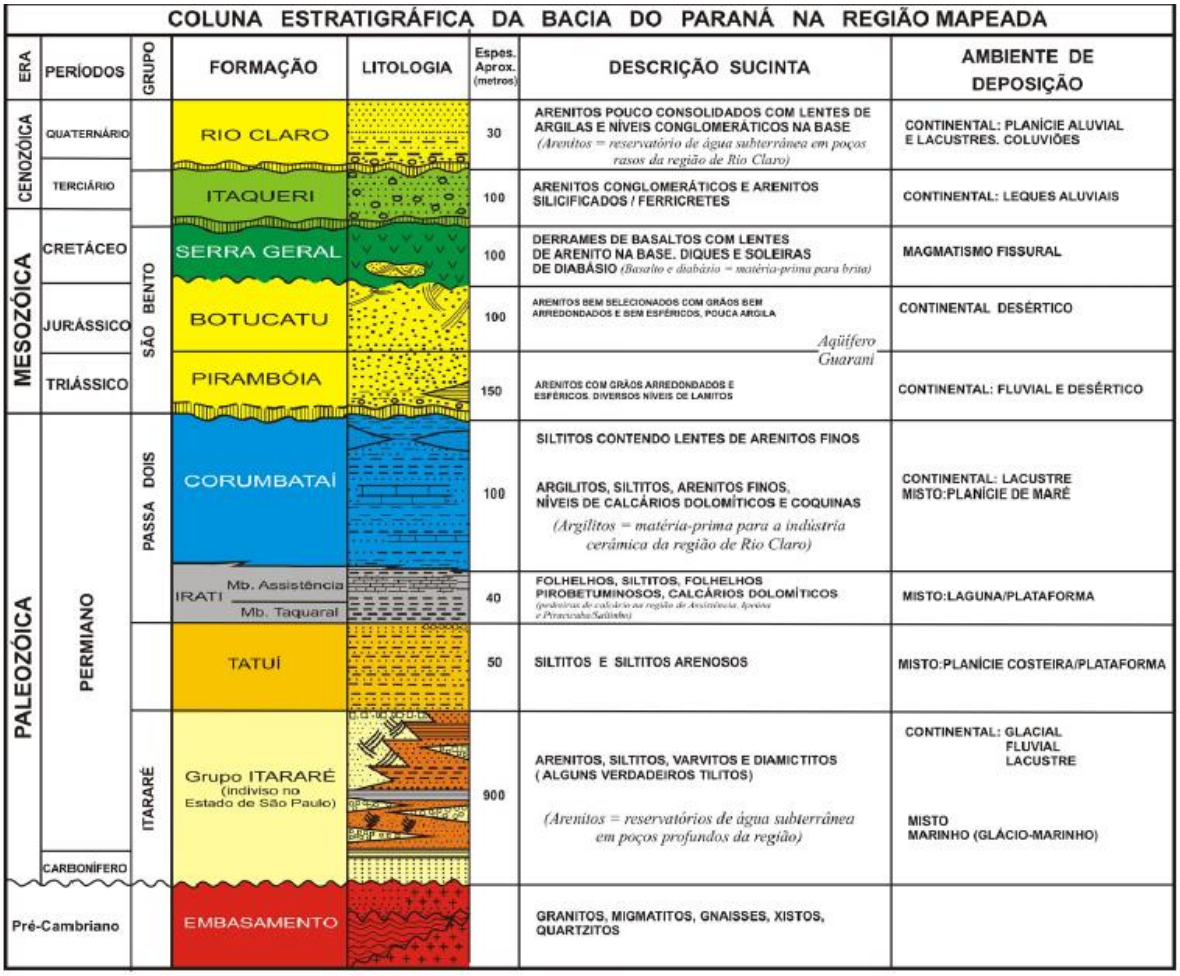
Elaborado pela autora.

2.1. Contexto geológico regional

A área de estudo apresenta-se inserida geologicamente no setor paulista do nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná.

A seguir são descritas as unidades da Bacia do Paraná aflorantes na área de estudo, bem como algumas unidades que de acordo com dados de Peixoto (2010), apresentam-se próximas à área de estudo. A Figura 2 apresenta a coluna estratigráfica da região com as unidades descritas.

Figura 2: Coluna estratigráfica da região mapeada.



Adaptado de Perinotto e Zaine (2008)

Grupo Itararé (Neocarbonífero)

O Grupo Itararé, juntamente com a Formação Tatuí, compõe no Estado de São Paulo o denominado Supergrupo Tubarão. Caracteriza-se como a base da coluna estratigráfica da região de Rio Claro, aflorando no fundo dos vales dos rios Corumbataí e Passa Cinco, e em boa parte

da área de afloramentos no Estado de São Paulo, que ocupa uma larga faixa marginal da Depressão Periférica Paulista (ZAINE, 1994).

Constitui-se predominantemente de sedimentos arenosos de granulometria variada, desde muito fina a conglomerática. Há ocorrência de pacotes expressivos de diamictitos e sedimentos pelíticos, representados por siltitos, folhelhos e ritmitos, podendo conter seixos e blocos erráticos. (ZAINE, 1994).

Formação Tatuí (Eopermiano)

De acordo com Petri (1964) e Gimenez (1996) a Formação Tatuí constitui-se 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." (ZAINE, 1994).

Segundo Soares (1972), a Formação Tatuí pode ser subdividida em membros inferior e superior, com uma diferenciação visual representada por cores vermelha marrom e chocolate na base, e cores esverdeadas e acinzentadas, até siltitos pretos carbonosos no topo.

Formação Irati (Neopermiano)

A Formação Irati, juntamente com a Formação Corumbataí, forma no Estado de São Paulo o denominado Grupo Passa Dois. De acordo com Gama Jr. et al. (1982) ocupa a unidade inferior do Grupo Passa Dois, sendo dividida nos membros Taquaral e Assistência.

De acordo com Zaine (1994) o Membro Taquaral corresponde à sequência basal da unidade, caracterizada por folhelhos de cores cinza-escuro e cinza-claro e siltitos de coloração cinza. Segundo Machado (2005) podem ocorrer na base camadas delgadas de arenitos de granulação fina a grossa, seixoso, ou conglomerado com seixos de sílex e quartzo de até 5 cm de diâmetro.

O Membro Assistência é composto por folhelhos cinza-escuros, folhelhos pretos, pirobetuminosos, associados a calcários, geralmente dolomíticos e corresponde a sequência superior da unidade (ZAINE, 1994).

Formação Corumbataí (Neopermiano)

Corresponde à unidade superior do Grupo Passa Dois no Estado de São Paulo, com área de ocorrência bastante extensa no vale do Rio Corumbataí (ZAINE, 1994). Na região sul do Estado, a unidade é definida pelas formações Serra Alta e Teresina, com ocorrência até as proximidades de Piracicaba, passando para a Formação Corumbataí ao norte (CABRAL JR., 1991).

De acordo com Zaine (1994) a formação constitui-se por argilitos, siltitos e folhelhos arroxeados e marrom-avermelhados, às vezes esverdeados, com intercalações de arenitos, leitos carbonáticos e coquinhas. De acordo com Machado (2005) a unidade é composta por uma "sucessão de camadas siltosas, ritmicamente alternada, com lâminas de delgadas camadas cuja litologia varia entre argilosa e arenosa fina, tanto vertical como horizontal". Há um predomínio das cores vermelha e arroxeada nas partes médias e superior da formação, além de ocorrência de lentes e bancos calcários com até meio metro de espessura.

Formação Pirambóia (Neotriássico)

Litologicamente, a Formação Piramboia caracteriza-se por apresentar "espessos corpos de arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, de granulometria fina a média, com intercalações de finas camadas de argilitos e siltitos, ocorrendo, localmente, níveis conglomeráticos" (ZAINE, 1994).

Formação Botucatu (Eojurássico)

Constitui-se em um "pacote de arenitos avermelhados, finos a médios, com típicos grãos bem arredondados e foscos, friáveis ou silicificados. Localmente, podem ocorrer arenitos argilosos e níveis conglomeráticos" (ZAINE, 1994).

Ainda segundo Zaine (1994) a Formação Botucatu apresenta-se no Estado de São Paulo, acompanhando ou próximo às linhas de cuestas. Encontra-se junto ao degrau de relevo formado entre a Depressão Periférica e o Planalto Ocidental Paulista.

Formação Serra Geral (Eocretáceo)

Constitui-se de uma sequência de rochas vulcânicas, compostas por lavas basálticas de composição toleítica, de coloração cinza a preta, com amígdalas no topo dos derrames. Apresenta ainda intercalações de camadas delgadas de arenitos entre os derrames (ZAINE, 1994). Os seus afloramentos associam-se pela relação litologia/erosão/relevo, ocorrendo na faixa de cuestas e em algumas faixas ao longo dos principais rios. Na região de Rio Claro ocorrem principalmente sills e diques de diabásio principalmente na Serra de Santana, no Horto Florestal e nos leitos dos rios Corumbataí e Passa Cinco (ZAINE, 1994).

Formação Itaqueri (Neocretáceo)

De acordo com Barcellos et al. (1983) a Formação Itaqueri corresponde a uma unidade do Grupo Bauru.

Litologicamente é caracterizada por bancos de arenitos silicificados ou com presença de crostas ferruginosas, lamitos e conglomerados. No alto das serras de São Pedro e Itaqueri constituem-se em forma de morrotes, sustentados pelos níveis silicificados (ZAINE, 1994).

Formação Rio Claro (Depósito Cenozóico)

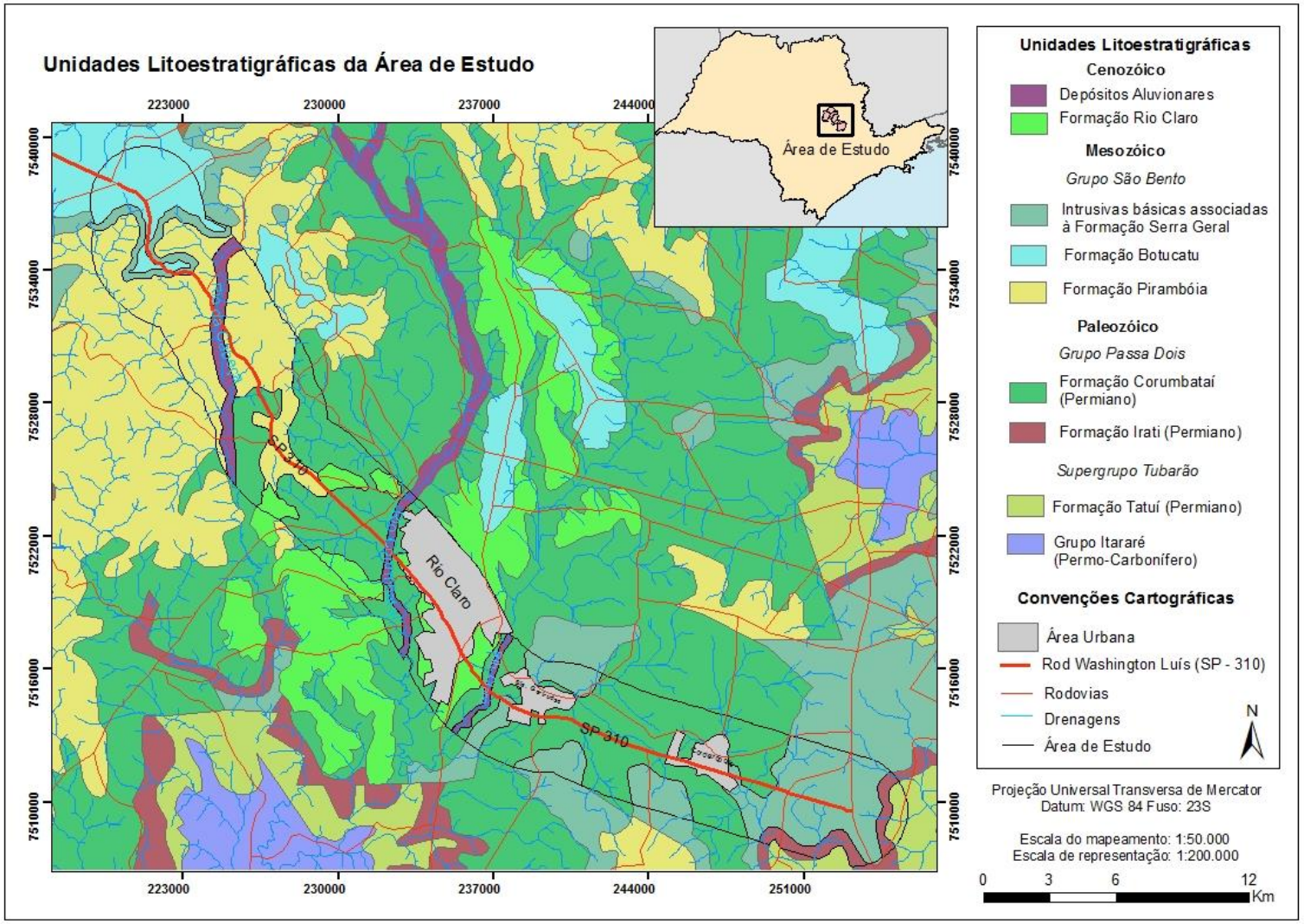
Segundo Machado (2005), na Bacia do Paraná os sedimentos cenozoicos possuem grande distribuição, ocorrendo como "pequenas manchas isoladas, na forma de depósitos aluvionares, preenchendo os fundos de vales atuais, terraços, depósitos aluvionares e depósitos de reverso de escarpas.".

De acordo com Zaine (1994), a Formação Rio Claro apresenta espessura em torno de 30 m, capeia os principais interflúvios, formando extensos tabuleiros.

Caracteriza-se por sedimentos arenosos, esbranquiçados, amarelados e róseos, mal consolidados, com solo bastante desenvolvido nos altos. Há ainda presença de intercalações de lentes argilosas e níveis conglomeráticos.

A Figura 3 apresenta as unidades litoestratigráficas presentes na área de estudo.

Figura 3: Unidades Litoestratigráficas da área de estudo.



Adaptado de Zaine (1994).

2.2 Contexto Geomorfológico

De acordo com o mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981a), o Estado é dividido em cincos grandes províncias geomorfológicas, sendo que na área de estudo apresentam-se as seguintes províncias: “III – Depressão Periférica”, zona do Médio Tietê e “IV – Cuestas Basálticas”.

A Depressão Periférica Paulista é definida como uma área paleozoica deprimida entre as escarpas mais avançadas da zona de cuestas, que delimitam a borda ocidental dos derrames basálticos, com desníveis entre 200 a 300m, e o Planalto Cristalino Atlântico. Apresenta-se como uma faixa de cerca de 450 km de comprimento de norte a sul e, aproximadamente 100 km de largura média (PENTEADO, 1976).

Segundo Ross e Moroz (1997), esta região está esculpida quase que totalmente em sedimentos paleozoicos e mesozoicos da Bacia Sedimentar do Paraná, apresentando características de modelado diverso devido à influência tectônica, variação litológica e graus de atuação de processos morfodinâmicos de variados ambientes paleoclimáticos. Na área do Médio Tietê, esta unidade apresenta altitudes que oscilam entre 600 a 750 m, sendo que as altitudes maiores margeiam as escarpas da frente de cuestas sustentadas principalmente por derrames basálticos.

A Depressão Periférica é recoberta por densa rede de drenagem, salientando-se alguns rios principais como cursos consequentes que mantendo seu antigo traçado dirigido para NW em direção ao eixo da bacia do Rio Paraná, a partir de uma superfície de aplainamento antiga (final do Cretáceo e inicio do Terciário) superpôs-se às estruturas paleozoicas e mesozóicas para romper a cuesta basáltica em boqueirões: o Tietê, o Paranapanema, o Mogi Guaçu e o Pardo. Esses rios como artérias principais de maior capacidade erosiva e provavelmente com interferências tectônicas, teriam provocado capturas através de seus afluentes de primitivos consequentes, que se adaptando às estruturas, passaram a percorrer as cuestas com nítido desvio em seu traçado, a exemplo do Piracicaba, o Sorocaba, o Capivari, o Itararé, o Apiaí, o Taquari, dentre outros (PENTEADO, 1976).

Dentro da Depressão Periférica, a área de estudo apresenta-se na sub-região denominada Zona do Médio Tietê, definida por Almeida (1964), como uma área com relevo diversificado, bastante erodido, com as estruturas resistentes postas em claros ressaltos topográficos.

Em relação à região representada pelas Cuestas Basálticas, de acordo com Facincani (2000), caracteriza-se por uma topografia elevada e festonada, com escarpas que apresentam intercalações arenosas e basálticas do Grupo São Bento, formando paredões verticais de traçado

retilíneo, tais como as serras de São Pedro e Itaqueri, que refletem influências marcadamente tectônicas de direção EW. As maiores altitudes alcançam valores em torno de 1.068 m (Serra de Itaqueri).

De acordo com o mapa geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981a) as formas de relevo presentes na área de estudo caracterizam-se como:

2 – Relevos de Degradação, em Planaltos Dissecados.

2.1 Relevo Colinoso (predominam baixas declividades, até 15% e amplitudes locais inferiores a 100 m).

212 Colinas Amplas – predominam interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixa densidade, padrão subdentrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença de eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

213 Colinas Médias – predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 km², topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

2.3 Relevo de Morrotes

234 Morrotes Alongados e Espigões - predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados.

5 – Relevos de Transição

5.1 Encostas não Escarpadas (predominam declividades médias, entre 15 e 30%, e amplitudes maiores que 100 m)

512 Encostas com Cânions Locais – vertentes com perfis retilíneos a convexos e trechos escarpados. Drenagem de média densidade, padrão pinulado, vales fechados, localmente formando cânions, vales principais com fundos chatos.

Em relação à evolução tectônica e morfológica, Fulfaro et al. (1967) realizaram estudos sobre os aspectos estruturais das serras de São Pedro, Itaqueri e Santana (ou dos Padres), sendo a última pertencente à área de estudo da presente pesquisa.

Os autores relatam a existência de um sistema de falhas escalonadas de leste para oeste, com a linha principal de falha direção NE-SW a ENE-WSW, acompanhando a frente da escarpa. Associam a presença de depressões no Planalto Ocidental (Rio Jacaré e Brotas) como

consequência destas falhas. A escarpa das serras teria sido originada por falhas com a repetição, por falhamento, do sill de diabásio existente no local, atribuído a dois conjuntos de derrames.

Ainda segundo a autora o Rio Corumbataí, de traçado geral NNE-SSW classifica-se como subsequente e post-cendente a falhamentos ou reativamentos de falhas que afetaram a região após a deposição do Grupo Bauru até épocas modernas. Ainda, segundo a autora, seguindo nesta linha de evolução cronológica do relevo e estabelecimento da drenagem atual, a implantação da drenagem é considerada de pós-aplainamento cimeiro e, enquanto a superfície de cimeira se inclina para noroeste, os tetos topográficos da bacia hidrográfica mergulham para sul, sudeste e sudoeste, concordando com o sentido de fluxo dos principais rios.

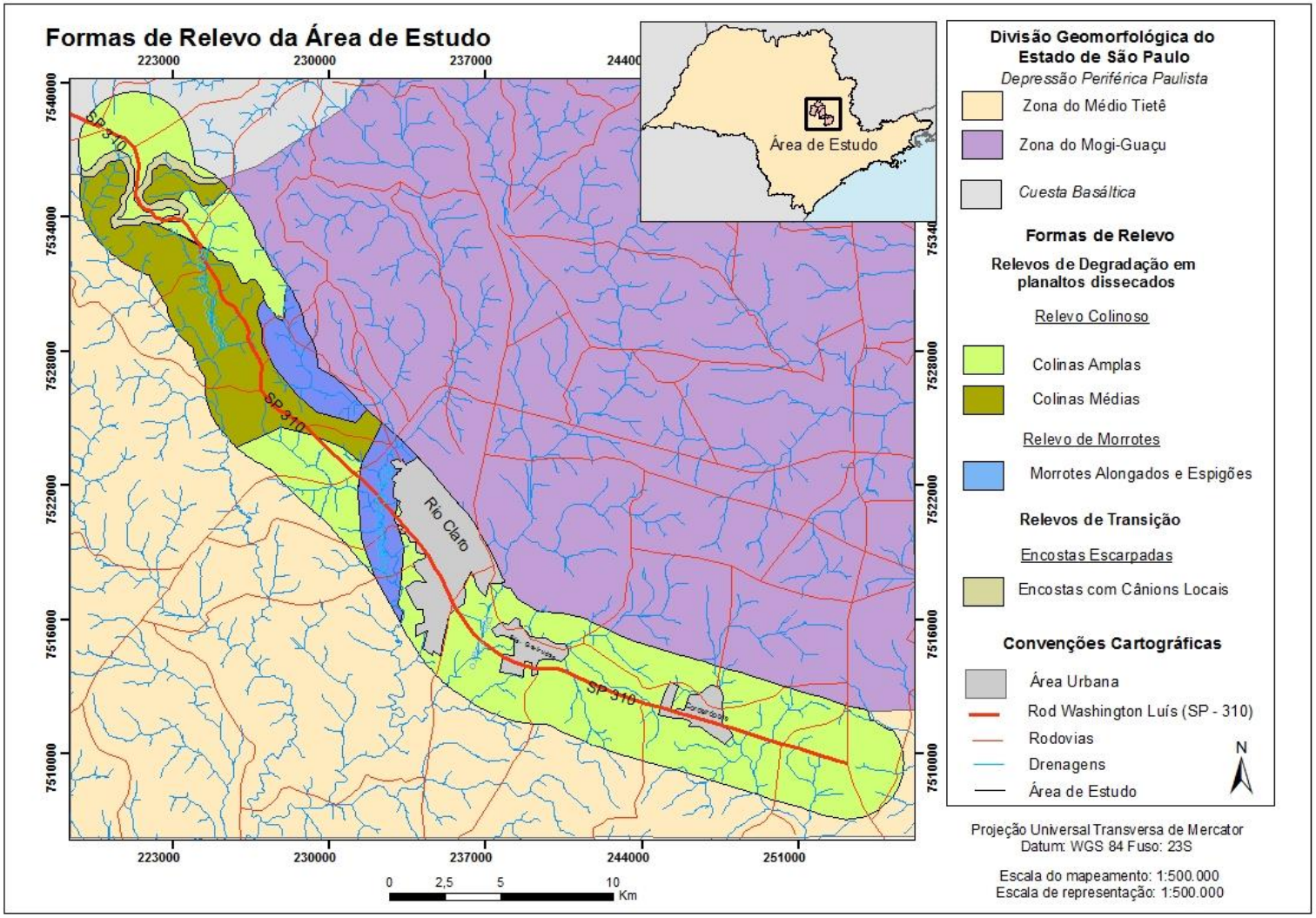
As formas de relevo não ocorreram apenas pela ação erosiva ou por processos morfoclimáticos, mas também por influência tectônica, responsável por falhamentos pós-cretáceos de direções preferenciais ENE e NNW que geraram uma erosão diferencial, guiando uma drenagem post-cendente. Na porção da Depressão Periférica da Bacia do Rio Corumbataí o substrato geológico e a tectônica apresentam-se como fatores de grande importância na morfogênese, com a influência de corpos intrusivos básicos (diabásio) nos fundos de vales dos rios da região, agindo como soleiras sustentando o nível de base e levando a uma fase de estabilização e evolução lenta do relevo (PENTEADO, 1968).

Para Soares e Landim (1976) a formação e acumulação de depósitos cenozoicos associam-se a superfícies erosivas e ao soerguimento continental, a partir do Terciário Superior, nas bacias hidrográficas regionais, condicionados por barreiras litológicas ou estruturais que estabeleciam o nível de base local. Devido a estes obstáculos, amplia-se a bacia de drenagem a montante e, com o aumento da erosão lateral e alongamento dos vales, diminui o gradiente e, consequentemente, a sua capacidade de transporte, formando amplas planícies aluviais. No caso do Rio Corumbataí, houve uma ampliação do vale, com registros de depósitos na forma de terraços alçados, em relação ao leito atual.

A Depressão Periférica e as escarpas arenito-basálticas possuem indicações de estarem em processo ainda atuante, em resposta a movimentos isostáticos causados pela remoção de uma grande porção sedimentar, que se refletem em pequenas bacias sedimentares localizadas, como é o caso da Formação Rio Claro e nas feições de destaque do relevo, como as escarpas da Serra Geral. Em relação às cuestas, um soerguimento lento e persistente não confere estabilidade temporal suficiente para que o intemperismo possa atenuar a forma abrupta do relevo (FULFARO e BARCELLOS, 1989).

A Figura 4 apresenta as formas de relevo presentes na área de estudo.

Figura 4: Formas de Relevo da área de estudo.



Adaptado de IPT (1981a).

2.3. Solos

De acordo com os trabalhos de Oliveira et al (1979), Oliveira e Prado (1984) e Köffler (1992), os solos da área de estudo caracterizam-se como:

Latossolos Vermelhos

Os Latossolos caracterizam-se por apresentar um horizonte B latossólico com 30 cm de espessura imediatamente abaixo de um horizonte A fraco, moderado, proeminente ou chernozêmico e, quando a drenagem é deficiente, não possuem horizonte glei a menos de 80 cm de profundidade (EMBRAPA, 1999).

Os Latossolos Vermelhos caracterizam-se como solos de cores vermelhas acentuadas, devido aos altos teores dos óxidos de ferro presentes no material originário. Ocorrem em ambientes bem drenados, e apresentam características de cor, textura e estrutura uniformes em profundidade (EMBRAPA, 1999). Originam-se do intemperismo de rochas básicas

Latossolos Vermelho-Amarelos

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são identificados em extensas áreas dispersas em todo o território nacional associados aos relevos planos, suaves ondulados ou ondulados. Ocorrem em ambientes bem drenados, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade (EMBRAPA, 1999).

Argissolos Vermelho-Amarelos

Os Argissolos Vermelho-Amarelos correspondem a solos com horizonte B textural não hidromorfico com individualização distinta de horizontes decorrente de acentuada diferença em textura, cor e estrutura. Caracterizam-se por apresentarem solos profundos e muito profundos, bem estruturados e bem drenados (EMBRAPA, 1999). Há predominância do horizonte superficial A do tipo moderado e proeminente, apresentam principalmente a textura média/argilosa, podendo apresentar em menor frequência a textura média e média/muito argilosa (OLIVEIRA et al, 1979).

Nitossolos

Solos constituídos por material mineral, não hidromórfico, definido pela presença de horizonte diagnóstico subsuperficial B nítico em sequência a qualquer tipo de horizonte A.

Na área de estudo apresenta-se os Nitossolos característicos da Unidade Estruturada, com característica eutrófica ou distrófica e textura argilosa ou muito argilosa. Esses solos apresentam-se espessos, barrentos a argilosos em superfície e argilosos a muito argilosos nas camadas subsuperficiais. A granulometria é representada pela argila, com teor médio de 48%

na camada superficial e 64 na subsuperficial. A fração areia fina apresenta-se com valor médio de 30 a 21% (OLIVEIRA e PRADO, 1984).

Neossolos Quartzarênicos

Caracterizados por solos profundos, não hidromórficos, desenvolvidos sobre material de origem arenosa, com horizonte A fraco ou moderado, raramente proeminente. A fração areia, representada pelo quartzo, é igual ou superior a 70%, e a fração argila é inferior a 15% (OLIVEIRA e PRADO, 1984).

Na área de estudo apresenta-se um neossolo quartzarênico profundo álico, com horizonte A moderado. Apresenta espessura superior a 200 cm e ausência de hidromorfismo a menos de 80 cm de profundidade. São solos arenosos, com teor de argila em torno de 9% na camada superficial e 12 na subsuperficial (OLIVEIRA e PRADO, 1984).

Neossolos Litólicos

Apresentam pequena espessura de solum, geralmente inferior a 30 cm. Possui sequência de horizontes A, R sendo que a rocha subjacente apresenta-se alterada e branda. O horizonte A é geralmente moderado, porém também ocorre A proeminente. A textura é bastante variada e está estreitamente relacionada com a natureza do substrato (OLIVEIRA e PRADO, 1984).

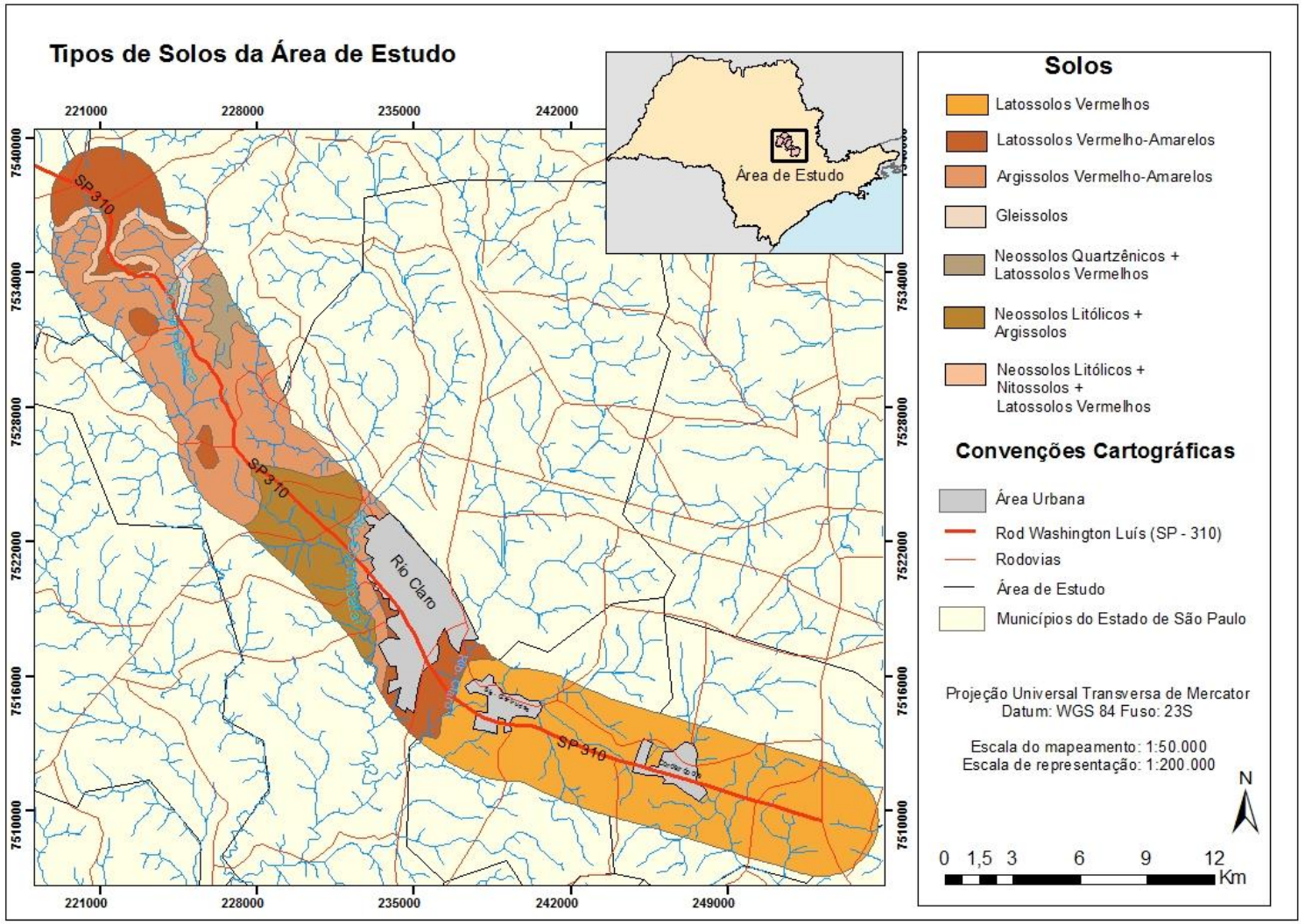
Na área de estudo, apresentam-se Neossolos Litólicos com horizonte A moderado ou chernozêmico, textura argilosa e substrato de diabásio; e Neossolos eutróficos ou distróficos, com horizonte A moderado, proeminente ou chernozêmico, com substrato de sedimentos indiscriminados do Grupo Passa Dois (OLIVEIRA e PRADO, 1984).

Gleissolos

Os Gleissolos caracterizam-se pela presença de um horizonte glei a menos de 80 cm de profundidade, e é resultante dos processos de regime hídrico. Na área de estudo apresentam-se gleissolos com camada de material orgânico inferior a 40 cm. Apresentam diversidade textural bastante acentuada, com presença de textura arenosa, abaixo da camada orgânica, até argilosa, sendo esses os solos mais abundantes (OLIVEIRA e PRADO, 1984).

A Figura 5 apresenta a distribuição dos tipos de solos na área de estudo. Destaca-se a ocorrência de associações de tipos de solo em uma mesma área.

Figura 5: Solos da área de estudo



Adaptado de Köffler (1992) e Oliveira et al. (1979).

2.4 Aspectos Climáticos

De acordo com Setzer (1966), a área de estudo possui as classificações climáticas de Köppen Cwa e Cwb.

A classificação Cwa corresponde a um clima subtropical temperado úmido com inverno seco. As temperaturas apresentam-se quentes no verão e menos frias no inverno. A classificação Cwb possui as mesmas características que a Cwa, exceto por apresentar temperaturas mais brandas no verão, e mais frias no inverno.

A temperatura média anual na área de estudo caracteriza-se em torno de 20° C, e a temperatura média do mês mais quente, considerando o mês de Fevereiro, apresenta valores variando entre 22°C e 23°C. No mês mais frio, considerando o mês de Julho, a temperatura média gira em torno de 16° C. As médias das temperaturas máximas dos meses mais quente e frio apresentam-se respectivamente entre 28° C e 11° C (SETZER, 1966).

Em relação a valores de precipitação, a área de estudo apresenta um total anual de chuvas em torno de 1300 mm. No mês mais chuvoso, considerando o mês de Janeiro, os valores de pluviosidade giram em torno de 250 mm, e no mês mais seco em torno de 20 mm.

Ainda segundo Setzer (1966), em relação à efetividade de precipitação, a área de estudo classifica-se em clima úmido subtropical com estiagem no inverno (Ccw).

2.5 Aspectos Hidrográficos

A área de estudo localiza-se predominantemente na Bacia do Rio Corumbataí e faz parte do grupo das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (URGHIs), constituindo-se como uma sub-bacia da UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí (Bacia do PCJ).

De acordo com o Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí, a bacia do Corumbataí corresponde a uma área total de 171.050 ha e é formada por quatro rios principais, os rios Corumbataí, Passa Cinco, Cabeça e Ribeirão Claro. Destes rios, apenas o rio Passa Cinco não está presente na área de estudo. O Rio Corumbataí apresenta uma extensão aproximada de 120 km, com sua nascente localizada no município de Analândia, desaguando no município de Piracicaba.

De acordo com Ab'Saber (1969), o Rio Corumbataí classifica-se como um rio recente-subsequente, cuja orientação é fortemente influenciada pela tectônica. Segundo Almeida (1964) o rio Corumbataí surgiu após uma evolução geomórfica ocasionada na região, pois é o único

rio da Depressão Periférica que percorre 100 km no sentido de norte a sul. Apresenta como principais afluentes os rios Passa Cinco, Ribeirão Claro e Córrego da Servidão.

Em relação às águas subterrâneas, de acordo com Ursulino (1998), na área de estudo pode-se delimitar quatro sistemas de aquífero, são eles:

Aquífero Tubarão: apresenta sedimentos cortados por intrusões de diabásio que interrompem sua continuidade e é recoberto em algumas áreas por sedimentos Cenozoicos. O armazenamento e a circulação das águas corre através dos interstícios dos grãos dos sedimentos clásticos grosseiros, estes são intercalados por camadas de sedimentos finos impermeáveis que dificultam o escoamento da água em sentido vertical. Caracteriza-se como um aquífero confinado.

Aquífero Passa Dois: devido as suas características litológicas, assume regionalmente característica de aquiclude, entretanto localmente pode apresentar zonas com bancos de calcário e rochas lamíticas fissuradas.

Aquífero Diabásio: associa-se aos sistemas de fraturamento existentes em corpos de diabásio.

Aquífero Cenozoico: corresponde a um aquífero livre pouco profundo e constituído por materiais inconsolidados de cobertura da Formação Rio Claro, limitado na base por sedimentos impermeáveis da Formação Corumbataí e por depósitos aluvionais.

Ocorrem também águas subsuperficiais que correspondem à água da zona de aeração, constituindo o lençol freático cujo afloramento origina pequenos córregos tributários da Bacia do Corumbataí, relacionada diretamente a eficacidade das chuvas no escoamento superficial (URSULINO, 1998).

A Figura 6 represente as drenagens na área de estudo.

Figura 6: Mapa de Rede Hidrográfica da Área de Estudo



Elaborado pela autora

2.6 Aspectos da Vegetação e Uso e Ocupação do Solo

De acordo com Silva (1999), a partir de 1850 devido à implantação da cafeicultura e à instalação da estrada de ferro em 1876, a vegetação natural da área de estudo foi densamente desmatada. Atualmente grande parte da área é ocupada pela cultura da cana de açúcar e a instalação de olarias e cerâmicas.

Silva (1999) caracteriza quatro tipos de matas ciliares presentes na região: mata primitiva com predominância de árvores de grande porte, restritas ao Rio Corumbataí e localizada nas vertentes íngremes das cuestas o que dificulta o acesso e contribui para sua preservação; vegetação ciliar arbóreo-arbustiva encontrada nas nascentes dos rios; vegetação arbustiva, com predominância de arbustos disseminados pela bacia do Rio Corumbataí; e vegetação higrófila rasteira, com predominância de gramíneas em locais com presença de olarias e áreas agrícolas.

O uso do solo na área de estudo, de acordo com Silva (1999), apresenta um predomínio de áreas ocupadas por pastagens e cultivo de cana de açúcar. Ocorrem também áreas de reflorestamento de eucalipto e Pinus, sendo uma das áreas mais significativas constituídas pela Floresta Estadual Edmundo Navarro de Andrade, o conhecido Horto Florestal de Rio Claro.

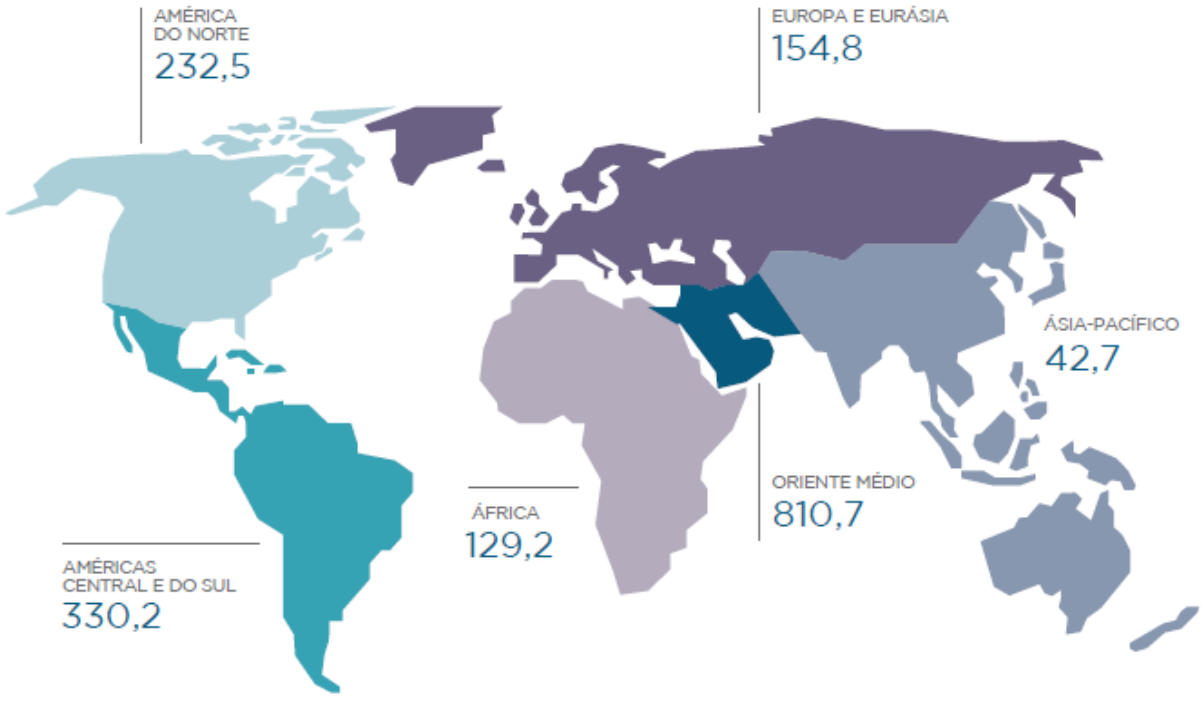
3. Estado da Arte

3.1 Aspectos Teóricos

3.1.1 Produção de Petróleo

Os combustíveis fósseis são formados pela decomposição de restos de animais e vegetais a milhões de anos, e caracterizam-se pela grande liberação de energia e facilidade de oxidação, o que os torna combustíveis amplamente utilizados. Advindo dos combustíveis fósseis, o petróleo apresenta-se como uma das principais fontes de energia utilizadas em todo o mundo. Segundo dados da ANP, no ano de 2014, as reservas provadas de petróleo no mundo totalizaram 1,7 trilhões de barris. A Figura 7 representa o total de reservas provadas de petróleo, segundo regiões geográficas (bilhões de barris) no ano de 2014.

Figura 7: Reservas de petróleo por região, medidas em bilhões de barris.



Fonte: Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANP, 2015.

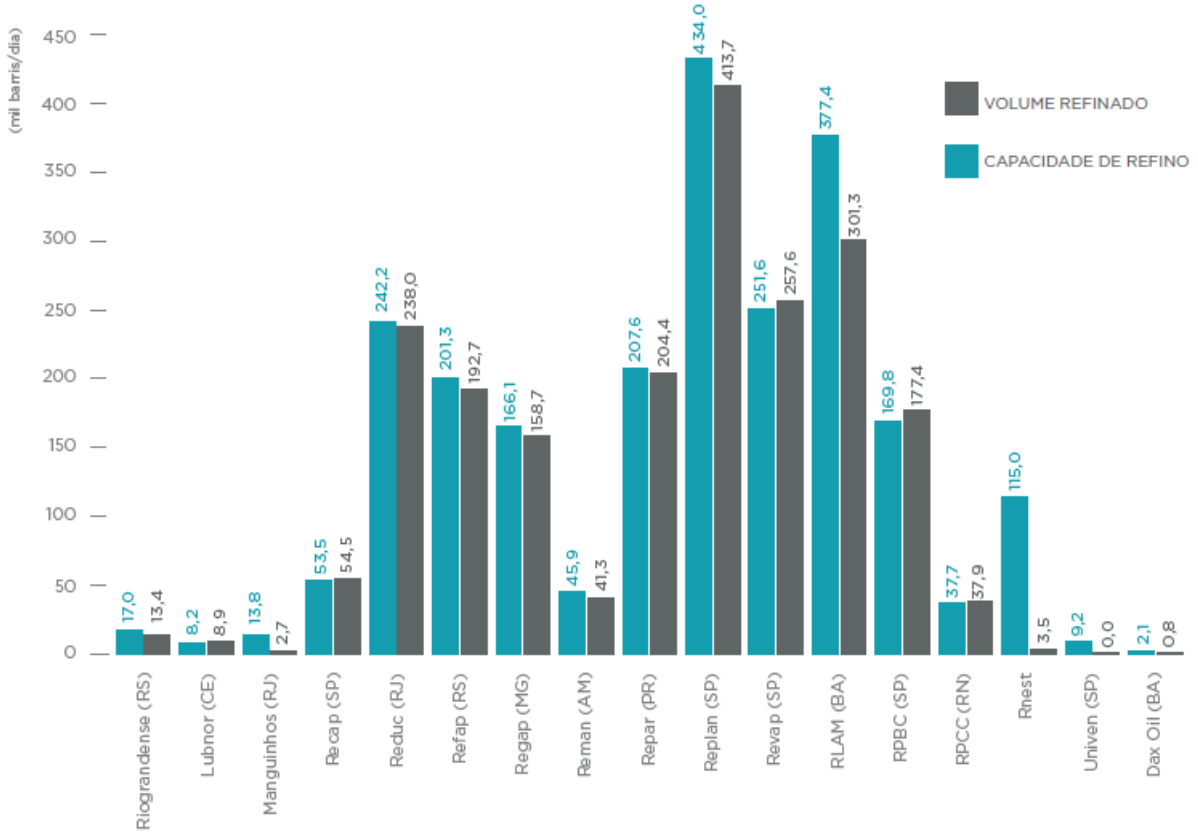
Considerando como referência o ano de 2014, o Brasil atingiu a 15ª posição no ranking mundial de reservas provadas de petróleo, atingindo um volume total de 16,2 bilhões de barris (ANP, 2015). Em relação ao consumo mundial de petróleo, o país ficou em 5º posição, totalizando cerca de 3,2 milhões de barris/dia. A produção nacional de petróleo apresentou um

aumento de 11,4%, totalizando 822,9 milhões de barris, atingindo a 13ª posição no ranking mundial de produtores de petróleo (ANP, 2015). Este aumento foi ocasionado principalmente pelo crescimento da produção de petróleo na região do pré-sal (ANP, 2015).

Em relação ao refino de petróleo, segundo dados da ANP, no fim de 2014 o parque de refino brasileiro apresentava 17 refinarias, com capacidade para processar 2,4 milhões de barris/dia (ANP, 2015). Dentre essas refinarias, 13 são de propriedade da Petrobras, que respondem a 98,2% do total produzido.

A Figura 8 representa o volume de petróleo refinado e a capacidade de refino, segundo refinarias em 2014.

Figura 8: Volume de petróleo refinado por refinarias.



Fonte: Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANP, 2015.

Através da Figura 8 observa-se que a Replan (SP) foi a responsável pelo maior volume produzido, correspondendo a 413,7 mil barris/dia, o que representou 19,7% do total.

Ainda considerando o ano de 2014 como referência, a região Sudeste foi a responsável por 61,7% da capacidade de armazenamento de petróleo nas refinarias, sendo 37,2% localizado no estado de São Paulo (2,5 milhões de m³) e 16,9% localizado no estado do Rio de Janeiro.

As refinarias com maior capacidade foram a Revap (SP) e Reduc (RJ) (ANP, 2015).

Em relação ao armazenamento de derivados, a região Sudeste também se apresentou com maior capacidade, totalizando 67,2% (7,9 milhões de m³). Desse contingente, 44,9% corresponde ao estado de São Paulo (5,3 milhões de m³) e 16,3% ao estado do Rio de Janeiro (1,9 milhão de m³). As refinarias com maior capacidade foram, respectivamente, Replan e Reduc (ANP, 2015).

3.1.2 Produção de Derivados de Petróleo

De acordo com dados da ANP, no ano de 2014, o Brasil produziu 130,2 milhões de m³ de derivados de petróleo. Desse volume, 97,2% foram produzidos em refinarias, e o restante dividido em centrais petroquímicas e outros produtores (ANP, 2015).

Segundo ANP:

> "Os derivados energéticos corresponderam a 86,6% do total produzido, com 112,7 milhões de m³, após um aumento de volume de 2,3% em relação a 2013. A produção dos não energéticos foi de 17,4 milhões de m³, ou 13,4% do total produzido, após um acréscimo de 1,7% em comparação ao ano anterior." (Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2015, ANP, 2015, p.106).

Os derivados do petróleo apresentam diversos usos e podem ser utilizados em aplicações energéticas ou não energéticas. De acordo com Gilvan Júnior (2016) os derivados energéticos, também chamados de combustíveis, são classificados como os seguintes produtos:

a) Gás Combustível
b) Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)
c) Gasolina
d) Querosene
e) Óleo Diesel
f) Óleo Combustível
g) Coque

Ainda segundo Gilvan Júnior (2016) os derivados não energéticos são:

a) Nafta e Gasóleos
b) Lubrificantes
c) Asfalto
d) Solventes domésticos e industriais, como aguarrás, querosene, etc.

Os derivados também podem ser classificados de acordo com a complexidade das cadeias carbônicas que os compõem. Serão classificados em Leves aqueles derivados que

apresentam as menores cadeias carbônicas; Médios aqueles cujas cadeias carbônicas apresentam comprimentos considerados intermediários; e Pesados quando apresentam cadeias carbônicas complexas e maiores. Os derivados pesados são aqueles que possuem a maior concentração de contaminantes (GILVAN JÚNIOR, 2016).

O Quadro 1 apresenta os principais derivados de petróleo e suas aplicações.

Quadro 1: Derivados de petróleo e sua utilização.

Produto	Utilização
Gasolina	Combustível automotivo
Óleo diesel	Combustível automotivo
Óleo combustível	Industrial, naval, geração de eletricidade.
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	Cocção
Querosene de Aviação	Combustível aeronáutico
Querosene Iluminantes	Iluminação
Parafina	Velas, indústria alimentícia.
Nafta	Matéria-prima da petroquímica
Propeno	Matéria-prima do polipropileno (plásticos) e acrilatos (tintas)
Óleos Lubrificantes	Lubrificação de máquinas e motores
Asfalto	Pavimentação

Modificado de GILVAN JÚNIOR (2016)

As refinarias foram as responsáveis pela principal produção de derivados de petróleo no ano de 2014, totalizando 126,5 milhões de m³. A região Sudeste produziu 61,9% desse volume, sendo que o estado de São Paulo caracterizou-se como o maior produtor, com a refinaria Replan produzindo 19,4% desse contingente. A Replan também se caracterizou pela maior produção de gasolina A (21,3% do total), GLP (19,6%), óleo diesel (24,5%) e coque (35%) (ANP, 2015). A Tabela 1 apresenta a produção de derivados de petróleo energéticos e não energéticos, por refinarias no ano de 2014.

De acordo com dados da ANP (2015), em relação ao volume total de derivados energéticos produzidos no estado de São Paulo, o óleo diesel representou 44,1% do total produzido, a gasolina 26,7%, o óleo combustível 14,4%, o GLP 8,9%, o QAV 5,4% e outros produtos representaram apenas 0,5% do total produzido. Os derivados não energéticos, do volume total produzido, a Nafta correspondeu a 30,5%, o Coque 28,6%, Asfalto 19,5%, o Solvente 2,3% e a produção de outros representou 19%.

Tabela 1: Produção de derivados de petróleo por refinarias no ano de 2014.

DERIVADOS DE PETRÓLEO	PRODUÇÃO (M³)								
	RIOGRANDENSE (RS)	LUBNOR (CE)	MANGUINHOS (RJ)	RECAP (SP)	REDUC (RJ)	REFAP (RS)	REGAP (MG)	REMAN (AM)	REPAR (PR)
TOTAL	**772.584**	**495.070**	**157.359**	**3.412.594**	**14.690.956**	**11.357.373**	**9.555.487**	**2.531.908**	**12.571.951**
Energéticos	**587.381**	**215.505**	**157.359**	**3.067.965**	**10.877.304**	**9.827.387**	**8.212.993**	**1.823.008**	**10.915.208**
Gasolina A	141.963	-	157.359	1.137.958	2.324.710	2.902.143	2.331.604	391.074	3.195.266
Gasolina de aviação	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GLP	24.416	7.931	-	298.000	953.084	744.871	749.007	77.892	850.007
Óleo combustível	120.876	165.644	-	9.383	2.873.757	592.083	921.372	341.484	858.751
Óleo diesel	299.707	41.930	-	1.622.624	3.374.098	5.005.149	3.431.369	831.415	5.683.314
QAV	-	-	-	-	1.324.235	240.199	773.814	174.251	325.485
Querosene iluminante	420	-	-	-	-	-	5.827	0	2.384
Outros	-	-	-	-	27.419	342.942	-	6.891	-
Não energéticos	**185.202**	**279.565**	**-**	**344.629**	**3.813.652**	**1.529.986**	**1.342.494**	**708.901**	**1.656.743**
Asfalto	-	207.779	-	-	316.324	177.393	952.242	166.077	436.234
Coque	-	-	-	-	520.234	199.121	390.252	-	655.001
Nafta	143.306	-	-	-	1.648.795	938.571	-	542.824	29.097
Óleo lubrificante	-	71.786	-	-	510.832	-	-	-	-
Parafina	-	-	-	-	15.830	-	-	-	-
Solvente	41.896	-	-	90.193	-	324	-	-	43.986
Outros	-	-	-	254.436	801.637	214.577	-	-	492.426

DERIVADOS DE PETRÓLEO	PRODUÇÃO (M³)								
	REPLAN (SP)	REVAP (SP)	RLAM (BA)	RPBC (SP)	RPCC (RN)	RNEST(PE)	UNIVEN (SP)	DAX OIL (BA)	TOTAL
TOTAL	**24.534.471**	**15.522.009**	**17.843.440**	**10.404.147**	**2.506.847**	**63.302**	**395**	**48.140**	**126.468.034**
Energéticos	**21.775.330**	**13.695.632**	**15.987.986**	**9.334.993**	**2.506.847**	**41.296,03**	**-**	**12.323**	**109.038.517**
Gasolina A	6.156.985	3.502.717	3.450.057	2.678.407	501.643	-	-	-	28.871.886
Gasolina de aviação	-	-	-	93.762	-	-	-	-	93.762
GLP	1.485.934	856.060	1.143.217	387.391	-	773	-	-	7.578.584
Óleo combustível	1.141.195	2.109.107	5.163.383	607.407	1.353.088	-	-	10.361	16.267.891
Óleo diesel	12.179.425	5.192.688	5.922.851	5.568.025	479.977	40.523	-	1.962	49.675.057
QAV	809.688	2.034.941	283.731	-	112.770	-	-	-	6.079.114
Querosene iluminante	2.103	120	1.151	-	-	-	-	-	12.005
Outros	-	-	23.596	-	59.369	-	-	-	460.217
Não energéticos	**2.759.141**	**1.826.377**	**1.855.454**	**1.069.155**	**-**	**22.006**	**395**	**35.817**	**17.429.518**
Asfalto	490.722	388.788	113.293	-	-	-	-	-	3.248.853
Coque	1.661.146	702.395	-	620.715	-	-	-	-	4.748.864
Nafta	5.601	474.108	1.181.469	86.772	-	22.006	-	2.092	5.074.640
Óleo lubrificante	-	-	99.435	-	-	-	-	-	682.053
Parafina	-	-	118.806	-	-	-	-	-	134.636
Solvente	-	1.636	1.610	164.854	-	-	395	33.725	378.620
Outros	601.672	259.449	340.841	196.815	-	-	-	-	3.161.852

Fonte: Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, ANP, 2015.

Portanto, a partir dos dados apresentados, observa-se que a Região Sudeste apresenta a maior capacidade de armazenamento de petróleo do país, sendo o estado de São Paulo o principal responsável pelo refino de derivados de petróleo. Desta forma, os estudos relacionados a petróleo e derivados nesta região são de grande importância.

3.2 Transporte de Petróleo e Derivados

3.2.1 Contexto Geral

A indústria do Petróleo caracteriza-se pelo "conjunto de atividades econômicas relacionadas à exploração, desenvolvimento, produção, refino, processamento, transporte, importação e exportação de petróleo, gás natural, outros hidrocarbonetos fluidos e seus derivados" (BRASIL, 1997).

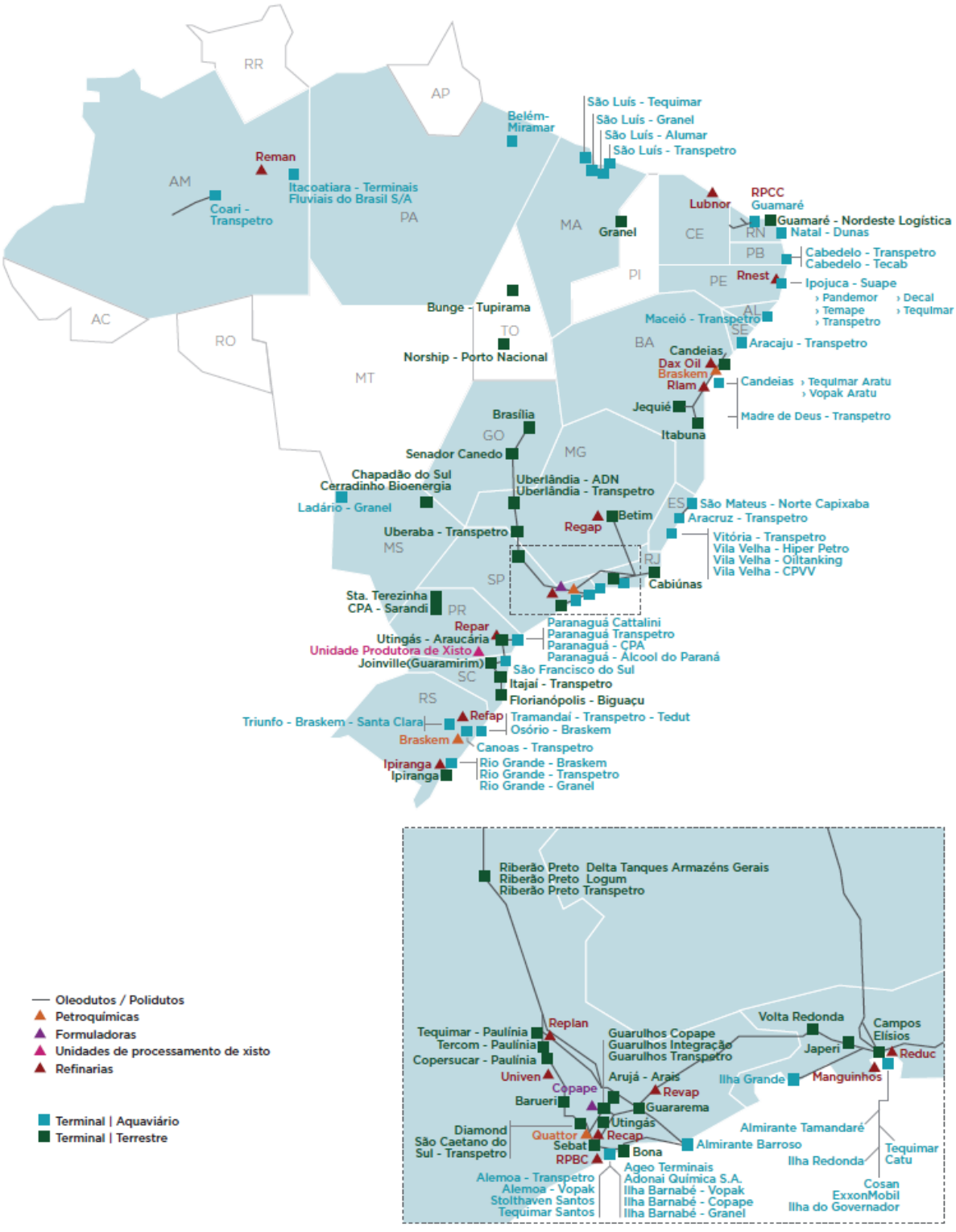
O transporte do petróleo dos campos petrolíferos até as refinarias e terminais é realizado através de veículos transportadores, transporte marítimo, oleodutos e gasodutos.

O petróleo, ou óleo cru, é transportado dos campos petrolíferos até os locais apropriados para refino e armazenamento. Na Refinaria de Petróleo, o óleo será processado e transformado em derivados de petróleo e nos Terminais ocorre o recebimento e armazenamento dos produtos. Segundo ANP (2015) o terminal é caracterizado como um "conjunto de instalações utilizadas para o recebimento, expedição e armazenamento de produtos da indústria do petróleo. Pode ser classificado como marítimo, fluvial, lacustre ou terrestre." (ANP, 2015). No Brasil, no ano de 2014, foram contabilizados 108 terminais autorizados, sendo nove centros coletores de etanol (com 21 tanques), 56 terminais aquaviários (com 1.442 tanques) e 46 terrestres (com 476 tanques) (ANP, 2015).

O transporte destes produtos por meio de dutos, segundo dados da ANP (2015), caracteriza-se por contabilizar, em território nacional, 601 dutos destinados à movimentação de petróleo, derivados, gás natural e outros produtos, totalizando 19,7 mil km. O duto é caracterizado como sendo um "conduto fechado destinado ao transporte ou transferência de petróleo, seus derivados ou gás natural" (ANP, 2015).

A Figura 9 apresenta a infraestrutura de produção e movimentação de petróleo e derivados em ambiente nacional no ano de 2014. Apresentam-se em linhas os oleodutos que se ligam aos terminais aquaviários e terrestres. Destaca-se a região que engloba os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro para melhor visualização dos terminais, dutos e refinarias presentes neste local.

Figura 9: Infraestrutura da produção e movimentação de petróleo e derivados no país.



Fonte: ANP, 2015

Após o processamento, os derivados de petróleo são encaminhados para as distribuidoras, que são responsáveis pela aquisição e revenda de produtos para os consumidores. A distribuição, segundo a ANP (2015), caracteriza-se como "atividade de comercialização por atacado com a rede varejista ou com grandes consumidoras de combustíveis, lubrificantes, asfaltos e gás liquefeito envasado, exercida por empresas especializadas, na forma das leis e regulamentos aplicáveis".

No Brasil, no ano de 2014 foram contabilizados 291 bases de distribuição de combustíveis líquidos autorizadas pela ANP. A região Sudeste é a que apresenta o maior número de distribuidoras, com um total de 94, e nesta região, o estado de São Paulo apresenta o maior número de distribuidoras, com um total de 57 (ANP, 2015).

No estado de São Paulo, de acordo com dados da Avaliação de Impacto Social e Ambiental realizada pelo Departamento de Estradas e Rodagem - DER, o sistema de transportes é constituído por cerca de 37 mil km de rodovias, 5.100 km de ferrovias, 2.400 km de rios navegáveis com a hidrovia Tietê-Paraná, dois dos maiores portos (Santos e São Sebastião) e aeroportos (Guarulhos e Viracopos) do país, além de centenas de quilômetros de dutovias. Desta forma, o estado de São Paulo caracteriza-se como uma das principais regiões responsáveis pela distribuição de derivados de petróleo no país.

3.2.2 Emergências Químicas

As emergências químicas constituem-se em situações emergenciais que representam riscos ao meio ambiente, causados por eventos acidentais ocorridos em fontes ou atividades que manipulam substâncias químicas. As substâncias químicas caracterizadas por produtos considerados perigosos, de acordo com a CETESB (2011), são baseadas no tipo de risco que estes produtos apresentam. Os produtos são subdivididos em 9 classes de acordo com o tipo de produto. O Quadro 2 apresenta as classes de produtos perigosos, segundo a CETESB.

Quadro 2: Classes de produtos considerados perigosos de acordo com o Manual de Produtos Perigosos da CETESB.

Classe 1	EXLOSIVOS	
Classe 2	Subclasse 2.1 Subclasse 2.2 Subclasse 2.3	Gases Inflamáveis Gases não inflamáveis, não tóxicos. Gases Tóxicos
Classe 3	LÍQUIDOS INFLAMÁVEIS	
Classe 4	Subclasse 4.1 Subclasse 4.2 Subclasse 4.3	Sólidos inflamáveis Substâncias sujeitas à combustão espontânea; Substâncias que, em contato com a água, emitem gases inflamáveis.
Classe 5	Subclasse 5.1 Subclasse 5.2	Substâncias oxidantes Peróxidos orgânicos
Classe 6	Subclasse 6.1 Subclasse 6.2	Substâncias tóxicas (venenosas) Substâncias infectantes
Classe 7	MATERIAIS RADIOATIVOS	
Classe 8	CORROSIVOS	
Classe 9	SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS DIVERSAS	

Fonte: CETESB (2011)

As emergências químicas são frequentes em todo o mundo, com severas consequências ao homem, ao meio ambiente e ao patrimônio. Casos emblemáticos podem ser citados como o vazamento de isocianato de metila em Bhopal, Índia (1984), o vazamento de óleo do navio Exxon Valdez, Alasca (1989), o vazamento de propano proveniente do transporte rodoviário de produtos perigosos em San Carlos de La Rapita, Espanha (1978), o vazamento de combustível proveniente também do transporte rodoviário, ocorrido em Araras, São Paulo, (1998), entre outros (CETESB, 2011).

Em 1978, o navio petroleiro Brazilian Marina encalhou no canal de São Sebastião ocasionando o vazamento de 6.000 toneladas de óleo para o ambiente. Após este acidente, foi criado o Comitê de Defesa do Litoral – CODEL, que era formado por dez organizações governamentais, cinco estaduais (Secretaria do Meio Ambiente – SOMA; CETESB; Superintendência do Litoral Paulista – SUDELPA; Coordenadoria de Proteção de Recursos Naturais CPRN e o Instituto Oceanográfico/USP) e quatro federais (Secretaria Especial de Meio Ambiente – SEMA; PETROBRAS; Ministério da Marinha; Empresa de Portos do Brasil – Portobras e o Centro Técnico Aeroespacial) (CETESB, 2011).

Após alguns anos o CODEL deixou de se reunir, e as atividades de prevenção e resposta aos acidentes envolvendo óleo no mar passaram a ser de responsabilidade da CETESB e da PETROBRAS (CETESB, 2011).

A CETESB vem registrando em seu Sistema de Informação de Emergências Químicas – SIEQ um elevado número de acidentes envolvendo produtos químicos, destes, a grande maioria proveniente do transporte rodoviário (CETESB, 2011).

No Brasil, existe um total de 1.691.522 km de rodovias, das quais apenas 12% são pavimentadas. Assim, devido ao transporte de produtos perigosos ocorrerem predominantemente através do modal rodoviário, os índices de acidentes tendem a serem maiores.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – IBAMA, no período entre 2006 e 2014 foram registrados 4713 eventos caracterizados como acidentes ambientais. Neste período, a região Sudeste obteve o maior percentual de ocorrência de acidentes no país. Ainda segundo dados do IBAMA, o maior percentual de acidentes entre os anos de 2013 e 2014 ocorreu em rodovias, com a maioria dos acidentes envolvendo derramamento de líquido.

3.2.3 Transporte Rodoviário no Estado de São Paulo

Segundo dados do DER, a malha rodoviária pavimentada do estado de São Paulo constitui-se por 37 mil km, dos quais 1.055 km são de rodovias federais, 14 mil km de rodovias municipais e 22 mil km de rodovias estaduais. Ainda segundo dados do DER, do total de rodovias estaduais, 6.421 km foram concedidas à operação privada, sob supervisão da ARTESP – Agência Reguladora de Serviços Delgados de Transportes, e cerca de 15,6 mil km de rodovias pavimentadas estão sob operação do DER.

3.2.4 Acidentes Rodoviários

No Brasil, o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos é regulamentado pela Lei n° 7.092, de 19 de abril de 1983, e no Decreto-lei n° 2.063, de 6 de outubro de 1983. (BRASIL, 1983).

No ano de 2015, dados da CETESB indicaram que, no estado de São Paulo, ocorreu um total de 221 acidentes envolvendo o transporte de produtos perigosos em rodovias, que resultaram em emergências químicas atendidas pela CETESB. A Tabela 2 apresenta a distribuição das principais rodovias onde ocorreram emergências químicas atendidas pela CETESB nos anos de 2013, 2014 e 2015.

Tabela 2: Número de acidentes distribuído pelas principais vias terrestres nos anos de 2013, 2014 e 2015.

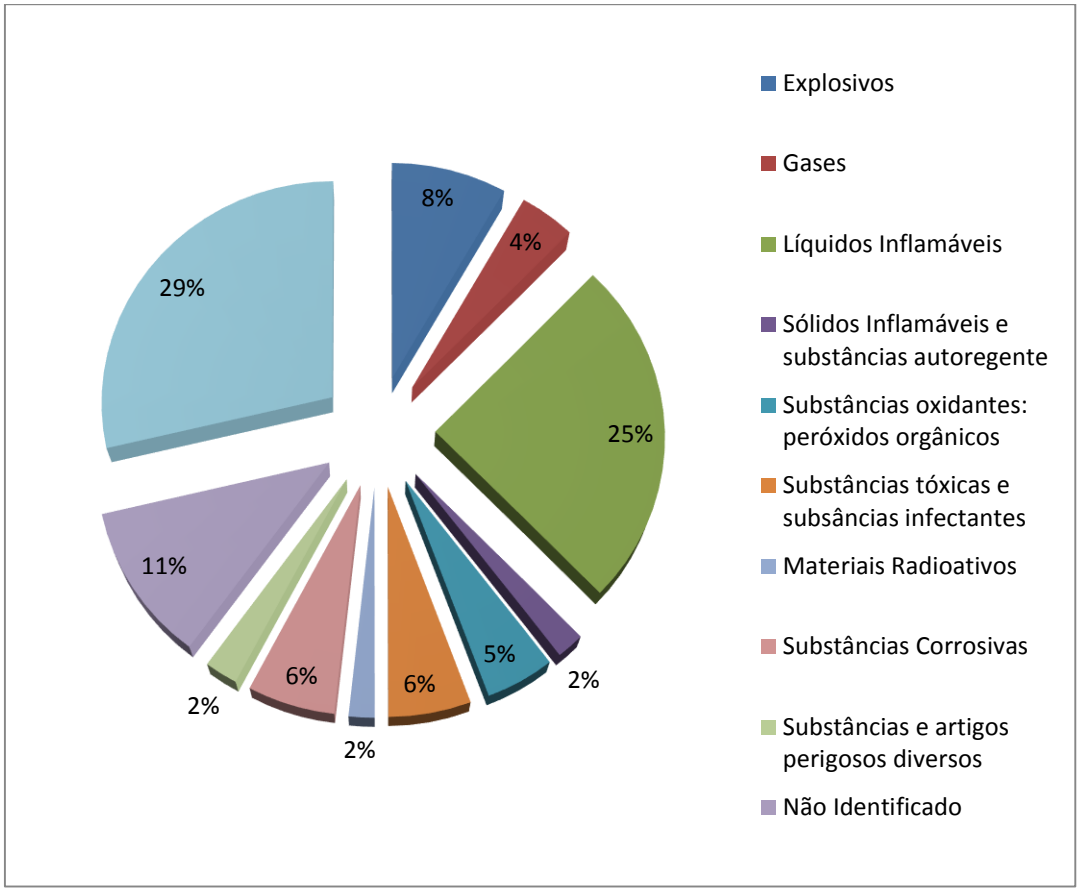
Rodovia	2013	2014	2015
Anchieta	2	3	3
Anhanguera	10	17	15
Bandeirantes	5	12	2
Cândido Portinari	2	0	0
Castello Branco, Pres.	6	9	7
D. Pedro I	0	0	1
Domênico Rangoni, Cônego	1	2	2
Dutra, Pres.	6	7	12
Faria Lima, Brigadeiro	0	1	4
Fernão Dias	4	0	4
Gabriel Paulino Bueno Couto, Dom	1	1	1
Imigrantes	2	2	1
Índio Tibiriçá	0	0	0
Manoel da Nóbrega, Padre	5	0	2
Milton Tavares de Souza, Gal.	1	1	0
Raposo Tavares	3	3	5
Régis Bittencourt	50	36	29
Rodoanel Mário Covas	7	7	7
Rondon, Mal.	5	2	7
Ruas e Avenidas / Estradas Vicinais	29	38	31
Santos Dumont	1	1	0
Transbrasiliana	4	1	4
Washington Luís	10	12	8

Adaptado de CETESB.

De acordo com a Tabela 2, pode-se observar que o maior número de acidentes no ano de 2015 ocorreu em Ruas e Avenidas / Estradas vicinais, seguido das rodovias Régis Bittencourt, Anhanguera, Presidente Dutra e Washington Luís.

A Figura 10 representa as classes de riscos dos produtos envolvidos em acidentes no transporte rodoviário no ano de 2015.

Figura 10: Classes de risco de produtos envolvidos em acidentes rodoviários no ano de 2015.



Adaptado de CETESB

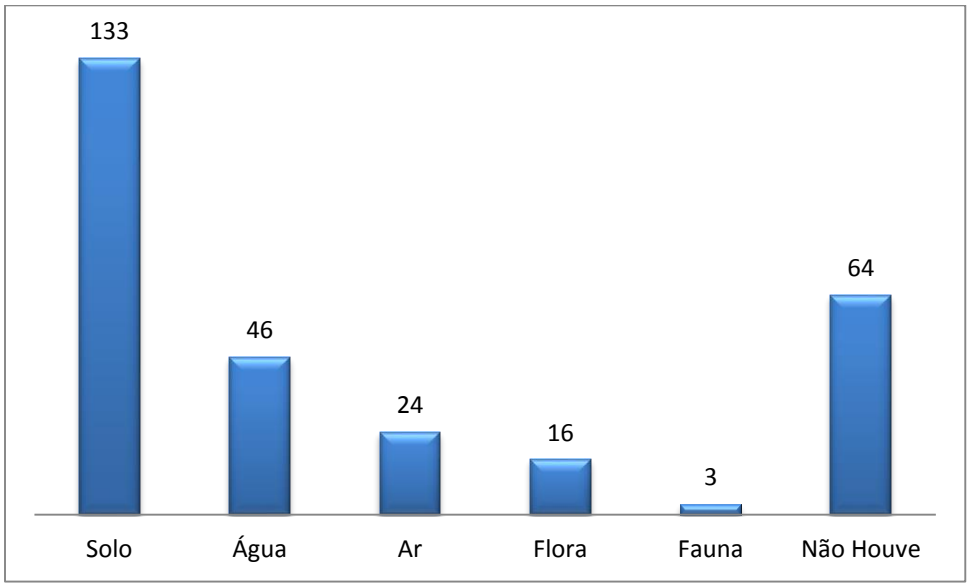
Analisando o gráfico da Figura 10, observa-se que a principal categoria de produtos químicos envolvidos em acidentes atendidos pela CETESB no ano de 2015 são os produtos não classificados (29%). Estes produtos não são classificados pela ONU como produtos perigosos, porém apresentam riscos ao meio ambiente em situações de derrame (CETESB, 2011).

Os líquidos inflamáveis aparecem como a segunda maior categoria (25%). Ressalva-se que esta classe apresenta como os líquidos transportados mais comuns os combustíveis automotivos (gasolina, álcool etílico e óleo diesel) e os solventes.

De acordo com dados da CETESB (2015), no ano de 2015 o maior número de casos de emergências (74%) ocorreu em regiões no interior do estado de São Paulo. Ainda de acordo com CETESB (2011) isto ocorre, pois os municípios que compõem o interior do estado de São Paulo são dotados de parques industriais desenvolvidos e cortados por importantes malhas rodoviárias. Esse fator representa a grande necessidade de se desenvolverem estudos que priorizem a redução de acidentes envolvendo derrames de produtos químicos nessas regiões.

A Figura 11 apresenta dados referentes aos meios atingidos por derrames de produtos perigosos em acidentes rodoviários no ano de 2015.

Figura 11: Meios atingidos por derrames de produtos perigosos no ano de 2015.



Adaptado de CETESB.

Através do gráfico da Figura 11, observa-se que das 221 emergências químicas envolvidas em acidentes rodoviários, 133 casos ocasionaram contaminação ao solo, 46 casos geraram contaminação nos recursos hídricos, 24 casos contaminação ao ar, 16 casos prejudicaram a flora, 3 casos geraram contaminação na fauna e 64 casos não ocasionaram contaminação direta a esses meios. Ressalva-se que um mesmo acidente pode contaminar mais de um meio.

3.2.5 Programa de Gerenciamento de Riscos para Administradores de Rodovias para o Transporte de Produtos Perigosos - PGR Rodovias.

Em 2013 a CETESB iniciou a implantação do Programa de Gerenciamento de Riscos – PGR, como uma importante iniciativa de gestão ambiental para os administradores de rodovias.

De acordo com informações da CETESB (2013), um PGR busca medidas e procedimentos técnicos e administrativos, com o objetivo de reduzir e controlar riscos referentes a transporte de produtos perigosos no âmbito rodoviário. Esse programa busca minimizar as possíveis consequências decorrentes de acidentes através da elaboração de um Plano de Ação de Emergência - PAE.

Dentro desse contexto, as Cartas SAO apresentam-se como um possível complemento que pode ser adicionado à estrutura do PGR das rodovias, visto que se trata de uma ferramenta técnico gerencial, que busca determinar quais regiões próximas a rodovias apresentam maior sensibilidade ambiental ao óleo e hidrocarbonetos, e, portanto, devem ser áreas priorizadas nos procedimentos de proteção e limpeza. Os dados apresentados anteriormente mostram que o número de acidentes rodoviários envolvendo produtos perigosos cresceu nos últimos anos, desta forma, estudos envolvendo estes meios possuem grande relevância.

3.3. Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo

3.3.1 Contexto Histórico

Os estudos relacionados à avaliação de impactos ocasionados por derrames de petróleo no meio ambiente iniciaram-se na década de 1970 nos Estados Unidos. Os primeiros métodos para avaliação da sensibilidade a derrames de óleo foram desenvolvidos por um grupo de pesquisadores da Divisão de Pesquisa Costeira do Departamento de Geologia da Universidade da Carolina do Sul, nos Estados Unidos (MICHEL et al., 1978).

O grupo de pesquisadores utilizou como embasamento de suas pesquisas três casos importantes de acidentes envolvendo derrames de óleo, 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).

A partir dos estudos desse grupo, foram lançadas publicações que continham as bases de pesquisas relacionadas à sensibilidade ambiental ao óleo como é realizada nos dias de hoje. Podem-se citar trabalhos pioneiros de Gundlach e Hayes (1978) e Michel et al. (1978).

Gundlach e Hayes (1978), apresentaram uma metodologia de “Índice de Vulnerabilidade ao Derrame de Óleo” (ESI – *Environmental Sensitivity Index*) 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 (GUNDLACH e HAYES, 1978).

Michel et al. (1978), apresentam uma metodologia similar, entretanto utiliza também a suscetibilidade biológica e a facilidade de limpeza manual.

Observa-se nos estudos pioneiros a utilização do termo “vulnerabilidade” em detrimento do termo “sensibilidade”, que são abordadas como sinônimos nos estudos. Entretanto, por serem conceitos-chave e não apresentarem definições explícitas, no presente estudo é

necessário à distinção entre os termos. Serão utilizados os conceitos de Zacharias e Gregr (2005) para vulnerabilidade e sensibilidade.

De acordo com Zacharias e Gregr (2005), a sensibilidade consiste no grau pelo qual os ambientes irão responder a um determinado stress. A sensibilidade é medida utilizando um ou mais indicadores (como exemplo tipos de espécies, comunidades e habitats) que respondem a um ou mais fatores de stress naturais ou humanos. A vulnerabilidade caracteriza-se pela probabilidade de um recurso ser atingido por um fator de stress ao qual será sensível (ZACHARIAS e GREGR, 2005). Estas definições apresentam-se consistentes à abordagem de Índice de Sensibilidade Ambiental (ESI) proposto por Gundlach e Hayes (1978), pois segundo esta metodologia, um recurso é definido como sensível quando é prejudicado devido à exposição direta ao óleo ou em concentrações deste na água. Ainda segundo o ESI, um recurso será vulnerável ao óleo quando este apresentar a probabilidade de ser atingido por longos períodos, causando prejuízos aos recursos (ZACHARIAS e GREGR, 2005).

A partir dos anos 1990, o uso das Cartas SAO como principal ferramenta técnico-gerencial para casos de acidentes envolvendo derrames de petróleo difundiu-se em todo o mundo devido ao grande desastre natural ocorrido em 1989 com o navio petroleiro Exxon Valdez.

Em 24 de Março de 1989, o navio petroleiro Exxon Valdez encalhou em um recife rochoso ocasionando um rompimento no casco, derramando milhões de galões de óleo no Alaska. O desastre culminou na morte e lesões de diversas aves, lontras, veados e peixes, entre outros animais. Além disso, a população local que sobrevivia da pesca também foi prejudicada (LEACOCK, 2005).

Dentro desse contexto, inúmeras metodologias a respeito de sensibilidade ambiental ao óleo começaram a surgir, o que culminou na elaboração, pela National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA, de um guia para a produção de Cartas SAO para os Estados Unidos, visando instituir um sistema padronizado para a produção desses materiais (MARTINS, 2012). Este guia vem sendo utilizado em diversas partes do mundo, e vem sendo constantemente atualizado devido aos novos estudos que foram surgindo.

De acordo com o último guia atualizado (PETERSEN et al., 2002), as cartas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no litoral possuem três componentes:

- Classificação da linha de costa: ranqueamento da linha de costa baseado em uma escala de 1 a 10, relacionada à sensibilidade do local, persistência do óleo e facilidade de limpeza. Quanto maior a escala maior será a sensibilidade.
- Recursos biológicos: incluindo animais sensíveis ao óleo e plantas raras; habitats sensíveis, vegetação aquática e recifes de corais.
- Recursos humanos: áreas específicas que apresentam sensibilidade devido ao seu valor de uso como praias, parques, santuários marinhos, afluentes e áreas de proteção arqueológica.

Devido à utilização da metodologia das Cartas SAO em diversos locais, esta é constantemente adaptada para diferentes realidades e regiões. Alguns ambientes apresentam diferentes tipos de componentes que podem variar devido às mudanças regionais, entretanto, de acordo com Gundlach et al. (2001), apesar de existirem nuances entre os mapas de sensibilidade, o básico do mapeamento tem se mantido constante em todos os projetos, o qual mantêm os conceitos originais de desenho e formato. De acordo com Gundlach et al. (2001) os conceitos básicos para a elaboração das Cartas SAO são:

- As cartas de sensibilidade ambiental devem conter informações sobre o ambiente as quais possam auxiliar na localização de áreas prioritárias de proteção e escolha dos procedimentos adequados de limpeza.
- Apresentam três componentes principais: físico/geomorfológico, biológico e socioeconômico.
- A sensibilidade dos componentes biológicos e socioeconômicos pode variar de acordo com a época do ano e outros fatores.
- Os atributos físicos e geomorfológicos das áreas na linha da costa e no interior dos habitats são classificados em escala crescente de sensibilidade, mais comumente em escala de 1 a 10.
- Os atributos biológicos associados a componentes geomorfológicos estão incluídos na avaliação de sensibilidade do referido componente.
- Outros componentes biológicos (como por exemplo, áreas de pesca e colônia de aves) são avaliados pontualmente ou em polígonos, mas não apresentam um valor de sensibilidade.
- Áreas socioeconômicas (áreas de pesca e recreação, entre outras) também são avaliadas pontualmente ou em polígonos, e também não possuem um valor de sensibilidade.

Os estudos supracitados mostram a grande abrangência de trabalhos sobre as regiões litorâneas, devido principalmente a grande ocorrência de acidentes nestas áreas e ao volume derramado, que tende a ser relevante. 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 essas áreas. 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).

3.3.2 Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Brasil

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

A partir de 1996, a Petrobras iniciou a produção de estudos de desenvolvimento de Cartas SAO utilizando de embasamento a padronização e a metodologia produzida pela NOAA (ARAUJO et al., 2002).

O primeiro guia produzido no Brasil consistiu no "Manual básico para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras: ambientes costeiros e estuarinos" (ARAUJO et al., 2002). Este manual foi utilizado como embasamento para a produção das "Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo" (ARAUJO et al., 2002, MMA, 2004). Este documento tornou-se referência para o mapeamento de Carta SAO no Brasil.

De acordo com as Especificações do Ministério do Meio Ambiente - 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, cuja unidade cartográfica adotada foi as 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.

Em relação ao nível de volume derramado no meio ambiente, foi estabelecida uma tipologia de volume derramado, entretanto, em acidentes que envolvam grandes descargas de produto, serão necessários mapeamentos em diferentes níveis e escala. O Quadro 3 apresenta a tipologia de volume de óleo derramado estabelecido pelo MMA (2004).

Quadro 3: Tipologia de volume de óleo derramado estabelecido pelo MMA.

TIPO	VOLUME DERRAMADO (m^3)
Descargas pequenas	Até 8 m^3
Descargas médias	De 8 a 200 m^3
Grandes descargas	Acima de 200 m^3

Fonte: MMA (2004).

No Brasil, também surgiram trabalhos envolvendo regiões continentais devido à necessidade dessa ferramenta para ambientes terrestres, que também são vulneráveis a acidentes envolvendo derrames de óleo. Podem ser citados os trabalhos de Araujo et al. (2006), para a Região Amazônica; Ferreira e Beaumord (2008), para Itajaí, Estado de Santa Catarina; dentre outros. Estas pesquisas focaram-se em ambientes fluviais e utilizaram de adaptações para determinar os componentes que devem ser analisados para o desenvolvimento do Índice de Sensibilidade Ambiental Fluvial.

3.3.3 Sensibilidade Ambiental ao Óleo em Ambientes Terrestres

No presente trabalho, optou-se por considerar como ambientes terrestres aqueles que não correspondem às regiões litorâneas e as áreas fluviais, pois estes locais apresentam metodologias próprias para sensibilidade ambiental ao óleo.

Nos ambientes terrestres, os principais locais passíveis de serem atingidos por derrames de óleo correspondem aos locais próximos a rodovias, devido à possibilidade de acidentes envolvendo veículos transportadores e regiões próximas a dutos e postos de gasolina, que apresentam 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 para essa região. Existem também os trabalhos de Mendes et al. (2005) e Gundlach et al. (2005) que 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 nas normas.

O trabalho de Mendes et al. (2005) apresenta um Mapeamento de Risco Ambiental – MARA para faixas de dutos. De acordo com o autor, busca-se identificar as áreas passíveis de serem atingidas por vazamentos de óleo e analisar as ações de contingência necessárias para estes 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 (Tabela 3).

Tabela 3: 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	RESTRIÇÕES 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 DENSA 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)

3.3.4 Carta SAO para Rodovias

Os estudos envolvendo Cartas SAO para rodovias ainda encontram-se em fase inicial, com poucos estudos que possam ser utilizados como embasamento. Dentre os estudos pioneiros desse modal, apresentam-se os trabalhos de Mattos (2008) e Martins (2012).

O estudo de Mattos (2008) consistiu em uma caracterização de áreas impactadas por rodovias que apresentam um fluxo de transporte de produtos perigosos, destacando atributos biológicos, físicos e socioeconômicos em mapas digitais. Mattos (2008) também utilizou de dados sobre a condição da rodovia, tipos de veículos e serviços disponíveis As informações coletadas foram organizadas em uma única base cartográfica, dentro de um Sistema de Informação Geográfica. Estes dados forneceram informações para a produção de mapas de

sensibilidade, úteis para auxiliar na tomada de decisões e planejamento de operações e de resposta adequadas (Mattos, 2008). 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).

No trabalho de Mattos (2008) é proposta uma metodologia baseada nas seguintes etapas: mapeamento de rodovias dentro de um banco de dados geográfico; análise dos dados obtidos a partir de parâmetros estabelecidos (socioeconômico, físico, biótico, estrutura da rodovia, operações na rodovia e emergências); 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); e desenvolvimento do mapa de sensibilidade ambiental da rodovia e do Índice de Sensibilidade Ambiental.

Segundo Mattos (2008), as informações georreferenciadas devem ser analisadas e relacionadas com as outras informações coletadas. A rodovia deve ser dividida em trechos, cujos comprimentos serão de 10 km para áreas fora do perímetro urbano e 3 km para trechos que estão dentro do perímetro urbano. Esta divisão é feita para determinar com mais precisão a interferência do tráfego de cargas perigosas nos trechos (Mattos, 2008).

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 se obter 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. Esses valores, associados ao índice de sensibilidade parcial, irão determinar o Índice Final de Sensibilidade Ambiental da rodovia.

Os dados estatísticos sobre os acidentes registrados na rodovia serão obtidos dividindo o número total de acidentes do mês em três intervalos, e para cada valor encontrado, atribuir valores estabelecidos (0.0, 0.5 ou 1.0). A Tabela 4 apresenta os intervalos em que deve ser feita a divisão:

Tabela 4: Valores de intervalos e seu respectivo valor atribuído.

Intervalos	Valor atribuído ao resultado obtido
0 – n/3	0.0
n/3 – 2n/3	0.5
2n/3 - n	1.0

n = número total de acidentes

Adaptado de Mattos (2008)

Por fim, o Índice de Sensibilidade Ambiental da Rodovia será obtido através da soma do Índice Parcial de Sensibilidade com o Índice de Acidentes na Rodovia. O resultado final (ISR) receberá um peso de acordo com o seu resultado. O Quadro 4 apresenta os pesos para cada valor obtido:

Quadro 4: Valores finais de Índice de Sensibilidade Ambiental para Rodovias.

ALTO: 10.0 ≤ RSI ≥ 6.7
MÉDIA : 6.6 ≤ RSI ≥ 3.4
BAIXA : 3.3 ≤ RSI ≥ 0.0

Fonte: Mattos (2008)

Para exemplificar a metodologia, apresentam-se os resultados obtidos por Mattos (2008) para trechos da rodovia BR – 404 no estado do Rio Grande do Norte.

De acordo com os dados fornecidos pela autora, foram registrados 1,013 acidentes na rodovia entre os meses de Janeiro de 2004 e Setembro de 2006, portanto, seguindo a metodologia, apresenta-se um total de 30 acidentes por mês. Utilizando os valores de intervalos propostos apresentam-se os seguintes resultados:

0 – 10 acidentes: valor 0.0

11 – 20 acidentes: valor 0.5

21 – 30 acidentes: valor 1.0

Adequando-se os valores obtidos com os métodos propostos, obtiveram-se os valores de sensibilidade ambiental ao óleo dos trechos da rodovia analisados. A autora atribuiu cores para determinar os pesos dos índices, e estes, posteriormente, foram atribuídos ao mapa final de sensibilidade ambiental ao óleo da rodovia. O Quadro 5 apresenta uma parte do Índice de Sensibilidade Ambiental proposto por Mattos:

Quadro 5: Índices de vulnerabilidade ambiental dos trechos da rodovia proposto por Mattos (2008).

Trechos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1.1 Áreas residenciais urbanas																					
1.2 Áreas residenciais rurais																					
1.3 Áreas comerciais e industriais																					
1.4 Unidades de Conservação																					
2.1 Hidrografia perene																					
2.2 Hidrografia não perene																					
2.3 Pluviometria																					
2.4 Sensibilidade Geomorfológica																					

Fonte: Mattos (2008)

De acordo com Martins (2012) observa-se na metodologia de Mattos (2008) que os elementos socioeconômicos e faunísticos não são representados em camadas (layers) na representação cartográfica, porém estas características são utilizadas como parâmetros de análise na composição das classes dos índices.

O trabalho de Martins (2012) apresentou uma proposta de metodologia para a construção de uma Carta SAO para ambientes adjacentes às rodovias, utilizando aplicações geotecnológicas. O autor utilizou como área de estudo cinco trechos da Estrada dos Tamoios (SP – 099) localizada no estado de São Paulo.

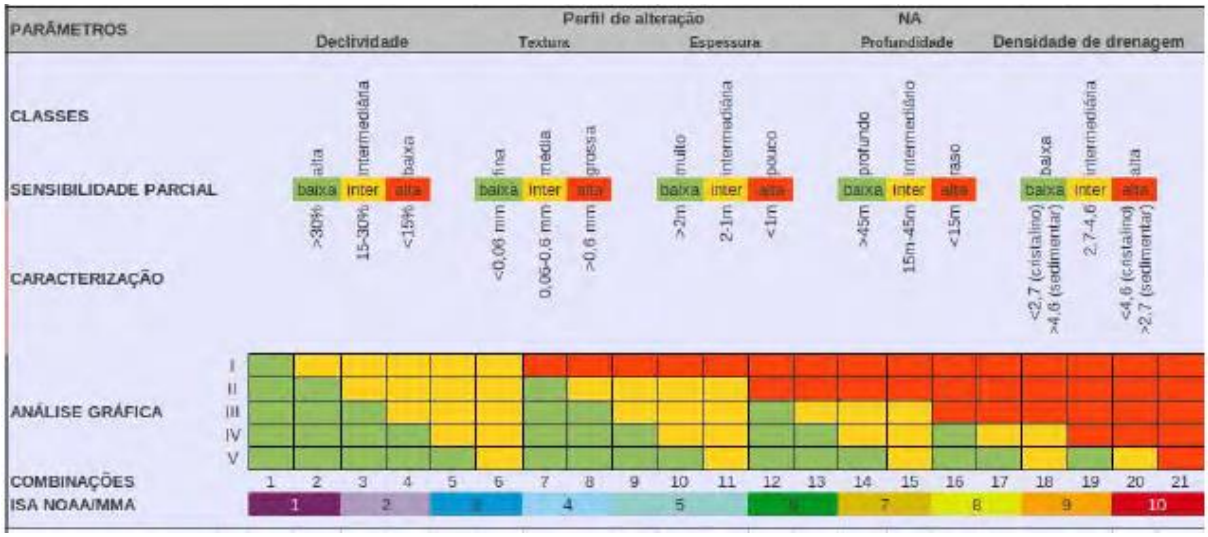
Martins (2012) propôs um Índice de Sensibilidade Terrestre (IST) que considera como variáveis a declividade do terreno, a textura e a profundidade do perfil de alteração, a profundidade do nível d'água e a permeabilidade relativa. Desta forma, os índices basearam-se "nos processos físicos que controlam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

A pesquisa desenvolveu-se com a utilização de técnicas de fotointerpretação e geoprocessamento, destacando-se a realização da compartimentação fisiográfica de cinco trechos da região de estudo.

Segundo Martins (2012) o Índice de Sensibilidade Ambiental é definido através da caracterização geomorfológica dos habitats, a fim de determinar a persistência natural do óleo e sua limpeza. Portanto, a compartimentação fisiográfica torna-se útil, pois determina zonas que apresentam características físicas homogêneas da região, e, portanto, contribui na análise da persistência do óleo na área.

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 12).

Figura 12: 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. Em 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 intermediaria 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: 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

Fonte: Martins (2012).

Por fim, o autor compilou dentro de um banco de dados de um Sistema de Informação Geográfica os dados 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.

A partir do exposto, o presente estudo utilizará da metodologia proposta por Martins (2012) para elaborar um Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo dos parâmetros físicos da área de estudo, além de buscar acrescentar outras informações que possam ser relevantes à análise de sensibilidade ambiental ao óleo para ambientes terrestres. Ressalva-se 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.

3.4 Óleo e Hidrocarbonetos em Ambientes Terrestres

Segundo Viana (2009), os contaminantes provenientes do petróleo quando em contato com o solo, podem ser adsorvidos, transportados pelo vento ou pelas águas pluviais, lixiviados pelas águas de infiltração e/ou podem atingir as águas subterrâneas.

Em regiões com presença de solos impermeáveis, o contaminante irá fluir seguindo a declividade do terreno, podendo atingir drenagens e cursos d'água, além disso, pode formar poças e penetrar locais fraturados (MARTINS, 2012).

Em caso de regiões com solos não impermeáveis, o óleo irá mover-se em direção ao subsolo, pela influência da gravidade e pelos processos de capilaridade (MARTINS, 2012).

De acordo com Guiguer (2000) os processos de capilaridade referem-se às forças que influenciam o movimento dos hidrocarbonetos, em fase líquida, pelos poros do solo. Estas

forças são influenciadas pelas características do solo, propriedades físicas e químicas do poluente em fase líquida e pela quantidade de água e poluente em fase líquida derramado.

O comportamento do solo com possíveis contaminantes está diretamente relacionado com a capacidade de troca de cátions (CTC), ou seja, a quantidade de cátions que um solo é capaz de reter por unidade de peso (TEDESCO et al., 1992). Os solos arenosos apresentam menor CTC, em comparação aos solos com maiores teores de argila, desta forma, os solos arenosos possuem menor capacidade de adsorção (PICARELLI, 2003). Além disso, o teor e tipo de matéria orgânica presente no solo deve ser considerado, pois este irá determinar a adsorção dos compostos. A biota presente também apresenta grande importância, principalmente em relação à contaminação por hidrocarbonetos, visto que, a energia para o crescimento microbiano é obtida através da decomposição enzimática dos compostos orgânicos e da oxidação de compostos inorgânicos e metais (ALEXANDER, 1977).

3.4.1 Comportamento do óleo em subsuperfície

De acordo com Guiguer (2000), o transporte de hidrocarbonetos em solos permeáveis caracteriza-se pela formação de quatro fases distintas que regulam os processos de migração do contaminante, são elas: fase líquida residual, fase líquida livre, fase dissolvida e fase vapor.

A fase líquida residual caracteriza-se pelos resíduos líquidos relativamente imóveis que podem ser adsorvidos ou retidos entre os sólidos do solo. Já a fase líquida livre corresponde ao líquido livre não residual que passa pelo solo. Este, quando atinge o nível d'água subterrâneo, passa a flutuar sobre ele (GUIGUER, 2000).

A fase dissolvida refere-se aos hidrocarbonetos dissolvidos que podem estar presentes na superfície sólida do solo, formando películas, ou na água do solo. Em casos em que atinge o nível d'água subterrâneo, podem formar uma pluma de contaminação. Por fim, a fase de vapor, caracteriza-se pelos hidrocarbonetos em vaporização que podem existir como componentes do vapor do solo e também podem se condensar e adsorver-se na superfície sólida ou dissolver-se na água do solo (GUIGUER, 2000).

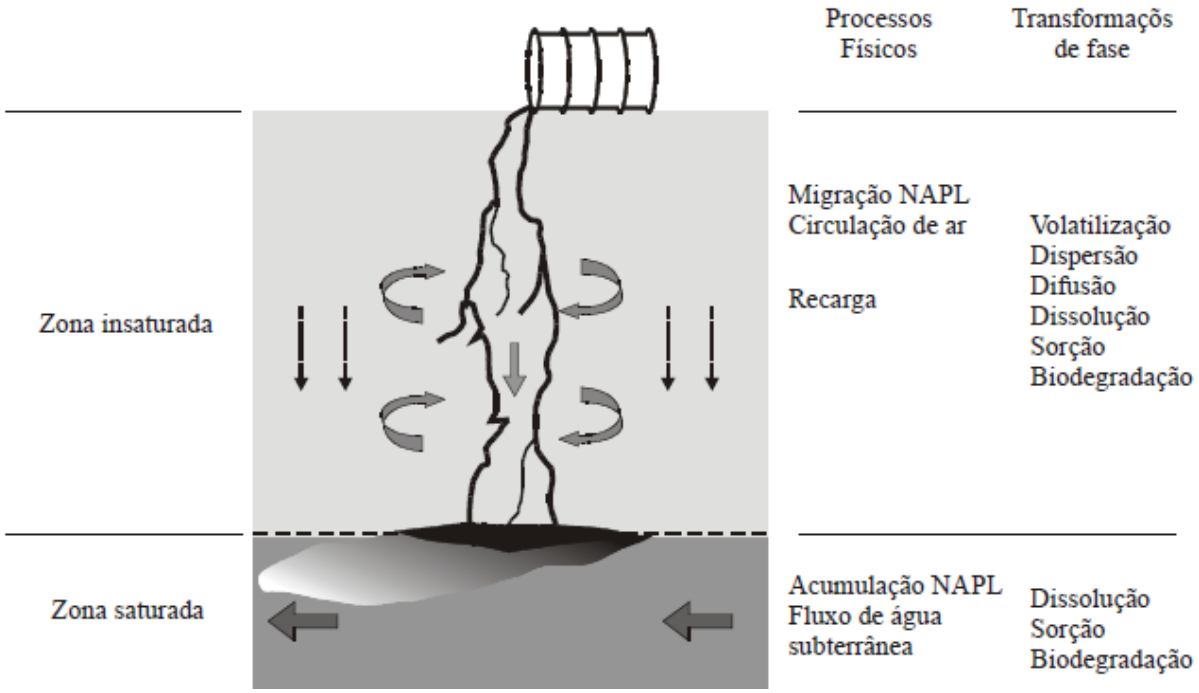
Segundo Guiguer (2000), o escoamento em meio saturado será sempre bifásico, ou seja, apresentará uma fase separada denominada "fase líquida não aquosa" ou NAPL (*non-aqueous phase liquid)*, isto ocorre devido aos compostos orgânicos possuírem baixa miscibilidade em água.

O escoamento em subsuperfície também será influenciado pelo tipo de hidrocarboneto contaminante. Os NAPLs podem ser subdivididos em duas classes, o LNAPL (*light non-*

aqueous phase liquids) caracterizado por ser mais leve que a água, e o DNAPL (*dense non-aqueoys phase liquids*) com densidade maior que a água. De acordo com Coduto (1998) os hidrocarbonetos presentes em combustíveis como gasolina, querosene e diesel classificam-se como LNAPL.

A Figura 13 ilustra o comportamento do contaminante quando em contato com o solo.

Figura 13: Modelo de transporte de NAPLs no solo.



Fonte: (Day, 2001)

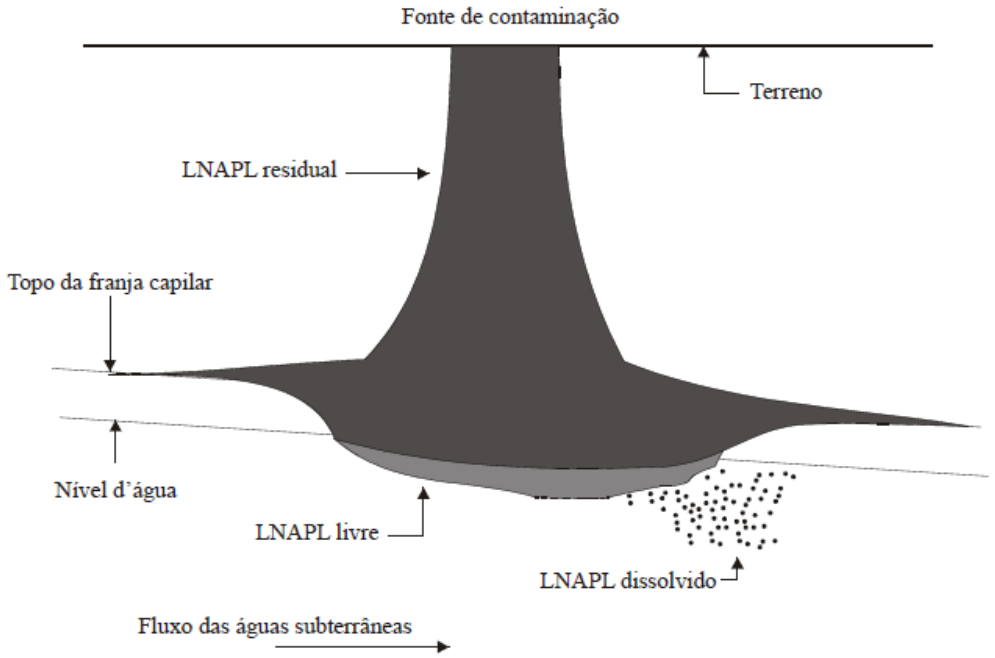
3.4.1.1 LNAPL

Em casos de vazamento de LNAPL, o contaminante ficará retido à zona não saturada até atingir o grau de saturação residual (FERREIRA e ZUQUETTE, 1998). O estado de saturação residual corresponde à dissolução dos componentes solúveis do LNAPL, tais como o benzeno, o tolueno e os xilenos, pelas águas de infiltração. Estes contaminantes dissolvidos serão lixiviados até a zona saturada, formando ali uma pluma que se distribui por difusão e advecção.

De acordo com Ferreira e Zuquette (1998), os componentes voláteis do LNAPL irão se particionar, desta forma o gás sofre partição de modo que uma parte fica retida no solo e outra no ar, estes podem ser transportados por difusão molecular, a outras partes do aquífero, podendo atingir áreas muito extensas, através de ciclos de volatização, transporte e liquefação

(FERREIRA e ZUQUETTE, 1998). A Figura 14 apresenta a dinâmica de espalhamento de LNAPL no subsolo.

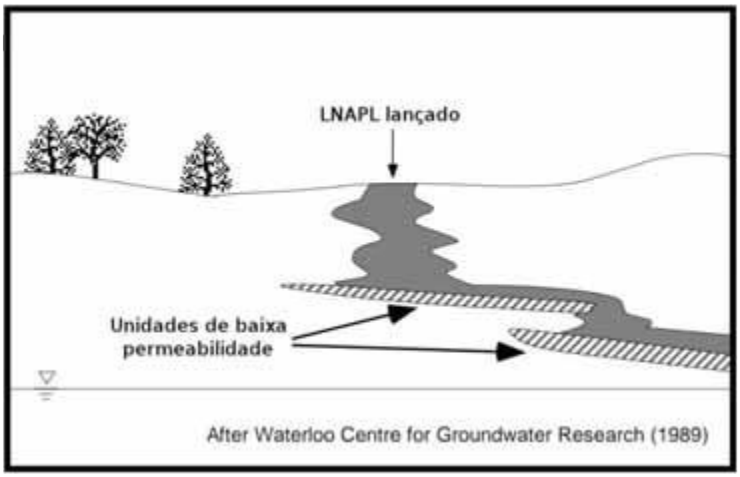
Figura 14: Transporte de LNAPL no subsolo.



Fonte: (NANNI, 2003)

Em situações de vazamento de um grande volume de LNAPL, este irá migrar até encontrar uma barreira física ou será afetado por forças de empuxo presentes próximas ao lençol freático (MARTINS, 2012). Em solos heterogêneos, o transporte pode ser complexo, migrando lateralmente a partir de vias mais permeáveis. O óleo também pode acumular-se e migrar ao longo de camadas de baixa permeabilidade acima do lençol freático (NEWELL et al., 1995). A Figura 15 apresenta o comportamento de um grande volume de LNAPL no solo.

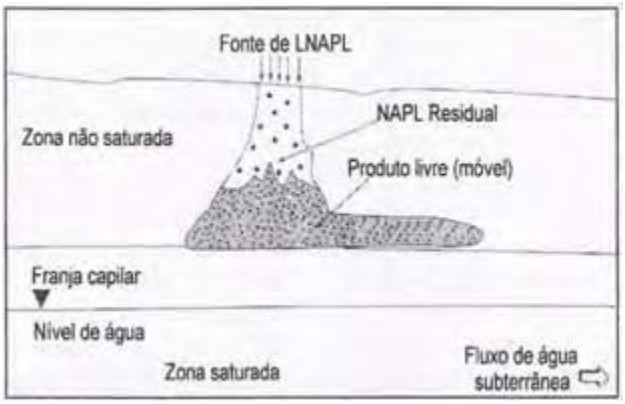
Figura 15: Processo de infiltração de LNAPL no solo.



Fonte: NEWELL et al. (1995)

Os componentes do LNAPL perdem sua permeabilidade relativa chegando ao topo da franja capilar, pois neste local a água satura um grande volume de poros. Desta forma, ocorre o impedimento do movimento descendente do contaminante, que se acumula, fluindo na mesma direção da água subterrânea. Por apresentarem baixa densidade, os LNAPLs flutuam próximo ao nível d'água subsuperficial, na zona de capilaridade (FERREIRA e ZUQUETTE, 1998). A Figura 16 ilustra este comportamento.

Figura 16: Comportamento no LNAPL em subsuperfície.

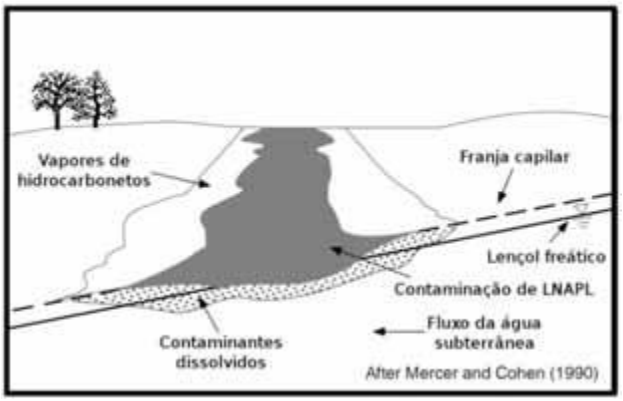


Fonte: USEPA (1991, apud FERREIRA e ZUQUETTE, 1998).

Mariano (2007) ressalva que, os grandes derrames de hidrocarbonetos geram um fornecimento contínuo para a zona não saturada, gerando uma condutividade hidráulica progressiva e contínua, formando uma depressão na zona saturada. No momento em que o derrame é interrompido, com a remoção ou esgotamento da fonte de contaminação, os

hidrocarbonetos continuam a migrar para os níveis mais profundos, até atingir o nível de saturação residual, não podendo mais avançar. Entretanto, se a contaminação prosseguir, o contaminante irá mover-se para os níveis mais profundos, recarregando a depressão localizada sobre o nível da água subsuperficial, gerando um maior espalhamento lateral sobre a franja capilar (Figura 17).

Figura 17: Movimentação de LNAPL para outras direções devido ao gradiente hidráulico de LNAPL.



Fonte: (NEWELL et al)

3.4.1.2 DNAPL

O DNAPL apresenta dinâmica de movimentação semelhante ao LNAPL na zona não saturada, representada na Figura 14.

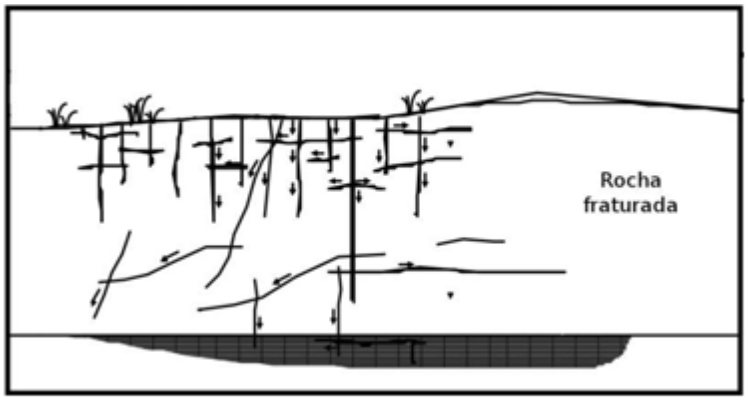
Em situações envolvendo características de alta densidade, baixa viscosidade e solubilidade baixa inerente aos DNAPLs, ocorre uma grande mobilidade do contaminante, ocasionando uma infiltração até a zona saturada. Segundo Ferreira e Zuquete (1998) o DNAPL pode particionar-se para a fase de vapor denso, infiltrando até a zona de capilaridade, isto também poderá gerar a migração desse vapor dissolvido em água por uma grande extensão de solo.

Ainda segundo Ferreira e Zuquette (1998) em presença de volumes muito elevados de DNAPL, superiores ao nível de saturação residual, ocorre infiltração, atravessando a franja capilar e atingindo a zona saturada. O fluxo de contaminante ocorrerá até a condição de saturação residual ser alcançado, formando um sistema trifásico composto por DNAPL, água e sólidos. A partir disso, os componentes solúveis em água irão migrar com o fluxo de água, podendo atingir diversos locais.

3.4.2 Comportamento do óleo em substrato rochoso

Em relação à contaminação diretamente em rochas, o processo de deslocamento de contaminante irá depender de características da rocha, como a densidade de fraturas, orientação e distribuição de aberturas (NEWELL et al., 1995). A Figura 18 apresenta a migração do óleo em rochas fraturadas.

Figura 18: Processo de migração de óleo em um substrato rochoso fraturado.



Fonte: MARTINS (2012)

Portanto, em casos de contaminação tanto por LNAPL ou por DNAPL, a movimentação de ambos no substrato rochoso será determinada pelas características inerentes da rocha atingida. Segundo Mackay e Cherry (1989) a capacidade de retenção da rocha apresenta-se muito baixa, portanto, o óleo poderá atingir regiões profundas muito rapidamente, independente do volume de contaminante derramado. Em situações de substrato rochoso impermeável e sem fraturas, o óleo migrará por gravidade para áreas mais baixas, acumulando-se e formando poças.

3.5 Compartimentação Fisiográfica e a Sensibilidade Ambiental ao Óleo

Segundo o MMA (2004), um Índice de Sensibilidade Ambiental é definido de acordo com as características geomorfológicas dos ambientes, considerando a permanência natural do óleo e sua limpeza.

De acordo com Martins (2012), a composição de um Índice de Sensibilidade Ambiental para o modal Rodoviário deve ser realizada através da identificação de segmentos de interesse que apresentam características homogêneas e são representadas linearmente, seguindo a lógica da classificação em termos de sensibilidade ambiental das características geomorfológicas do litoral, proposta pelo MMA.

Portanto, para a determinação de áreas com características homogêneas foi utilizada a técnica de Compartimentação Fisiográfica.

A Compartimentação Fisiográfica "consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das de áreas adjacentes." (VEDOVELLO, 2000). A compartimentação é realizada com a determinação de classes em diversas escalas.

De acordo com Vedovello (2000), a compartimentação fisiográfica apresenta uma classificação hierárquica entre as classes de unidades, subdivididas em Taxonomia e Hierarquia. A Taxonomia consiste na classificação feita a partir de uma relação natural específica, como por exemplo, de natureza genética, e a Hierarquia corresponde à classificação baseada na escala e na finalidade do estudo.

Para a realização da compartimentação é realizada uma análise dos elementos componentes do meio físico (geológicos, geomorfológicos, pedológicos.) e a identificação de aspectos locais desses elementos, isto é, as suas formas de ocorrência (VEDOVELLO, 2000). Ainda segundo o autor, a análise da forma de ocorrência dos elementos componentes do meio físico segue o nível taxonômico e/ou hierárquico considerado. Desta forma, para os elementos geológicos, por exemplo, pode-se considerar a litologia, em uma escala mais detalhada, ou o grupo geológico, em escala mais geral (VEDOVELLO, 2000).

Segundo Vedovello (2000), dependendo do nível hierárquico ou taxonômico da compartimentação fisiográfica considerada, ocorrerá o predomínio de determinados elementos fisiográficos em detrimento de outros, como critério ou fator de compartimentação. De acordo com Maretti (1989 apud VEDOVELLO, 2000) a proposta de compartimentação fisiográfica parte do princípio de que existe uma correlação natural entre os elementos constituintes do meio físico, portanto a seleção de um ou vários elementos serve para identificar unidades com associações especificas das formas de ocorrência dos vários elementos fisiográficos.

Dentro desse contexto, segundo Vedovello (2000) o uso do sensoriamento remoto na compartimentação fisiográfica dos terrenos apresenta grande potencial, pois os produtos de sensores remotos constituem-se em "objetos" concretos, que apresentam a organização espacial do meio físico, sobre os quais é possível traçar limites.

4. Material e Métodos

4.1 Material

4.1.1 Base Cartográfica

Para a realização do presente estudo foi desenvolvida uma base cartográfica composta por recortes do mosaico de imagens ortorretificadas SPOT, denominada SPOTMap. Este mosaico foi obtido através da sobreposição de imagens do satélite SPOT 5, coloridas, com 2,5 m de resolução espacial, compatíveis com a escala 1:10.000.

As imagens foram cedidas pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA) da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, em formato GeoTiff, composição colorida RGB, datadas dentro do intervalo de anos de 2007 e 2010. O recorte segue a articulação 1:25:000 do IBGE com datum SIRGAS 2000 e Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM).

Além disso, foram utilizadas as folhas topográficas na escala 1:10.000 do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, obtidas através do Instituto Geológico do Sistema Ambiental Paulista de São Paulo (1979). Estas folhas foram georreferenciadas e vetorizadas no *software* ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015), onde também foi realizada a mudança de DATUM de Córrego Alegre para WGS 1984. O Quadro 7 apresenta as respectivas cartas topográficas utilizadas.

Quadro 7: Folhas Topográficas utilizadas para compor a base cartográfica da área de estudo.

Código "XY"	Nome da Folha	Código da Folha
67-94	Ribeirão do Pinhal	SF-23-Y-A-V-1-NE-A
67-93	Limeira I	SF-23-Y-A-V-1-NO-8
67-92	Fazenda Ibicaba	SF-23-Y-A-V-I-NO-A
66-94	Usina São Jerônimo	SF-23-Y-A-II-3-SE-E
66-93	Bairro do Cascalho	SF-23-Y-A-II-3-SO-F
66-92	Cordeirópolis	6F-23-Y-A-II-3-SO-E
66-91	Santa Gertrudes II	SF-23-Y-A-I-4-SE-F
66-90	Bairro da Assistência	SF-23-Y-A-I-4-SE-E
65-92	Bairro do Barro Preto	SF-23-Y-A-II-3-SO-C
65-91	Santa Gertrudes I	SF-23-Y-A-I-4-SE-D
65-90	Rio Claro III	SF-23-Y-A-I-4-SE-C
64-91	Rio Claro II	SF-23-Y-A-I-4-SE-B
64-90	Rio Claro I	SF-23-Y-A-I-4-SE-A
64-89	Bairro da Cabeça	SF-23-Y-A-I-4-SO-B
63-90	Ribeirão do Jacutinga	SF-23-Y-A-I-4-NE-E
63-89	Horto Florestal de Camaquã	SF-23-Y-A-I-4-NO-F
62-90	Bairro Sant'ana do Urucaia	SF-23-Y-A-I-4-NE-C
62-89	Bairro Boa Vista	SF-23-Y-A-I-4-NO-D
62-88	Bairro Itapé	SF-23-Y-A-I-4-NO-C
61-89	Fazenda Sant'ana de Baixo	SF-23-Y-A-I-4-NO-B
61-88	Córrego Sant'ana	SF-23-Y-A-I-4-NO-A
60-89	Corumbataí I	SF-23-Y-A-I-2-SO-F
60-88	Fazenda da Toca	SF-23-Y-A-I-S-SO-E

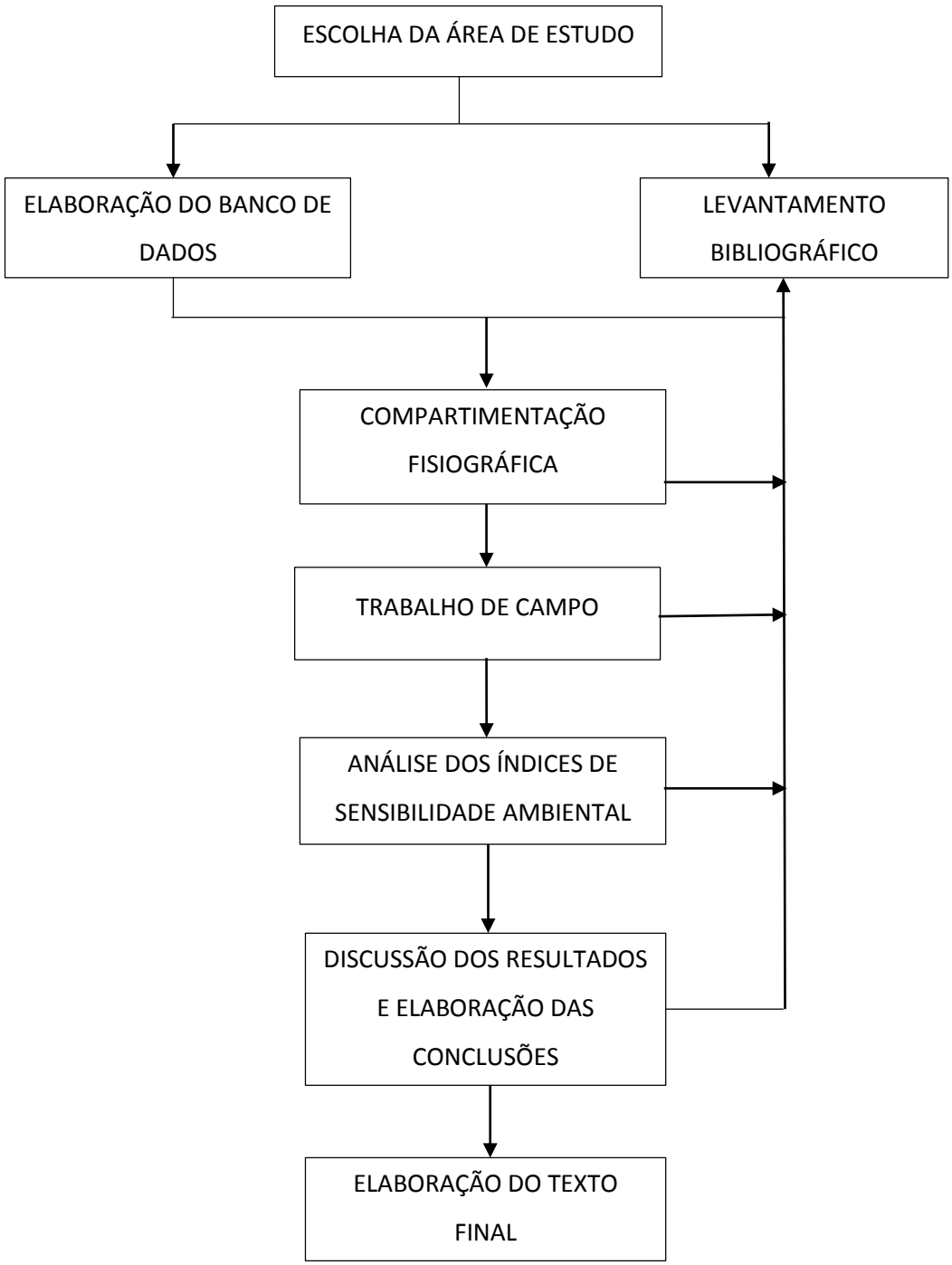
Elaborado pela autora

As informações sobre as rodovias e as características físicas da área de estudo foram obtidas em formato *shapefile* através de bases virtuais, como a Base Territorial Ambiental Unificada na Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo (DataGEO) desenvolvido pelo Sistema Ambiental Paulista. Também foram utilizadas informações sobre poços de água, fornecidas pelo Relatório de outorga do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (2016).

4.2 Métodos

O presente trabalho estrutura-se em 8 etapas, apresentadas no fluxograma da Figura 19.

Figura 19: Fluxograma das etapas do trabalho.



4.2.1. Etapa 1: Escolha da Área de Estudo

A determinação da área de estudo baseou-se principalmente nas características físicas intrínsecas da região, além de aspectos relacionados à produção de derivados de petróleo, ampla utilização de rodovias como principal meio de transporte e ocorrências de emergências químicas envolvendo produtos perigosos.

A rodovia Washington Luís (SP-310) ocupou a quarta posição no ranking de rodovias com acidentes envolvendo emergências químicas no ano de 2015. Além disso, o trecho escolhido como área de estudo perpassa regiões com diferentes características físicas, com certa variação litológica, pedológica e geomorfológica, apresentando assim uma área com diversidade em relação aos parâmetros físicos.

Optou-se por determinar a área de estudo seguindo a metodologia proposta pelo Programa de Gerenciamento de Riscos para Administradores de Rodovias para o Transporte de Produtos Perigosos – PGR Rodovias desenvolvido pela CETESB (2013) que determina para a identificação de elementos ambientais vulneráveis na área de abrangência da rodovia uma área de influência de 300 metros a partir dos bordos da pista. Entretanto, devido à escala da presente pesquisa, optou-se por aumentar a área para 2.5 quilômetros.

Utilizando o *software* ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015) adicionou-se o *shapefile* "Rodovias" e determinou-se na Rodovia Washington Luís (SP-310) o início da área de estudo aproximadamente no quilômetro 153, e o final da área aproximadamente no quilômetro 200, totalizando 47 km de extensão. A partir disso, através da ferramenta *Buffer* criou-se o polígono da área de estudo com 2,5 km de distância a partir das margens da rodovia, totalizando 5 km de largura dentro da área de estudo.

4.2.2 Etapa 2: Levantamento bibliográfico

Para a elaboração do presente estudo, com o objetivo de aprofundar os conhecimentos, corroborar e elaborar o embasamento teórico da pesquisa realizou-se levantamentos bibliográficos em acervos analógicos, como a biblioteca da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), bem como em acervos digitais nacionais e internacionais.

A pesquisa bibliográfica desenvolveu-se a partir de intensa busca com auxílio da internet, às principais bibliotecas nacionais e internacionais. Foram realizadas buscas utilizando o *web browser* Google e Google Scholar; Catedra, que consiste em uma biblioteca digital de teses e dissertações; e o Portal de Periódicos Capes, onde apresentam-se publicações científicas das principais universidades do mundo.

O método para a realização das pesquisas consistiu em buscas simples, avançada e booleana. A pesquisa booleana consiste em uma forma de busca que relaciona palavras por meio de uma equação, desta forma utiliza termos como E (*AND*) para intersecção, onde é possível pesquisar documentos que contenham o termo exato; OU (*OR*) para união, em que as pesquisas contenham cada termo ou os dois termos no mesmo documento; e NÃO (*NOT*) para exclusão, possibilitando pesquisar um único termo, excluindo o segundo (UNESP, 2016).

Portanto, a fim de fundamentar teoricamente as discussões da presente pesquisa o levantamento bibliográfico buscou abarcar assuntos e conceitos referentes à sensibilidade ambiental ao óleo; compartimentação fisiográfica; transporte de petróleo e derivados, principalmente no modal rodoviário; acidentes envolvendo esses produtos; instrumentos legais relacionados à poluição por óleo e derivados de petróleo, com as possíveis ações de proteção e preservação ambiental, principalmente para o modal rodoviário; Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO), como subsídio aos planos de contingência para a determinação de prioridades de proteção e estratégias de limpeza de uma área contaminada por óleo e derivados de petróleo; evolução do mapeamento de sensibilidade ambiental ao óleo no Brasil e no mundo; e parâmetros físicos de ambientes terrestres adjacentes a rodovias e seu possível comportamento em relação a um derrame de óleo e derivados de petróleo.

4.2.3 Etapa 3: Elaboração do banco de dados

A elaboração de um banco de dados teve o intuito de organizar todas as informações, bem como os dados referentes ao levantamento cartográfico realizado.

As informações foram armazenadas no *software* ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015) e organizadas em um banco de dados utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Neste *software*, através da ferramenta *Table Of Contents* foi possível visualizar diversas informações como a Litologia, Geomorfologia, Pedologia e Hidrografia, sobrepondo-as em camadas sob a imagem orbital.

Para a elaboração do banco, diversas atividades foram desenvolvidas, são elas: seleção da escala adequada para a realização das análises; digitalização da base topográfica e hidrográfica da região; extração de fraturas presentes na área de estudo; e mapa de profundidade do nível d'água.

4.2.3.1 Escolha da Escala de Trabalho

De acordo com Martins (2012), consideram-se as rodovias como regiões com dispersão de óleo horizontal, relativamente restrita e com tipologia de descargas de pequeno e médio volume, portanto o mapeamento de sensibilidade ambiental ao óleo desses locais enquadra-se no nível operacional, cuja escala cartográfica exigida é a de detalhe, que pode variar entre 1:10.000 a 1:50.000 (MMA, 2004). Optou-se por utilizar a escala 1:25.000 devido à dependência e disponibilidade de dados secundários, como a imagem SPOTMaps e informações sobre as características físicas da área.

4.2.3.2 Digitalização da base topográfica da região e elaboração do Modelo Numérico de Terreno, Mapas de Declividade e Hipsométrico

Para a elaboração da base topográfica da área de estudo foram utilizadas as folhas topográficas apresentadas no Quadro 8. Estas folhas foram georreferenciadas e articuladas para a realização da vetorização das curvas de nível, que foram digitalizadas de 5 em 5 metros através do *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 hipsómetrico e de declividade.

Os mapas hipsométrico e declividade foram elaborados com o objetivo de auxiliar as etapas de fotointerpretação, contextualização da área e análise da sensibilidade ambiental ao óleo.

Os mapas de declividade e hipsométrico foram desenvolvidos através do *software* ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015). Utilizando-se 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* e a partir deste arquivo foi possível desenvolver os mapas hipsómetrico e de declividade.

O mapa hipsométrico apresenta a área de estudo subdividida em nove classes, em intervalos de 40 metros, definidas a partir da cota de cada curva em relação ao nível do mar. Foi observada uma ampla variação topográfica na área, com valores variando de 470 a 890.

O mapa de declividade foi subdividido em seis classes, em intervalos definidos pela associação entre a inclinação do terreno e a sensibilidade ambiental ao óleo, como o deslocamento horizontal ou vertical do poluente nos terrenos, delimitando as classes com intervalos de 3%. As áreas de maior declive apresentaram-se na região das *cuestas*, com valores próximos de 40%. No restante da área o relevo é pouco acidentado, com intervalos de 0 a 16%.

Os mapas hipsométrico e de declividade apresentam-se no Apêndice I no presente trabalho.

Para a digitalização da rede hidrográfica também foram utilizadas as folhas topográficas georreferenciadas apresentadas anteriormente no Quadro7.

4.2.3.3 Extração 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, com substrato na maior parte sedimentar, o deslocamento do contaminante pode se dar tanto pelos poros do material quanto pelas fraturas da rocha.

De acordo com Soares e Fiori (1978) as fraturas são identificadas nas imagens através dos traços de fratura ou lineações de drenagem retilíneas. Assim, as fraturas foram identificadas na área de estudo e a extração das feições foi realizada no *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 realizado um diagrama de rosáceas no *software* Spring, a fim de determinar as principais direções destas estruturas na área de estudo.

4.2.3.5 Mapa de Profundidade de Nível d'água

A localização dos poços de água da área de estudo foi realizada para determinar a profundidade do nível d'água da região, característica importante em relação à sensibilidade ambiental ao óleo, devido à possibilidade do contaminante atingir o nível freático mais rapidamente. 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, fornecidas 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 transferidos ao ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015).

Foram mapeados 81 poços na área de estudo. A quantidade de poços localizadas na região, é apresentada no Quadro 8.

Quadro 8: Número de poços d'água presente nos municípios da área de estudo.

Município	Número de Poços
Rio Claro	31
Santa Gertrudes	25
Cordeirópolis	20
Corumbataí	2
Limeira	2
Itirapina	1

Dados da pesquisa

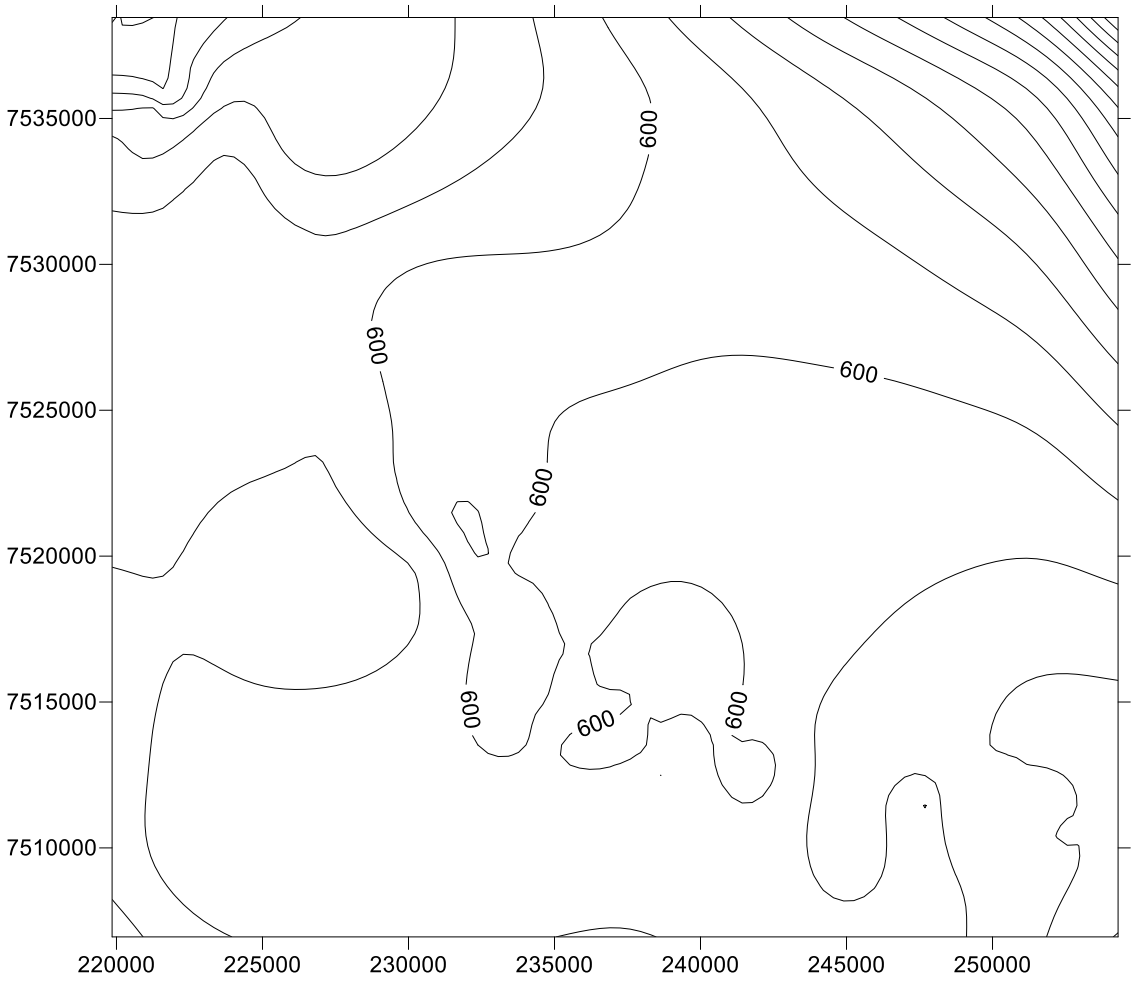
Nos locais em que não foram encontradas informações referentes aos poços d'água foram extraídas as cotas altimétricas das nascentes dos rios presentes na área, pois estes são considerados como afloramentos do lençol freático, portanto a cota altimétrica pode ser usada para representar a profundidade dessas nascentes.

Em posse dessas informações, através do software Surfer 10.2 (GOLDEN SOFTWARE Inc, 2011) foi realizada a interpolação dos dados e a obtenção da camada correspondente ao topo do lençol freático da área de estudo. O método de interpolação utilizado foi o de Curvatura Mínima. Este método consiste em utilizar grades regulares e triangulares, que representam a superfície através das informações de coordenadas X e Y, e a partir disso determinar o valor Z. 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).

A partir dessas informações elaborou-se uma tabela no programa Excel contendo as coordenadas X, Y e o valor de Z, representando a profundidade do nível d'água. A partir dessa tabela, utilizando o software Surfer 10.2 (GOLDEN SOFTWARE Inc, 2011) foi confeccionada uma malha regular. Essa malha foi inserida no software ArcGIS 10.2.2 (ESRI), e subtraída da malha topográfica. A diferença entre as duas malhas resultou em uma malha que representa a profundidade do nível d'água.

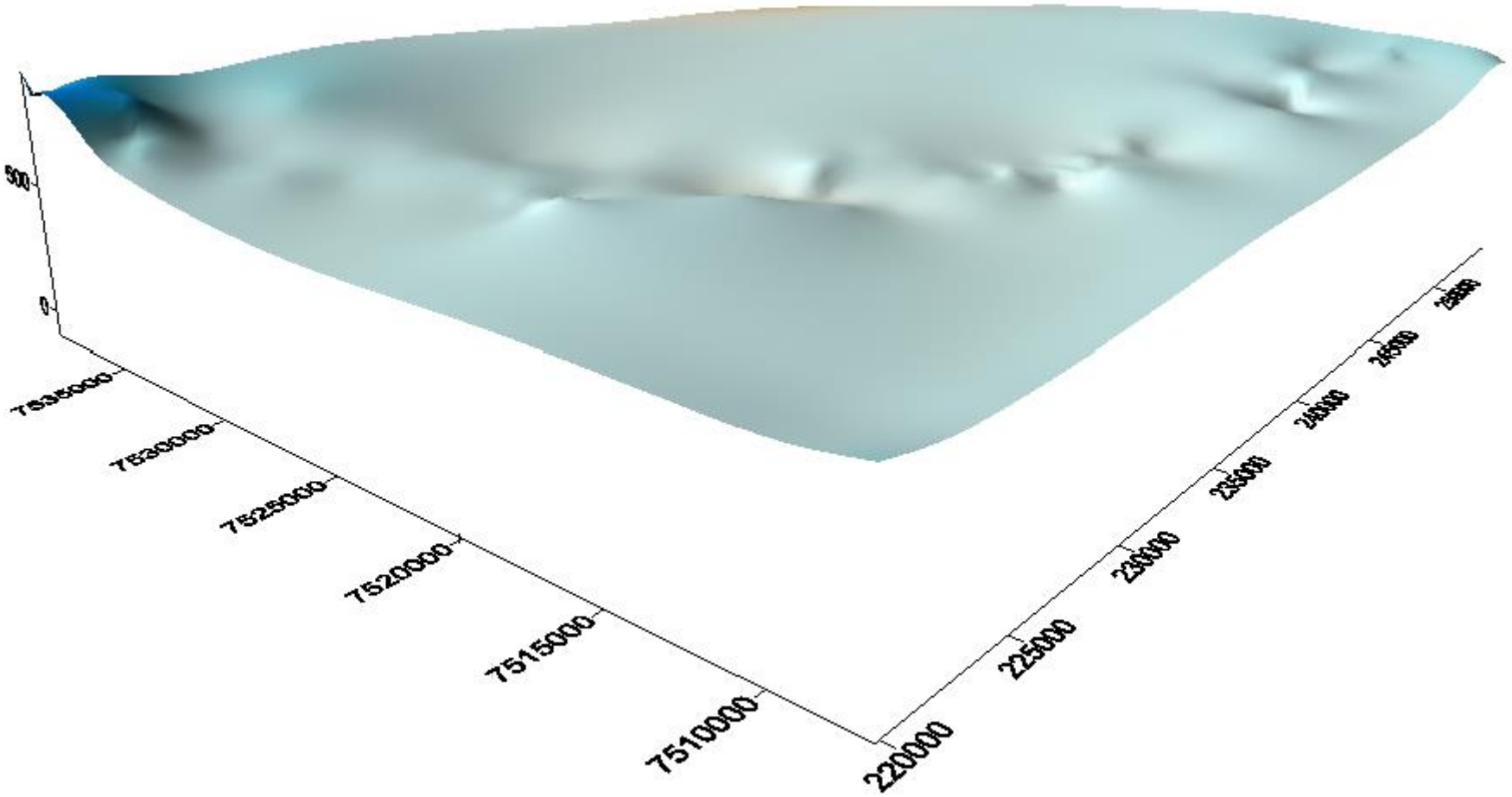
A Figura 20 apresenta a grade representativa do topo do lençol freático da área e a Figura 21 apresenta a grade em visualização 3D

Figura 20: Grade de coordenadas referente ao topo do lençol freático da área de estudo.



Dados da pesquisa

Figura 21: Topo do lençol freático da área de estudo em visualização 3D.



Dados da pesquisa

4.2.4 Etapa 4: Compartimentação Fisiográfica

Inicialmente utilizou-se das características litológicas, geomorfológicas e pedológicas intrínsecas da região para determinação de áreas homogêneas. Utilizou-se os mapeamentos realizados nos trabalhos de Peixoto (2010), IPT (1981a) e EMBRAPA (1999), em formato shapefile obtidas através das plataformas online Geobank (CPRM, 2013) e DataGeo (SMA, 2016).

Após a determinação das unidades de compartimentação utilizando as características físicas da área, optou-se pela realização de um detalhamento da mesma devido a escala dos materiais utilizados como base apresentarem-se em baixo detalhe.

Assim, foi realizado um detalhamento utilizando-se da metodologia proposta por Zaine (2011). Segundo o autor, são utilizados métodos fotointerpretativos em imagens orbitais para análise de propriedades dos ambientes. Para a análise das propriedades é necessária a identificação e caracterização de critérios de drenagem, relevo e geologia, além de características da imagem utilizada, como tons de cinza e coloração.

Os critérios de análise e interpretação fotogeológica proposto pelo autor apresentam-se no quadro de análise e interpretação fotogeológica localizados no Apêndice II no presente trabalho. O Quadro 9 apresenta os parâmetros escolhidos para a realização do detalhamento da compartimentação.

Quadro 9: Síntese dos critérios adotados na compartimentação do relevo e propriedades analisadas.

ANÁLISE	CRITÉRIOS DE ANALISE	PROPRIEDADE ANALISADA
Densidade Textural	Densidade dos elementos de drenagem	Permeabilidade
Formas e Características do Relevo	Amplitude	Solubilidade Resistência à erosão natural
	Declividade	
	Forma de Encosta	
	Forma de Topo	

Elaborado pela autora.

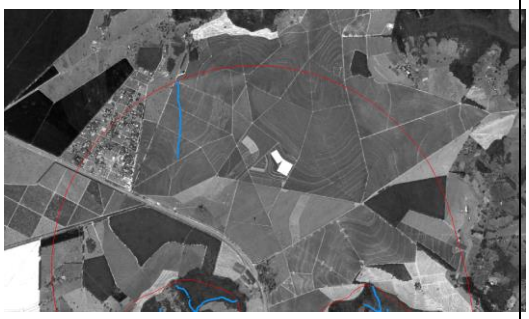
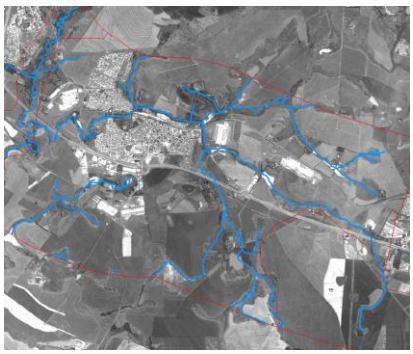
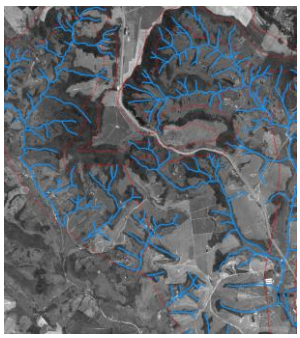
Ressalva-se que a escolha dos critérios utilizados para a análise fisiográfica da área foi determinada de acordo com a sua relevância em relação à sensibilidade ambiental ao óleo. A partir da determinação dos critérios de análise, foi realizada a identificação das zonas homólogas da área de estudo de forma manual, com base nos elementos texturais e estruturais da drenagem e do relevo, utilizando-se das imagens SPOT e mapas de declividade e hipsométrico.

Para a identificação dos critérios de análise relacionados a densidade dos elementos de drenagem foi utilizada a extração de drenagens realizada nas folhas topográficas 1:10.000 da área apresentadas no Quadro 7.

De acordo com Soares e Fiori (1978) a identificação da rede de drenagem fornece informações importantes sobre a estrutura geológica da área, além de variações no estilo estrutural e nas fácies litológicas.

O Quadro 10 apresenta trechos da área de estudo que apresentam as classes de drenagem observadas.

Quadro 10: Recortes da imagem SPOT com as drenagens presentes na área de estudo comparadas as classificações de densidade de drenagem propostas por Zaine (2011).

Classificação segundo Zaine (2011)		
Baixa (0 a 5/10 km²) 	Média (5 a 30/10 km²) 	Alta (> 30/ km²) 
Recortes da imagem SPOT da área de estudo		
		

Dados da pesquisa.

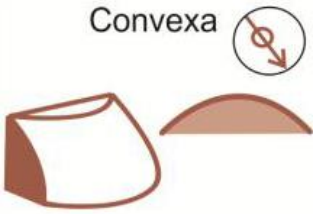
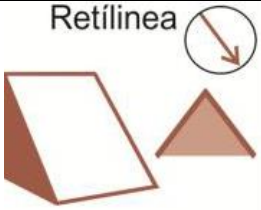
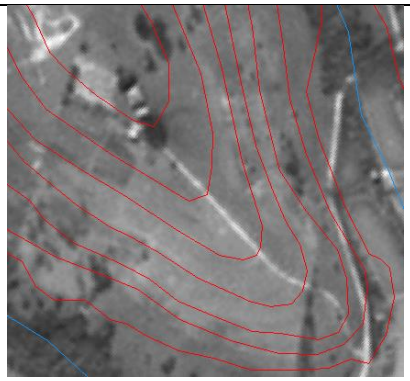
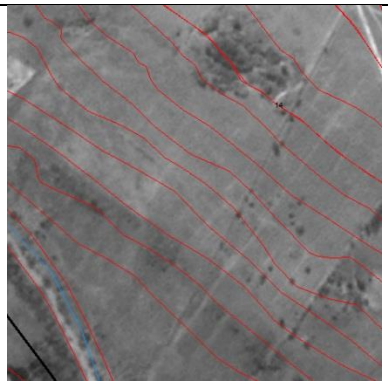
Segundo Soares e Fiori (1978) a análise da Forma do Relevo é realizada através da identificação de rupturas de declive, que definem as variações do relevo na superfície, permitindo a identificação de diferentes zonas homólogas e determinando propriedades distintas das rochas.

Os critérios de análise Amplitude e Declividade foram obtidos através da análise dos mapas hipsómetrico e de declividade da área de estudo, seguindo a classificação proposta por Zaine (2011). Desta forma, para a determinação das zonas homólogas foram estabelecidos os seguintes intervalos de classes de declividade: baixa (0 - 15%); média (15 – 30%); e alta (acima de 30%). Para a amplitude foram estabelecidos os intervalos de: pequena (0 a 100 m); média (100 a 300 m); e grande (acima de 300 m).

Em relação às formas de encosta, formas de vale e formas de topo, estes parâmetros foram identificados com o auxílio dos mapas hipsométrico e de declividade, além de identificação de forma manual, através da imagem SPOT e das curvas de nível.

As formas de encosta foram determinadas através de observação das curvas de nível. O Quadro 11 apresenta recortes da área de estudo com as curvas de nível representativas, comparadas a classificação proposta por Zaine (2011).

Quadro 11: Recortes da área de estudo com as curvas de nível representativas de cada classe proposta por Zaine (2011).

Classificação segundo Zaine (2011)	
	
Recortes da imagem orbital da área de estudo	
	

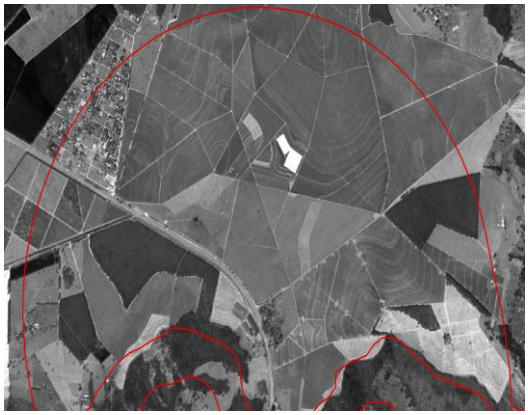
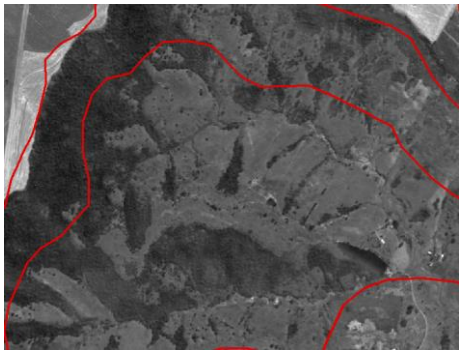
Dados da pesquisa.

No Quadro 11 observam-se as curvas de nível, em coloração vermelha, em formato convexo e retilíneo, comparadas a classificação proposta por Zaine (2011) para formas de encosta. As linhas em azul representam as drenagens.

As formas de vale foram determinadas de acordo com observações da imagem orbital e análise da forma das curvas de nível. Na área de estudo observou-se a presença de vales abertos, com apenas alguns pontos de vales fechados, que não apresentam grande relevância para a análise de sensibilidade ambiental. As feições vales abertos foram identificadas pela presença de amplas planícies de inundação, e pelo formato das curvas de nível próximo as drenagens.

Na área de estudo ocorrem formas de topo aplainadas e arredondadas. O Quadro 12 apresenta a classificação elaborada por Zaine (2011) e os recortes da imagem SPOT da região correspondente.

Quadro 12: Recortes da imagem SPOT da área de estudo relacionada à classificação proposta por Zaine (2011) para forma de topos.

Classificação segundo Zaine (2011)	
	
Recortes da imagem SPOT da área de estudo	
	

Dados da pesquisa

A Figura 22 apresenta o mapa com as unidades de compartimentação analisadas na área de estudo.

223000 230000 237000 244000 251000

7534000 7528000 7522000 7516000 7510000

SP 310

SP

Área de Estudo

Figura 22: Unidades de Compartimentação analisadas na Área de Estudo

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

Convenções Cartográficas

Rodovias

Drenagens

Escala do mapeamento: 1:25.000
Escala de representação: 1:25.000

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 Fuso: 23S

0 2 4 8 Km

N

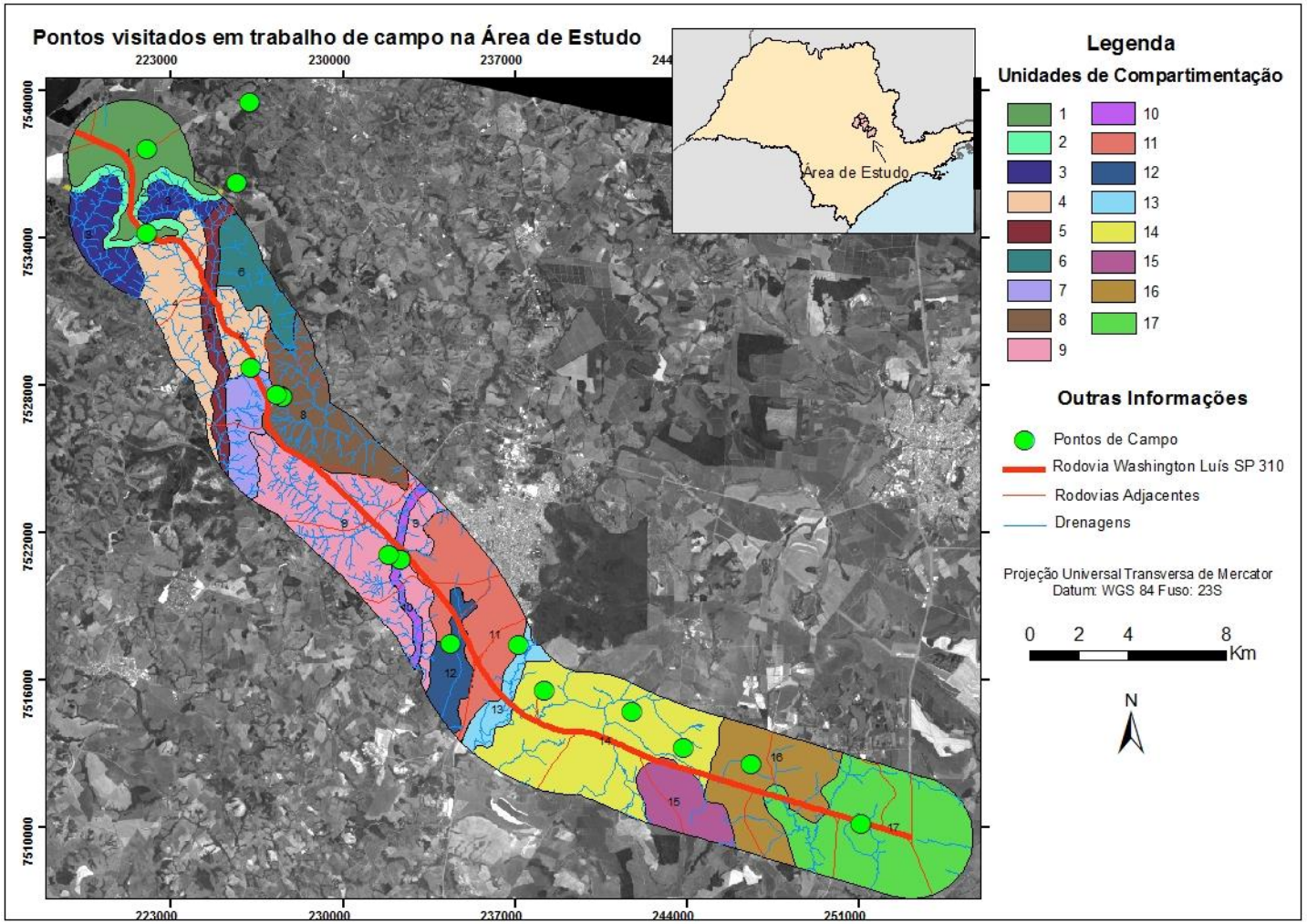
4.2.5 Etapa 5: Trabalho de Campo

De acordo com Florenzano (2002), o trabalho de campo consiste em parte do processo de interpretação de imagem, tornando a interpretação mais confiável, e é indispensável ao mapeamento do meio ambiente por meio de imagens de sensoriamento remoto. Dentro desse contexto foi realizado o trabalho de campo, a fim de corroborar com as caracterizações elaboradas em laboratório; identificar incoerências interpretativas e alterações realizadas no intervalo de tempo entre o imageamento e cobertura atual; obtenção de material fotográfico e realização de trabalhos necessários para o desenvolvimento da análise de sensibilidade ambiental das zonas homólogas.

Foram descritos 14 pontos na área de estudo, em locais que abrangessem as principais características dos compartimentos determinados em laboratório. Os compartimentos em que não foi possível o acesso foi realizada uma análise de comparação e equivalência com os compartimentos visitados em campo. Esta análise parte do princípio que dois compartimentos com as mesmas características fisiográficas recebem a mesma denominação e possuem características ambientais similares. Esta equivalência é amplamente utilizada em estudos de compartimentação e mapeamento, confirmada nos trabalhos de Oliveira et al. (2007), Vedovello (1993, 2000), Vedovello e Mattos (1993) dentre outros.

A Figura 23 apresenta os pontos visitados em trabalho de campo na área de estudo.

Figura 23: Pontos visitados em trabalho de campo na área de estudo.



Dados da pesquisa

4.2.5 Etapa 6: Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo para Rodovias

Após a realização do trabalho de campo e dos ajustes necessários ao mapa de compartimentação fisiográfica da área de estudo, foram realizadas as análises de sensibilidade ambiental ao óleo dos parâmetros físicos relevantes a sensibilidade ambiental ao óleo.

Segundo Martins (2012), o sistema de índices para o modal rodoviário deve ser adaptado seguindo parâmetros condizentes com a constituição ambiental terrestre e a respectiva dinâmica do óleo nesse meio. Portanto, os parâmetros determinados para a construção do índice de sensibilidade ambiental para rodovias são: declividade, textura do material do perfil de alteração, profundidade do perfil de alteração, profundidade do nível d'água (lençol freático) e permeabilidade.

A declividade por já ter sido gerada e classificada como propriedade do relevo para fins de compartimentação fisiográfica, foi reempregada como parâmetro considerando os mesmos intervalos de classe, dessa forma áreas com baixa declividade (0 - 15%) apresentaram alta sensibilidade ambiental; média declividade (15 – 30%) apresentaram sensibilidade intermediária; e declividade alta (acima de 30%) caracterizou-se por baixa declividade. Para a determinação da sensibilidade ambiental das zonas homólogas foi calculado manualmente o valor que ocorre com maior frequência dentro de cada compartimento.

A textura do material do perfil de alteração foi aferida a partir da realização de ensaio para textura de amostras de solo obtidas em expedições de campo. Em cada compartimento foi recolhida uma amostra referente ao horizonte B ou C, dependendo do horizonte exposto em corte no afloramento.

Foram obtidas três classes de textura: argilosa para materiais com predomínio de argila; intermediária para materiais com presença de areia e argila; e arenosa para materiais com predomínio de areia.

O parâmetro profundidade do perfil de alteração representa o valor médio do volume do material inconsolidado da área (VEDOVELLO, 1993). De acordo com Martins (2012) as classes para este parâmetro foram determinadas de acordo com técnicas de combate e dinâmica de percolação de óleo no substrato. Foram determinados os seguintes intervalos: pouco espesso (<1m); espessura intermediária (1m-2m) e muito espesso (>2m). A obtenção dessas classes ocorreu através de medições de espessura do perfil de alteração localizadas em perfis expostos em cortes da rodovia e em estradas próximas.

A profundidade do nível d'água foi obtida estimando-se a espessura da zona insaturada, através da elaboração do mapa de profundidade de nível d'água da área. O procedimento para

a realização do mapa foi descrito anteriormente no item 4.2.3.5 do presente capítulo. As classes para este parâmetro seguiram a proposta de Martins (2012) e foram definidas de acordo com o quantil do número de classes dos dados aferidos. Foram atribuídas as seguintes terminologias: raso para profundidade até 15m; intermediário para NA entre 15 e 45m de profundidade; e profundo quando o NA tiver mais de que 45m.

A variável densidade de drenagem está diretamente relacionada com a permeabilidade. De acordo com Soares e Fiori (1976), a permeabilidade caracteriza-se pela facilidade de percolação de um fluido em um meio poroso, sendo resultado da comunicação entre os espaços intergranulares das rochas ou materiais inconsolidados e pelos espaços produzidos por fraturamentos.

Em áreas sedimentares a permeabilidade é inversamente proporcional à densidade de drenagem, portanto, quanto maior a densidade de drenagem, menor a permeabilidade, visto que a permeabilidade é função da capacidade de infiltração. Em áreas cristalinas a permeabilidade é diretamente proporcional a densidade de drenagem, pois nos meios cristalinos a drenagem é bastante condicionada por fraturamentos e o óleo tende a migrar entre as fraturas. Assim, quanto maior a densidade de drenagem, maior será a permeabilidade (CARDOSO et al., 2009).

Na área de estudo utilizou-se da rede de drenagem digitalizada através das folhas topográficas 1:10.000 para definir as classes de densidade de drenagem. De acordo com Martins (2012) por tratar-se de um parâmetro relativo que não possui valor padrão que correlacione diretamente com a permeabilidade, optou-se por utilizar da classificação realizada para a compartimentação fisiográfica da área, proposta por Zaine (2011). Desta forma, foi realizado um cálculo dos valores de classe de densidade de maior ocorrência dentro de cada zona homóloga. As classes foram divididas de acordo com os seguintes intervalos: 0 a 5/10 km² permeabilidade baixa para áreas cristalinas e alta para áreas sedimentares; 5/10 a 30 km² permeabilidade intermediária para ambas as áreas; e > 30 km² permeabilidade alta para áreas cristalinas e baixa para áreas sedimentares.

Em posse dos dados referentes às classes de cada parâmetro, foram elaborados os índices de sensibilidade ambiental das zonas homólogas.

Inicialmente foram determinados pesos para cada classe dos cinco parâmetros analisados. Cada classe, de cada parâmetro, foi analisada levando em consideração seu possível comportamento frente ao óleo. Os maiores pesos estão sempre relacionados ao fato da classe ser mais sensível ao óleo. Assim, as classes com baixa sensibilidade ambiental receberam peso 1; as classes de sensibilidade ambiental média receberam peso 2; e as que apresentam alta

sensibilidade ambiental apresentam peso 3. O Quadro 13 apresenta os pesos representativos de cada classe e seus respectivos parâmetros.

Quadro 13: Parâmetros escolhidos para a determinação dos índices de sensibilidade ambiental ao óleo para a rodovia com as respectivas classes de análise e o peso correspondente para cada classe.

Parâmetros	Classes	Pesos para cada classe
Declividade	Alta > 30%	1
	Média 15 – 30%	2
	Baixa 0 – 15%	3
Textura do perfil de alteração	Argilosa	1
	Intermediária	2
	Arenosa	3
Profundidade do perfil de alteração	Muito espesso > 2m	1
	Espessura intermediária 1m-2m	2
	Pouco espesso < 1m	3
Profundidade do Nível D'água	Profundo > 45m	1
	Intermediário 15 – 45m	2
	Raso < 15m	3
Densidade de Drenagem	Baixa (0 a 5/10 km²)	1
	Média (5 a 30/10km²)	2
	Alta (> 30 km²)	3

Elaborado pela autora.

Após a determinação de pesos para cada classe estabelecida para os parâmetros utilizados para a análise, realizou-se uma análise integrada dos dados, a fim de se obter um resultado ponderado dos mesmos.

No software ArcGIS 10.2.2 utilizou-se a ferramenta *Weighted Sum*. Esta ferramenta permite a atribuição de pesos e importância relativa a diferentes classes e a combinação de múltiplos fatores, possibilitando uma análise integrada. A ferramenta multiplica o valor de determinadas classes pelo peso especifico atribuído a eles. Após a multiplicação, ocorre a soma conjunta do valor de cada parâmetro adicionado para a formação de um valor final.

Após o processamento dos dados foram obtidos os valores mínimo e máximo para a sensibilidade ambiental dos parâmetros: 5 para áreas de menor sensibilidade ambiental, ou seja, as áreas em que todos os pesos apresentam-se com valor 1, e 15 para as áreas de maior sensibilidade, locais em que todos os pesos apresentam valor 3.

Em posse desses valores, esses foram adequados aos valores e cores correspondentes ao Índice de Sensibilidade Ambiental proposto pelo NOAA/MMA. Assim, o menor valor equivalente a 5 no ISR foi associado ao valor 1 no ISA, e o maior valor equivalente a 15 no

ISR, associado ao valor 10 A no ISA. O Quadro 14 apresenta a adequação realizada, para compatibilização com os índices utilizados pelo NOAA/MMA, o que possibilita a integração entre ambientes costeiros, fluviais e terrestres.

Quadro 14: Cores correspondentes ao ISA proposto pelo NOAA/MMA e seu valor equivalente para o ISR.

Índice de Sensibilidade Ambiental NOAA/MMA	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10 B**	**10 A**
Cor											
Índice de Sensibilidade Ambiental obtido pela metodologia utilizada para Rodovias	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**

Elaborado pela autora.

5. Resultados e Discussões

A compartimentação fisiográfica da área de estudo foi realizada a fim de determinarem-se segmentos ambientais com características homogêneas para a realização da análise da sensibilidade ambiental ao óleo das feições.

Na área de estudo foram determinadas 17 unidades de compartimentação de acordo com suas características físicas intrínsecas. As referidas unidades foram analisadas em relação à sensibilidade ambiental ao óleo, recebendo índices de sensibilidade ambiental específicos.

A análise da sensibilidade ambiental ao óleo dos 17 compartimentos resultou em cinco índices, cujo menor valor correspondeu a 5 e o maior valor caracterizou-se por 9. Assim, de forma geral, a área de estudo apresentou-se com uma alta sensibilidade ambiental ao óleo, com a presença de sete unidades de compartimentação com valor de 8 para a sensibilidade ambiental; cinco compartimentos com valor de 6; duas unidades com valor de 5; dois compartimentos com valor 7; e 1 compartimento com o maior valor encontrado, caracterizado por 9.

O Quadro 15 apresenta as unidades de compartimentação mapeadas, suas respectivas características determinadas e os índices de sensibilidade ambiental correspondentes.

A Figura 24 apresenta a Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo dos parâmetros físicos adjacentes ao trecho da rodovia Washington Luís referente a área de estudo.

Quadro 15: Unidades de Compartimentação mapeadas e suas respectivas características litológicas, geomorfológicas e pedológicas.

UBC	ISR	Unidades Geológicas	Unidades Geomorfológicas	Solos	Densidade de Drenagem	Forma de Topo	Forma de Vale	Forma de Encosta	Amplitude	Declividade
1	6	Botucatu	Cuestas Basálticas	Latossolos Vermelho-Amarelos	Baixa	Aplainado	-	Convexa	Pequena	Baixa
2	6	Intrusivas básicas Serra Geral	Encostas com Cânions Locais	Neossolos Litólicos, Nitossolos e Latossolos Vermelhos	Média	-	Fechado	Convexa	Grande	Média
3	5	Corumbataí e Pirambóia	Colinas Médias	Argissolos Vermelho-Amarelos	Alta	Arredondado	Aberto	Convexa	Grande	Média
4	5	Corumbataí e Pirambóia	Colinas Médias	Latossolos Vermelhos-Amarelos	Alta	Arredondado	Aberto	Convexa	Média	Alta
5	8	Depósitos Aluvionares	Planície Fluvial	Gleissolos	Alta	-	Aberto	-	Pequena	Baixa
6	6	Pirambóia	Colinas Amplas	Neossolos Quartzênicos/ Latossolos Vermelhos	Alta	Arredondado	Aberto	Convexa	Média	Alta
7	6	Corumbataí e Pirambóia	Colinas Médias	Latossolos e Argissolos Vermelho-Amarelos	Alta	Arredondado	Aberto	Convexa	Média	Alta
8	6	Corumbataí e manchas Rio Claro	Morrotes Alongados e Espigões	Argissolos Vermelho-Amarelos	Alta	Arredondado	Aberto	Côncava	Média	Alta
9	8	Corumbataí e manchas Rio Claro	Colinas Amplas	Neossolos Litólicos/Argissolos Vermelho-Amarelos	Alta	Arredondado	Fechado	Côncava	Média	Média

UBC	ISR	Litologia	Geomorfologia	Solos	Densidade de Drenagem	Forma de Topo	Forma de Vale	Forma de Encosta	Amplitude	Declividade
10	8	Depósitos Aluvionares	Planície Fluvial	Gleissolos	Alta	-	Aberto	-	Pequena	Baixa
11	9	Corumbataí e manchas Rio Claro	Colinas Amplas	Latossolos Vermelho-Amarelos	Média	Arredondado	Aberto	Convexa	Pequena	Baixa
12	7	Corumbataí e manchas Rio Claro	Colinas Amplas	Latossolos e Argissolos Vermelho-Amarelos	Média	Arredondado	Fechado	Convexa	Pequena	Baixa
13	8	Intrusivas básicas Serra Geral e Corumbataí	Planície Fluvial	Gleissolos	Alta	-	Aberto	-	Pequena	Baixa
14	8	Intrusivas básicas Serra Geral e Corumbataí	Colinas Amplas	Latossolos Vermelhos	Média	Arredondado	Aberto	Convexa	Média	Baixa
15	8	Intrusivas básicas Serra Geral	Colinas Amplas	Latossolos Vermelhos	Baixa	Arredondado	-	Retilínea	Média	Baixa
16	8	Corumbataí	Colinas Amplas	Latossolos Vermelhos	Baixa	Arredondado	Aberto	Convexa	Pequena	Baixa
17	7	Intrusivas básicas Serra Geral	Colinas Amplas	Latossolos Vermelhos	Baixa	Arredondado	-	Retilínea	Média	Baixa

Elaborado pela autora.

223000 230000 237000 244000 251000

7540000 7534000 7528000 7522000 7516000 7510000





Figura 24: Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo dos parâmetros físicos adjacentes ao trecho da rodovia Washington Luís referente à área de estudo.

Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo

- 5
- 6
- 7
- 8
- 9

Convenções Cartográficas

- Rodovias
- Drenagens
- Área de Estudo

Escala 1:25.000

0 1,5 3 6 Km

N

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 Fuso: 23S

223000 230000 237000 244000 251000

A partir dessas considerações optou-se por agrupar as unidades de compartimentação em cinco grupos, de acordo com os valores de sensibilidade ambiental apresentados. Cada grupo foi analisado considerando os parâmetros utilizados para realização da análise de sensibilidade ambiental.

Grupo I – Índice de Sensibilidade Ambiental para a Rodovia - 5

O Grupo I caracterizou-se pelas Unidades de Compartimentação que apresentaram sensibilidade ambiental caracterizado pelo menor valor presente na área de estudo, correspondente ao 5, caracterizando uma sensibilidade mediana ao grupo.

Foram determinadas 2 unidades de compartimentação que apresentaram valor correspondente a 5. As referidas unidades, os parâmetros analisados para cada unidade e os correspondentes valores de sensibilidade apresentam-se no Quadro 16.

Quadro 16: Parâmetros determinados para a análise da sensibilidade ambiental e os correspondentes valores de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo I.

Unidade de Compartimentação	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Densidade de Drenagem
3	Média Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade
4	Baixa Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade

Em relação ao parâmetro Declividade, as unidades pertencentes à área de estudo apresentaram valores variando entre baixa e média sensibilidade.

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. Dessa forma, em locais com valores altos e médios de declividade o óleo irá deslocar-se horizontalmente, não penetrando no solo e, portanto, não irá atingir o lençol freático. A declividade também é um parâmetro importante em relação aos procedimentos de limpeza, pois áreas com altos declives apresentam maior facilidade de limpeza e recuperação das áreas em relação aos casos que o óleo desloca-se verticalmente, atingindo a zona saturada. Além disso, a direção da declividade pode indicar a direção do fluxo do óleo em áreas de declive, enquanto que em áreas planas a direção do movimento pode ser considerada na direção de rios ou cursos de água próximos (FUSSELL et al., 1981).

Em relação ao parâmetro Textura do Solo, o Grupo I também apresentou valores baixos. As Unidades pertencentes a esse grupo caracterizam-se com áreas com litologias correspondentes à Formação Corumbataí, que é responsável pelo caráter argiloso do solo. A textura do solo possui estreita relação com a permeabilidade, pois o tamanho dos grãos que compõem o material influenciam na capacidade de retenção e condutividade hidráulica do meio, relacionando-se diretamente com a dinâmica do óleo no solo. Assim, solos que apresentam textura argilosa possuem permeabilidade menor, e a tendência é que a condutividade hidráulica seja menor na direção vertical e maior na horizontal, diminuindo a possibilidade da zona saturada ser atingida, contaminando o lençol freático e as chances de o óleo alcançar rochas fraturadas (MARTINS, 2012). Caso o solo apresente textura arenosa, a permeabilidade será maior, desta forma a contaminação ocorrerá verticalmente, podendo assim atingir o lençol freático e rochas fraturadas.

Os valores de Profundidade do Nível d'água apresentaram-se altos e medianos no Grupo I. Este parâmetro relaciona-se com a sensibilidade ambiental ao óleo visto que, quanto mais próxima à 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. Portando, valores de profundidade maiores representam menor sensibilidade ambiental ao óleo.

O parâmetro Espessura do Solo apresentou-se com alta sensibilidade no Grupo I, visto que nas duas Unidades de Compartimentação os perfis de alteração apresentaram-se pouco espessos. Esses perfis possuem dificuldade de retirada de material por escavação para fins de limpeza e recuperação da área, pois logo a rocha é atingida, além disso esse método não é indicado em locais onde haja afloramentos rochosos. Assim, a remediação de ambientes com solos rasos torna-se complexa, sendo que solos mais profundos tendem a ser suscetíveis a aplicação de diferentes métodos de limpeza e recuperação, e em caso de derrames, as rochas fraturadas serão mais dificilmente atingidas (BEYNON et al., 1983).

A Permeabilidade apresentou-se com baixos valores de sensibilidade em todas as Unidades de Compartimentação pertencentes ao Grupo I. Como já apresentado, o conceito de permeabilidade correlaciona-se diretamente com a densidade de drenagem. Estes conceitos foram discutidos na seção 4.2.5 do capítulo "Material e Métodos".

Assim, a sensibilidade ambiental será maior quanto maior for a permeabilidade do meio, visto que há grande possibilidade de o contaminante atingir rochas fraturadas e maiores profundidades.

As Unidades de Compartimentação correspondentes ao Grupo I apresentaram diferentes valores de sensibilidade ambiental para os parâmetros estabelecidos, entretanto obtiveram o mesmo valor de IST, caracterizado por 5. Isso ocorreu pois os maiores valores de sensibilidade das Unidades corresponderam aos parâmetros Espessura do Solo e Profundidade do Nível d´água, enquanto que para os demais parâmetros os valores foram baixos e médios. Ressalta-se que apesar de corresponder ao menor valor de IST da área de estudo, o valor 5 corresponde a uma sensibilidade ambiental ao óleo média na classificação proposta pela NOAA/MMA.

Para fins de melhor visualização, apresenta-se no Apêndice III a Ficha 1 com a caracterização fisiográfica da Unidade 4, com o índice de sensibilidade, imagens da área, determinação de cores comparado ao índice proposto pela NOAA/MMA e a localização da unidade na Carta SAO.

Grupo II – Índice de Sensibilidade Ambiental para a Rodovia - 6

O Grupo II corresponde a cinco Unidades de Compartimentação que apresentaram valores de IST classificados em 6, caracterizando uma sensibilidade média ao Grupo.

As referidas unidades, os parâmetros analisados para cada unidade e os correspondentes valores ISR apresentam-se no Quadro 17.

Quadro 17: Parâmetros determinados para a análise da sensibilidade ambiental e os correspondentes valores de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo II.

Unidade de Compartimentação	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Densidade de Drenagem
1	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade
2	Média Sensibilidade	Média Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade
6	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade
7	Baixa Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade
8	Baixa Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade

A Unidade de Compartimentação 2 corresponde à área cristalina da região. Esta Unidade, juntamente com a Unidade 1, apresentou os maiores valores de hipsometria da área de estudo.

A Unidade 2 é representada por um "degrau" que diferencia as províncias geomorfológicas Cuestas Basálticas da Depressão Periférica; constituída por rochas intrusivas básicas da Formação Serra Geral, litologia típica da faixa de cuestas (ZAINE, 1994). Nesse

local ocorrem afloramentos de diabásio, típicos da litologia dessa região, com ausência de solos em alguns locais. A área também caracterizou-se por apresentar diversas fraturas.

Em relação à sensibilidade ambiental ao óleo, o Grupo II apresentou valor médio de sensibilidade, classificando-se em 6. Apesar de apresentarem diferentes valores de sensibilidade ambiental nas Unidades, em sua maioria, o Grupo II apresentou valores médios de sensibilidade ambiental para os parâmetros.

O Grupo II apresentou valores altos de sensibilidade ambiental para a textura e espessura do solo, devido à ausência de solos na Unidade 2 e presença de solos argilo-arenosos nas outras unidades, originados principalmente do contato entre as Formações Corumbataí e Piramboia.

Diferentemente do Grupo I, o Grupo II apresentou valores de profundidade de nível d'água maiores, o que conferiu a esse parâmetro valores menores de sensibilidade ambiental ao óleo. Além disso, as Unidades correspondentes ao grupo apresentaram baixa sensibilidade em relação ao parâmetro Permeabilidade, devido à área apresentar nas áreas sedimentares densidade de drenagem maior e na área cristalina uma densidade de drenagem menor.

Para fins de melhor visualização, apresenta-se no Apêndice III a Ficha 2, com a caracterização fisiográfica da Unidade 2, com o índice de sensibilidade, imagens da área, determinação de cores comparado ao índice proposto pela NOAA/MMA e a localização das unidades na Carta SAO.

Grupo III – Índice de Sensibilidade Ambiental para a Rodovia - 7

O Grupo III corresponde às Unidades de Compartimentação 12 e 17, que apresentaram valores mais altos de sensibilidade ambiental ao óleo, classificando-se em 7.

As referidas unidades, os parâmetros analisados para cada unidade e os correspondentes valores IST apresentam-se no Quadro 18.

Quadro 18: Parâmetros determinados para a análise da sensibilidade ambiental e os correspondentes valores de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo III.

Unidade de Compartimentação	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Densidade de Drenagem
12	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Média Sensibilidade
17	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade

O Grupo III apresenta a Unidade de Compartimentação 12, que é caracterizada por um nítido contato entre um solo coluvionar e um solo residual argiloso. Ocorrem stonelines que marcam a separação entre os horizontes B, formado pelo solo coluvionar, e o horizonte C, marcado pelo solo residual.

O Grupo III apresenta baixos valores de sensibilidade ambiental para o parâmetro espessura do solo, visto que caracteriza-se por unidades com solos profundos, nos quais o poluente não atingirá facilmente o lençol freático e as rochas fraturadas, e além disso em solos desenvolvidos ocorre uma maior capacidade de desenvolver procedimentos de remoção e limpeza. Entretanto, as Unidades apresentaram altos valores de sensibilidade para os demais parâmetros, o que conferiu ao Grupo um valor maior de sensibilidade ambiental ao óleo.

Apresenta-se na Ficha 3 do Apêndice III, um maior detalhamento da Unidade 12, com a sua caracterização fisiográfica, índice de sensibilidade, imagens da área, determinação de cores comparado ao índice proposto pela NOAA/MMA e a localização das unidades na Carta SAO.

Grupo IV – Índice de Sensibilidade Ambiental para a Rodovia – 8

O Grupo IV caracterizou-se como o maior grupo do presente estudo, composto por 7 Unidades de Compartimentação, que foram caracterizadas com IST 8, considerado o segundo maior índice da área de estudo. O Quadro 19 apresenta as 7 unidades, os parâmetros analisados para cada unidade e os correspondentes valores ISR.

Quadro 19: Parâmetros determinados para a análise da sensibilidade ambiental e os correspondentes valores de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo IV.

Unidade de Compartimentação	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Densidade de Drenagem
5	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade
9	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade
10	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade
13	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade
14	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade
15	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade
16	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade

As Unidades correspondentes ao Grupo IV caracterizam-se como áreas sedimentares e planícies fluviais, com valores de baixa declividade e amplitude média a baixa. Geologicamente apresenta-se na Formação Corumbataí com presença de soleiras de diabásio, que geram solos argilosos avermelhados. Geomorfologicamente as Unidades do Grupo IV apresentam formas de relevo suaves, caracterizadas por Colinas Amplas. Este Grupo também apresenta as Unidades de Compartimentação correspondentes aos rios Corumbataí, da Cabeça e Ribeirão Claro. O Grupo IV ainda apresenta solos classificados como Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos; a espessura dos solos apresenta-se com valores de baixa e média espessura; permeabilidade média a baixa; e profundidade de nível d'água rasa.

Em relação à sensibilidade ambiental ao óleo do Grupo IV, este apresentou-se com altos valores, devido aos parâmetros declividade, profundidade de nível d'água e espessura do solo apresentarem valores altos em todas as Unidades correspondentes. Os menores valores corresponderam à textura do solo, que se apresentou argilosa nas Unidades 14, 15 e 16; e a baixa permeabilidade nas Unidades 5, 9, 10 e 13, devido a valores altos de densidade de drenagem.

Na Ficha 4, no Apêndice III, apresenta-se um maior detalhamento das Unidades 14 e 15, com as suas caracterizações fisiográficas, índice de sensibilidade, imagens das unidades, determinação de cores comparado ao índice proposto pela NOAA/MMA e a localização das áreas na Carta SAO.

Grupo V - Índice de Sensibilidade Ambiental para a Rodovia – 9

O Grupo V corresponde à Unidade de Compartimentação 11, que apresentou o maior valor de sensibilidade ambiental ao óleo da área de estudo, caracterizado por uma ampla área urbana correspondente ao município de Rio Claro.

A litologia da Unidade 11 caracteriza-se pela Formação Rio Claro, com algumas manchas da Formação Corumbataí com presença de siltitos com matriz de argila. O solo da área possui uma textura argilo-arenosa com pouca espessura. Geomorfologicamente, a área apresenta formas de relevo colinosa, marcada pelas Colinas Amplas. A unidade apresenta uma profundidade do nível d'água rasa; declividade e amplitude baixas; e uma permeabilidade média.

Em relação à sensibilidade ambiental ao óleo do Grupo V, este caracterizou-se com o maior valor pois não houve nenhum valor de baixa sensibilidade para os parâmetros correspondentes à Unidade 11. O Quadro 20 apresenta os parâmetros analisados e os correspondentes valores de ISR.

Quadro 20: Parâmetros determinados para a análise da sensibilidade ambiental e os correspondentes valores de sensibilidade para a Unidade 11 pertencente ao Grupo V.

Unidade de Compartimentação	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Densidade de Drenagem
11	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade

A Unidade 11 apresenta uma profundidade rasa de nível d'água, dessa forma, em casos de acidentes envolvendo derrames de óleo e derivados de petróleo, o poluente poderá atingir mais facilmente o lençol freático nessa região, além disso, a área apresenta uma densidade de drenagem média, o que caracteriza uma permeabilidade média e presença de solo pouco espesso, o que facilita a percolação do óleo em subsuperfície, conferindo a esta unidade alta sensibilidade ambiental ao óleo.

A Ficha 5, no Apêndice III apresenta um detalhamento da Unidade 11, com a sua caracterização fisiográfica, índice de sensibilidade, imagens da área, determinação de cores comparado ao índice proposto pela NOAA/MMA e a localização das unidades na Carta SAO.

6. Considerações Finais

A presente pesquisa objetivou colaborar com o desenvolvimento de metodologias para a construção de Cartas SAO para os ambientes terrestres através do desenvolvimento de um índice de sensibilidade ambiental ao óleo (ISA) dos parâmetros físicos de áreas adjacentes a um trecho da rodovia Washington Luís (SP-310).

A Rodovia Washington Luís (SP-310), entendendo as unidades analisadas como uma representação da sua extensão, possui sensibilidade variando entre intermediária a alta, pois apresenta valores altos de sensibilidade ambiental, classificados em 9.

O mapeamento da sensibilidade ambiental ao óleo dos parâmetros físicos do trecho da rodovia Washington Luís (SP-310) demonstrou-se eficaz ao apresentar as áreas de maior e menor sensibilidade ao óleo das feições das margens da rodovia. Entretanto, em relação à utilização da proposta de Martins (2012), esta deve ser readequada principalmente em relação às variáveis referentes à textura do solo.

Em áreas cristalinas o comportamento do óleo tende a deslocar-se seguindo as fraturas das áreas, porém em áreas sedimentares a percolação do contaminante está diretamente relacionada com as características de textura e permeabilidade dos solos. De acordo com Martins (2012), os solos argilosos apresentam baixa sensibilidade ambiental devido ao escoamento lento nesse tipo de textura. Portanto, em solos argilosos, ocorre uma maior dificuldade no movimento descendente do contaminante, gerando acumulação e deslocamento horizontal, ao longo do limite entre os horizontes de solo. Assim, para áreas sedimentares os solos devem ser analisados de forma mais criteriosa, considerando os aspectos de porosidade e textura com maior relevância para a sensibilidade ambiental ao óleo desses locais. Portanto, em relação aos ambientes terrestres, a análise da sensibilidade ambiental deve utilizar os parâmetros de maior relevância as realidades locais.

A utilização de ferramentas geotecnológicas mostraram-se eficazes para o desenvolvimento da Carta SAO e foram vitais para todas as etapas do trabalho.

A partir do exposto, a análise realizada no presente estudo necessitaria de uma maior atenção por parte dos órgãos ambientais, visto que no estado de São Paulo, o modal rodoviário

é o principal transporte de derivados de petróleo, e a possibilidade de ocorrência de acidentes envolvendo esses produtos apresenta-se alta.

Assim, é passível de reflexão a aplicação desta metodologia como parte de estudos de impactos ambientais (EIA) e programas de gerenciamento de riscos a transporte de produtos perigosos (PGR) em rodovias, e em ações de emergência em acidentes que envolvam derrames desses produtos.

Por tratar-se de uma rodovia com recorrência de acidentes envolvendo esse tipo de poluente, é fundamental o desenvolvimento desses estudos, além disso as áreas urbanas dos municípios de Rio Claro, Santa Gertrudes e Cordeirópolis são diretamente perpassadas pelo trecho analisado, e caracterizam-se por apresentar diversos postos de gasolina e indústrias que representam um maior risco a esse tipo de acidente, ocasionando prejuízos socioeconômicos e ambientais.

Por fim, conclui-se que o mapeamento de sensibilidade ambiental ao óleo dos parâmetros físicos para o modal rodoviário apresenta-se viável a partir da aplicação de uma metodologia adequada ao ambiente em que está inserido.

Referências Bibliográficas

AB'SABER, A.N. - 1969. A Depressão Periférica Paulista: um setor das áreas de circundesnudação pós-cretácica da Bacia do Paraná. Boletim Instituto Geografia - USP, Geomorfologia, 15: 15p.

ALEXANDER, M. Introduction to soil microbiology. John Wiley and Sons, EUA. 1977. 467p

ALMEIDA, F.F.M. de - 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim

ANP, Agência Nacional de Petróleo. Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis 2015. ANP, Rio de Janeiro, 2015

ARAUJO et al., Manual básico para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras: ambientes costeiros e estuarinos. Rio de Janeiro: 2002. 134p.

ARAUJO et al., Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo: ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. Rio de Janeiro: Petrobras: Jauá, 2006. 168p.

ATLAS AMBIENTAL DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ. Desenvolvimento: CEAPLA/IGCE/UNESP. Disponível em: < http://ceapla2.rc.unesp.br/atlas/>

BARCELLOS, J.H. et al. (1983) A Formação Itaqueri: um exemplo de tectofácies. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4., São Paulo, 1983. *Atas*... São Paulo, SBG, v.1, p.245-252.

BRASIL. Lei n° 7.092, 19 de abril de 1983 Aprova o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-7092-19-abril-1983-356767-norma-pl.html> Acesso em: 03 set. 2015

BRASIL. Lei N° 9.478, 6 de Agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9478.htm>. Acesso em: 03 set. 2015.

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

CETESB - Decisão de Diretoria. 2013. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/53/2015/07/DD-154-2013.pdf> Acesso em: 03 set. 2015

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Cadastro de Emergências Quimicas - Quadro de estatísticas 2015. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/estatisticas/estatisticas.asp>. Acesso em 03 abril. 2015.

CODUTO, D. P. Geotechnical Engineering: principles and pratices. 1998

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Gerenciamento de riscos. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. Relatório de emergências químicas atendidas pela CETESB em 2010. São Paulo. 2011. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/artigos/artigos_relatorios.asp>

Confederação Nacional do Transporte - CNT. Pesquisa CNT de rodovias 2009: relatório gerencial. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2009. 152p.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Relatório de outorgas do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.aplicacoes.daee.sp.gov.br/usosrec/fchweb.html>. Acesso em: 04 jul. 2016.

DAY, M. Fate and Transport of Fuel Components Below Slightly Leaking Underground Storage Tanks. 2001. Disponível em: <http://www.idealibrary.com/>

Departamento de Estradas e Rodagens - DER. Malha Rodoviária. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/>. Acesso em: 03 abril. 2015.

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

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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de informação, Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412p.

FACINCANI, E. M. Morfotectônica da Depressão Periférica Paulista e Cuesta Basáltica: Regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba. 2000. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

FERREIRA, J.; ZUQUETTE, L. V. Considerações sobre as interações entre contaminantes constituídos de hidrocarbonetos e os compostos do meio físico. Geociências, 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. v. 12, n. 2, p. 61-72, 2008.

FLORENZANO, T. G. Imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos. 97p. 2002.

FULFARO et al., A tectônica das serras de Santana e São Pedro (Serra Geral). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, Curitiba, 1967. Anais... Curitiba: SBG, 1967. P. 198-205

FULFARO, V.J. & BARCELLOS, J.H. (1989)- Movimentações verticais e a evolução da Depressão Periférica e escarpa da Serra Geral em São Paulo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1., Rio de Janeiro, 1989. *Boletim de Resumos*... Rio de Janeiro, SBG, p.109-110.

FUSSEL et al.,. Revised inland oil spill clean-up manual. CONCAWE. Report n°. 7/81. 1981.

GAMA JR et al.,. Distribuição espacial e temporal das unidades litoestratigráficas paleozóicas na parte central da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, v. 12, n. 4, p. 578-589, 1982.

GILVAN JÚNIOR. Processamento Primário de Petróleo/Noções de Processo de Refino Disponível em: <http://www.tecnicodepetroleo.ufpr.br/apostilas/engenheiro_do_petroleo/processamento_primario.pdf> Acesso em: 15 fev. 2016

GIMENEZ, N.L.B. Estudo petrológico dos arenitos da Formação Tatuí no Estado de São Paulo. Rio Claro, 1996. 174 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

GUIGUER, N. Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento. Waterloo Hydrogeologic, Inc. 356p., 2000.

GUNDLACH et al.,. Pipeline and coastal environmental sensitivity mapping for the BTC pipeline system in Turkey. International Oil Spill Conference, p. 1-5, 2005.

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

GUNDLACH et al. Incorporating biodiversity into sensitivity maps of the Niger River delta. International Oil Spill Conference, p. 391-403, 2001.

HAYES et al. Identifying and mapping sensitive resources for inland area planning. International Oil Spill Conference, p. 365-371, 1995.

HAYES at al. The reach sensitivity index (RSI) for mapping river and streams. International Oil Spill Conference. p. 343-350. 1997.
Instituto Geográfico e Geológico, 41: 169-263.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Cidades. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=> Acesso em: 17 jan. 2017

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. 1981a. São Paulo. Série Monografias. n° 5. 2v.

JENSEN et al. A system approach to environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spill contingency planning and response. Photogrammetric Enginnering & Remote Sensing. v. 64, n.10, p. 1003-1014, 1998.

KÖFFLER, N. F. 1992. Diagnóstico do uso agrícola das terras da bacia do rio Corumbataí (SP). Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Relatório, 102p.

KRONKA, F. J. N. Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente / Instituto Florestal. Imprensa Oficial. 2005.

LEACOCK, E. The Exxon Valdez oil spill. Environmental Disasters. New York: Facts On File, Inc. 2005. 100p.

MACHADO, F. B. Geologia e aspectos petrológicos das rochas intrusivas e efusivas mesozóicas de parte da borda leste da bacia do paraná no estado de são Paulo. Rio Claro, 2005. 214 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

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

MARIANO, A. P. Monitoramento de indicadores geoquímicos e avaliação de biodegradação em área contaminada com óleo diesel. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, set. 2007

MARIANO, J. B. Impactos Ambientais do Refino de Petróleo. 2001, 216 f. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001

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 f

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

MENDES et al. MARA – Elaboração de metodologias para análise dos riscos ambientais. In: Rio Pipeline Conference & Exposition, 2005, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2005.

MICHEL et al. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of lower Cook Inlet, Alaska. Environment geology, v. 2, p. 107-117, 1978
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.

NANNI, A.S. Contaminação do meio físico por hidrocarbonetos e metais na área da refinaria Alberto Pasqualini, Canoas, RS. 2003. Dissertação (Mestrado em Geociências) Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003

NEWELL et al. Light Nonaqueous Phase Liquids. Ground Water Issue. Environmental Protection Agency (EPA), Oklahoma. 28p. 1995.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos. II Memorial Descritivo. Boletim Técnico Insituto Agronômico n° 98. Convênio EMBRAPA/CPA/IA, Campinas. 1984.

OLIVEIRA et al. . Levantamento Pedológico Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo: Quadrícula de Campinas. Rio de Janeiro: IBGE, 169p. 1979.

PENTEADO, M.M. Implicações tectônicas na gênese das cuestas da Bacia do Rio Claro (SP) Notícias Geomorfológica. Campinas, v. 8, n. 15, p. 19-41. 1968

PENTEADO, M.M. - 1976. Geomorfologia do Setor Centro-Ocidental da Depressão Periférica Paulista. Instituto de Geografia - USP. Série Teses e Monografias nº 22, 86 p.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINE, M. F. Patrimônios Naturais e História Geológica da Região de Rio Claro-SP. Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, 2008. v. 1.

PEIXOTO, C. A. (Org.). 2010. Geodiversidade do estado de São Paulo. São Paulo: CPRM. 176 p. + 1 DVD-ROM.

PETERSEN et al. Environmental Sensitivity Index Guidelines. National Oceanic and Atmospheric Administration. v. 3.0. 2002. 89p.

PETRI, S. Grupo Tubarão. Boletim do Instituto de Geografia e Geologia, v. 41, p. 56-63, 1964.

PICARELLI, S. Avaliação da contaminação de solos por hidrocarbonetos e metais pesados em diques de contenção. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003

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.

SETZER, J. Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia do Paraná (CESP), 1966. 61 p.

SILVA, G.M.P. Diagnóstico Ambiental, Qualidade de Água e Índice de Depuração do Rio Corumbataí – SP, 1999, 155 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Estudos Ambientais – CEA, UNESP.

SOARES, P.C. Arenito Botucatu e Pirambóia no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILERIO DE GEOLOGIA, 26, 1972, Belém. Resumos:Sociedade Brasileira de Geologia, 1972, p. 250-251.

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. e LANDIM, P.M.B. (1976)- Depósitos Cenozóicos na região Centro-Sul do Brasil. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 16 (31): 17-39.

TEDESCO et al. Apostila da disciplina de princípios de fertilidade de solos. 1992. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 230p

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP (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>. Acesso em: 04 abr. 2016

URSULINO, D.M.A. Caracterização da qualidade das águas subterrâneas – Município de Rio Claro/SP. Mestrado. IGCE-UNESP. 1998. 119 p.

VEDOVELLO, R. Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental a partir de unidades básicas de compartimentação - UBCs. Rio Claro (SP); 2000. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP. 154p. 2000

VIANA, J. A. P. Comportamento do hidrocarboneto no solo: uma revisão bibliográfica. In: IV Seminário de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física (SEPEGE). Anais... São Paulo. 2009.

WALKER 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, v. 31, p. 242-256, 1978.

ZACHARIAS, M. A.; GREGR, E. J. Sensitivity and Vulnerability in Marine Environments: an Approach to Identifying Vulnerable Marine Áreas. Conservation Biology, v. 19, n.. 1, pp.

ZAINE, J.E. Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP). Rio Claro, 1994. 90 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

ZAINE J. E. 2011. Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG. Tese de Livre docência – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

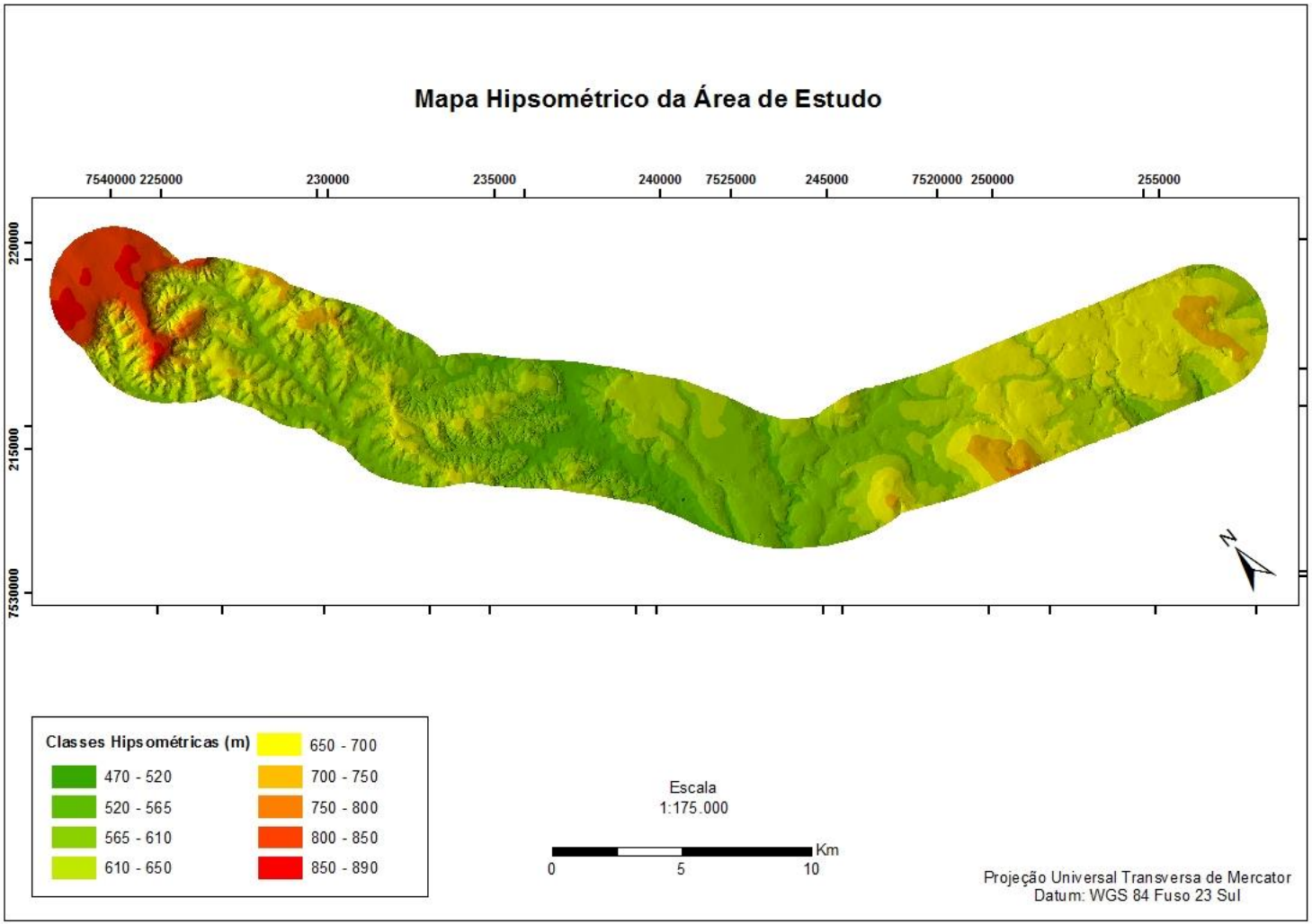
ZENGEL, S.; HAYES, M. O.; MICHEL, J.; ROBERTSON, A. Sensitive areas planning for inland South Florida: web and GIS tools. International Oil Spill Conference, p. 789-796, 2001b.

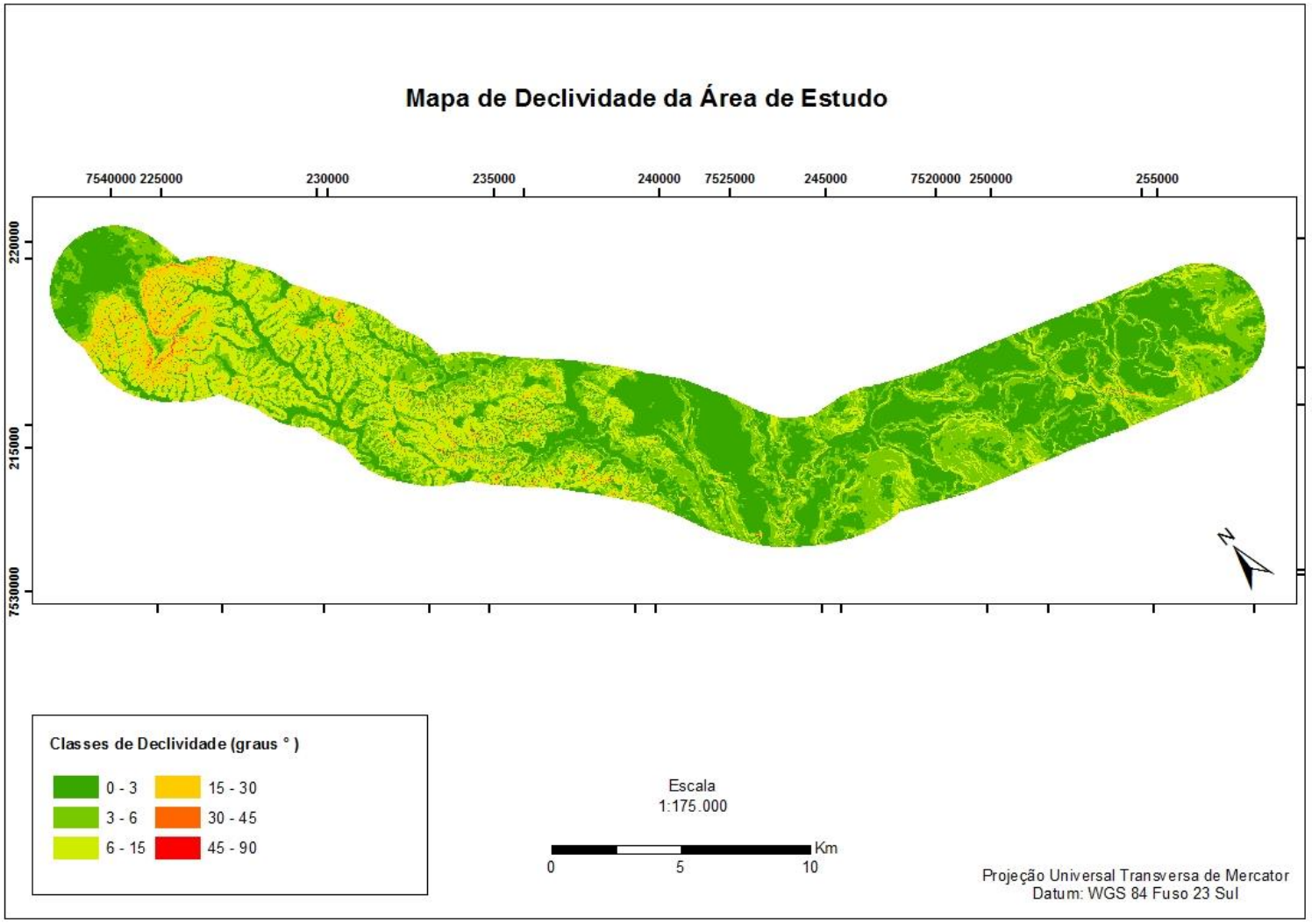
ZENGEL, S.; HAYES, M. O.; MICHEL, J.; WHITE, M. Integrated planning front the mountains to the sea: environmental sensitivity mapping in the Caribbean. International Oil Spill Conference, p. 1-5, 2001a.

APÊNDICES

APÊNDICE I

Mapas Hipsométrico e de Declividade da Área de Estudo

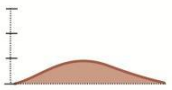
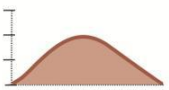
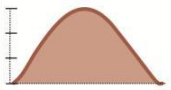
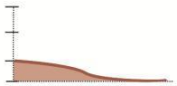
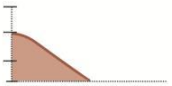
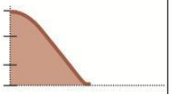
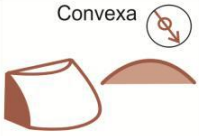
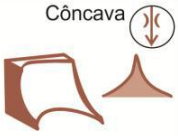
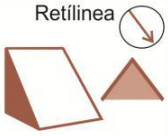
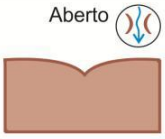
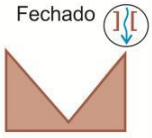

Mapa Hipsométrico da Área de Estudo
7540000 225000
230000
235000
240000
7525000
245000
7520000 250000
255000
220000
215000
7530000
N
Classes Hipsométricas (m)
470 - 520
520 - 565
565 - 610
610 - 650
650 - 700
700 - 750
750 - 800
800 - 850
850 - 890
Escala
1:175.000
0
5
10
Km
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 Fuso 23 Sul


Mapa de Declividade da Área de Estudo
7540000 225000
230000
235000
240000
7525000
245000
7520000 250000
255000
220000
215000
7530000
N
Classes de Declividade (graus °)
0 - 3
3 - 6
6 - 15
15 - 30
30 - 45
45 - 90
Escala
1:175.000
0
5
10
Km
Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum: WGS 84 Fuso 23 Sul

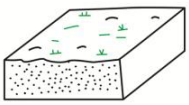
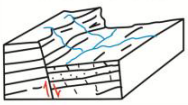
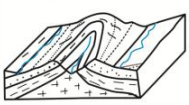
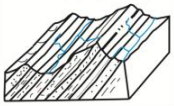
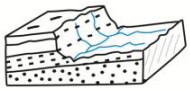
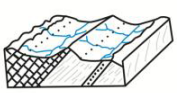
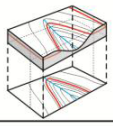
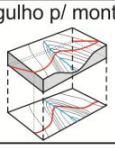
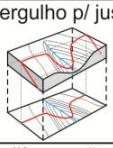
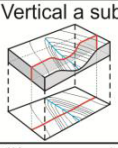
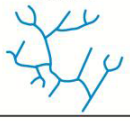
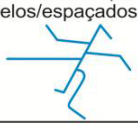
APÊNDICE II

Quadros de análise e interpretação fotogeológica

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 km²) 	Média (5 a 30/10 km²) 	Alta (> 30/ km²) 
	Densidade dos elementos do relevo (dissecação e rugosidade do terreno)	Baixa (mais lisa) 	Média 	Alta (mais rugosa) 
Propriedade a ser interpretada	PERMEABILIDADE (intergranular)	Alta (Permeável)	Média	Baixa (Pouco permeável a impermeável)
APLICAÇÕES 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) 	Média (100 a 300 m) 	Grande(> 300 m) 
	b) Declividade	Baixa (0 - 15%) 	Média (15 - 30%) 	Alta (> 30%) 
	c) Forma de encosta / vertente (* representação em planta)	Convexa 	Côncava 	Retílinea 
	d) Forma do vale (* representação em planta)	Aberto 		Fechado 
	e) Forma do topo	Aplainados 	Arredondados 	Angulosos 
	f) Feições particulares de relevo	Identificar e descrever. Associar modelos geológicos já conhecidos *Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al, (1995)		
Propriedades a serem interpretadas	Solubilidade	Não solúvel		Solúvel
	Resistência à erosão natural (dureza)	Baixa (Pouco resistente)	Média (Resistência média)	Alta (Muito resistente)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Profundidade do topo rochoso	Profundo	Intermediário	Raso a sub aflorante
	Espessura de materiais inconsolidados	Espesso	Intermediário	Delgado a inexistente
	Grau de escavabilidade	Pouco resistente	Resistência média	Muito resistente
Registros de processos geológicos	Potencial a erosão linear (induzida)	Médio a alto	Médio a alto	Médio a baixo
	Potencial a movimentos gravitacionais de massa	Baixo	Médio a Alto	Alto

Fonte: Zaine, 2011.

3. Análise das estruturas geológicas		CLASSES			
Elementos de análise	Linhas de rupturas de declive (positivas = proeminentes; negativas = reentrâncias) Lineações e alinhamentos de relevo (traços de foliação e camadas), drenagem e traços de fratura				
Critérios de análise	a) Tropia	Não orientada 	Pouco orientada 	Orientada 	Muito orientada 
	b) Assimetria de relevo e drenagem (geometria das camadas)	Muito assimétrico 	Assimétrico 	Pouco assimétrico 	Simétrico 
	c) Regra dos Vs	Horizontal a sub 	Mergulho p/ montante 	Mergulho p/ jusante 	Vertical a sub 
	d) Sinuosidade* (drenagem)	Curvos/dendríticos 	Mistos 	Retilíneos não paralelos/espaçados 	Retilíneos paralelos/ adensados 
	e) Padrões reconhecidos e anomalias	Identificar e descrever. Associar à modelos geológicos já conhecidos. *Consultar quadros Howard (1967); Soares e Fiori (1976); Nunes et. al, (1995)			
Propriedades a serem interpretadas	Planos de estratificação e foliação metamórfica	Ausentes a pouco marcantes	Espaçados	Adensados	
	Composição e estrutura	Homogênea	Mista	Heterogênea	
	Plasticidade/ruptibilidade (foliação x fraturas)	-	Rúptil	Dúctil	
	Grau de faturamento	Baixo	Médio	Alto	
	Permeabilidade Fissural	Baixa	Média	Alta	
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Partição em blocos: possibilidade de queda de blocos	Baixa	Média	Alta	

4. Análise complementar		CLASSES		
Elementos de análise	Tons de cinza ou coloração; vegetação e uso do solo; feições de processos geológicos			
Critérios de análise	Tons de cinza *	branco a cinza claro	cinza médio	cinza escuro a preto
	Coloração*	Claros, amarelados, róseos		Verdes escuros a pretos
Propriedades a serem interpretadas	Solos derivados de rochas básicas/ácidas ou arenosas/argilosas	Solos ácidos/ arenosos	Solos básicos/argilosos	
	Presença de água/umidade no solo	Solos secos	Solos úmidos	Corpos d´água**
	Cobertura vegetal	Sem vegetação a pastagem	Rasteiras e arbustivas	Arbóreas (florestas e reflorestamento)
APLICAÇÕES Informações interpretadas por esta análise	Solo exposto	Presente		Ausente
	Afloramentos e blocos rochosos	Presente		Ausente
	Presença de N.A. raso/aflorante	Profundo (> 5m)	Variável	Raso (aflorante < 2m)

* A análise deve considerar os diferentes tipos de uso do solo.
** Corpos d`água podem apresentar tons claros quando ocorre a reflexão da luz.

Fonte: Zaine, 2011.

APÊNDICE III

Fichas de Caracterização das Unidades de Compartimentação pertencentes a Carta SAO da área de estudo

unesp **Sensibilidade Ambiental para Rodovias: Estudo de caso de trecho da Rodovia Washington Luís (SP-310)**

Daniela Ferreira Ribeiro
Rio Claro - SP

Ficha 1: Caracterização da Unidade de Compartimentação 4 pertencente ao Grupo I

Posicionamento da Unidade na Carta SAO



Solo Argiloso encontrado na Unidade de Compartimentação 4





Unidade de Compartimentação	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Densidade de Drenagem
4	Baixa Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade

Cores correspondentes ao ISA proposto pelo NOAA/MMA e seu valor equivalente para o ISR

Indice de Sensibilidade Ambiental NOAA/MMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 B	10 A
Cor											
Indice de Sensibilidade Ambiental para Rodovias	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Características Fisiográficas para as Unidades pertencentes ao Grupo I

Grupo	UBC	Litologia	Geomorfologia	Solos	Densidade de Drenagem	Forma de Topo	Forma de Vale	Forma de Encosta	Amplitude	Declividade
1	4	Corumbataí e Pirambóia	Colinas Médias	Latossolos Vermelho-Amarelos	Alta	Arredondado	Aberto	Convexa	Média	Alta

Sensibilidade Ambiental para Rodovias: Estudo de caso de trecho da Rodovia Washington Luís (SP-310)

Daniela Ferreira Ribeiro
Rio Claro - SP

Ficha 2: Caracterização da Unidade II pertencente ao Grupo 2

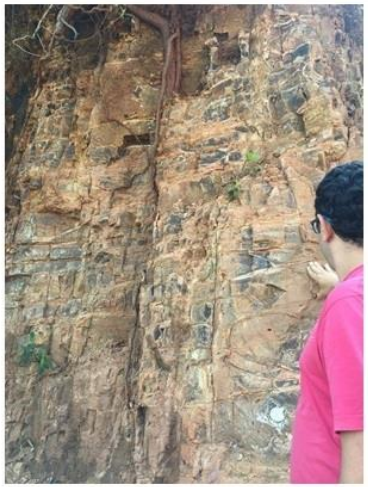
Posicionameto da Unidade na Carta SAO

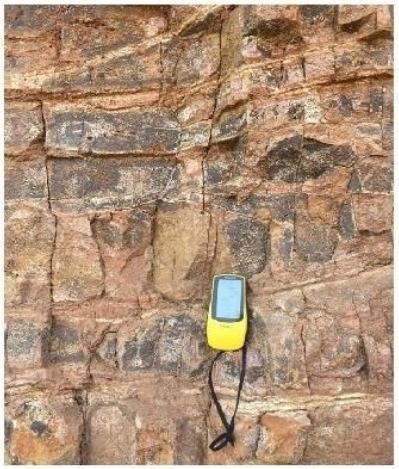


Legenda
- Unidade 2
- Rodovia Washington Luís (SP-310)
- Drenagens

Afloramento de diabásio presente na Unidade 2







Cores correspondentes ao ISA proposto pelo NOAA/MMA e seu valor equivalente para o ISR

Indice de Sensibilidade Ambiental NOAA/MMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 B	10 A
Cor											
Indice de Sensibilidade Ambiental para Rodovias	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Parâmetros determinados para análise de sensibilidade ambiental e respectivos valores

UBC	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Densidade de Drenagem
2	Média Sensibilidade	Média Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade

Características fisiográficas da Unidade

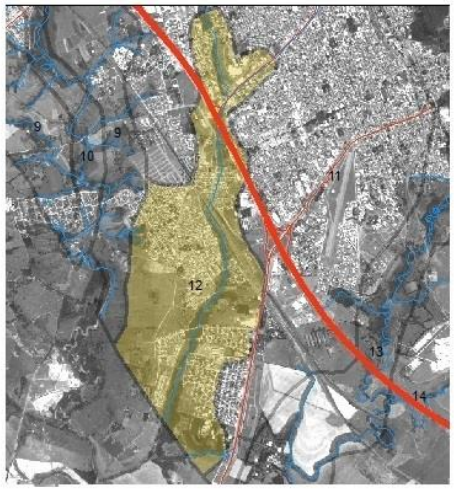
UBC	Litologia	Geomorfologia	Solos	Densidade de Drenagem	Forma de Topo	Forma de Vale	Forma de Encosta	Amplitude	Declividade
2	Intrusivas básicas Serra Geral	Encostas com Cânions Locais	Neossolos Litólicos, Nitossolos e Latossolos Vermelhos	Média	-	Fechado	Convexa	Grande	Média

unesp **Sensibilidade Ambiental para Rodovias: Estudo de caso de trecho da Rodovia Washington Luís (SP-310)**

Daniela Ferreira Ribeiro
Rio Claro - SP

Ficha 3: Caracterização da Unidade 12 pertencente ao Grupo 3

Posicionameto da Unidade na Carta SAO









Solos da Unidade 12 e presença de stoneline marcando a separação entre os horizontes do solo

Cores correspondentes ao ISA proposto pelo NOAA/MMA e seu valor equivalente para o ISR

Indice de Sensibilidade Ambiental NOAA/MMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 B	10 A
Cor											
Indice de Sensibilidade Ambiental para Rodovias	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Parâmetros determinados para análise de sensibilidade ambiental e respectivos valores

Unidade de Compartimentação	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Densidade de Drenagem
12	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade

Características Fisiográficas da Unidade

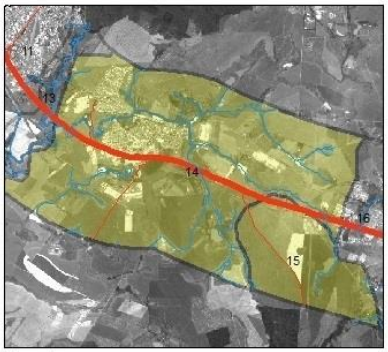
Unidade	Litologia	Geomorfologia	Solos	Densidade de Drenagem	Forma de Topo	Forma de Vale	Forma de Encosta	Amplitude	Declividade
12	Corumbataí e manchas Rio Claro	Colinas Amplas	Latossolos e Argissolos Vermelho-Amarelos	Média	Arredondado	Fechado	Convexa	Pequena	Baixa

unesp **Sensibilidade Ambiental para Rodovias: Estudo de caso de trecho da Rodovia Washington Luís (SP-310)**

Daniela Ferreira Ribeiro
Rio Claro - SP

Ficha 4: Características das Unidades 14 e 15 pertencentes ao Grupo 4

Posicionameto da Unidade na Carta SAO



Legenda
- Unidades 14 e 15
- Rodovia Washington Luís (SP-310)
- Drenagens

Vista panorâmica - Relevo característico



Relevo característico das Unidades



Solo presente na Unidade 14



Cores correspondentes ao ISA proposto pelo NOAA/MMA e seu valor equivalente para o ISR

Indice de Sensibilidade Ambiental NOAA/MMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 B	10 A
Cor											
Indice de Sensibilidade Ambiental para Rodovias	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Parâmetros determinados para a sensibilidade ambiental e os respectivos valores

Unidade de Compartimentação	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Densidade de Drenagem
14	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade
15	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade

Características Fisiográficas das Unidades

Unidade	Litologia	Geomorfologia	Solos	Densidade de Drenagem	Forma de Topo	Forma de Vale	Forma de Encosta	Amplitude	Declividade
14	Intrusivas básicas Serra Geral e Corumbataí	Colinas Amplas	Latossolos Vermelhos	Média	Arredondado	Aberto	Convexa	Média	Baixa
15	Intrusivas básicas Serra Geral	Colinas Amplas	Latossolos Vermelhos	Baixa	Arredondado	-	Retilínea	Média	Baixa

unesp **Sensibilidade Ambiental para Rodovias: Estudo de caso de trecho da Rodovia Washington Luís (SP-310)**

Daniela Ferreira Ribeiro
Rio Claro - SP

Ficha 5: Caracterização da Unidade 11 pertencente ao Grupo V

Posicionameto da Unidade na Carta SAO







Solos presentes na Unidade 11





Siltitos com matriz de argila da Formação Corumbataí

Parâmetros determinados para análise de sensibilidade ambiental e respectivos valores

Unidade de Compartimentação	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Densidade de Drenagem
11	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade

Cores correspondentes ao ISA proposto pelo NOAA/MMA e seu valor equivalente para o ISR

Indice de Sensibilidade Ambiental NOAA/MMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 B	10 A
Cor											
Indice de Sensibilidade Ambiental para Rodovias	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Características Fisiográficas da Unidade

UBC	Litologia	Geomorfologia	Solos	Densidade de Drenagem	Forma de Topo	Forma de Vale	Forma de Encosta	Amplitude	Declividade
11	Corumbataí e manchas Rio Claro	Colinas Amplas	Latossolos Vermelho-Amarelos	Média	Arredondado	Aberto	Convexa	Pequena	Baixa