

SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO EM AMBIENTES TERRESTRES: APLICAÇÃO EM OBRAS LINEARES

*Environmental Sensitivity Index to Oil Spills in Terrestrial Areas:
Application in Linear Works*

**Daniela Ferreira Ribeiro¹, Paulina Setti Riedel², Alexandre Magnum Leme¹
& Jose Eduardo Zaine²**

¹Universidade Estadual Paulista – UNESP
Programa de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente
Avenida 24A, 1515, CEP:13.506.900, Rio Claro, São Paulo, Brasil
danifebeiro@gmail.com, alexandremagnumleme@gmail.com

²Universidade Estadual Paulista – UNESP
Departamento de Geologia Aplicada
Avenida 24A, 1515, CEP:13.506.900, Rio Claro, São Paulo, Brasil
psriedel@rc.unesp.br, jezaine@rc.unesp.br

Recebido em 13 de Julho, 2017/ Aceito em 10 de Novembro, 2017
Received on July 13, 2017/ Accepted on November 10, 2017

RESUMO

O presente artigo apresenta os resultados referentes à aplicação de metodologia de análise de sensibilidade ambiental ao óleo para obras lineares em ambientes terrestres, especificamente enfocando os aspectos do meio físico em áreas adjacentes a um trecho da rodovia Washington Luís (SP 310), localizado em região sedimentar no estado de São Paulo. O principal objetivo consistiu em colaborar com o desenvolvimento de Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) para obras lineares, visto que estas correspondem aos principais modais de transporte de derivados de petróleo no país. Determinou-se como área de estudo um trecho de 47 km da rodovia Washington Luís, com uma zona de influência (buffer) de 5 km. Foi elaborada a compartimentação fisiográfica da região a fim de se obter unidades homogêneas de análise, para as quais se determinou o Índice de Sensibilidade Ambiental Terrestre (IST). Os aspectos do meio físico utilizados para elaboração do índice foram declividade, textura e espessura do solo, profundidade do nível d'água e permeabilidade. Os resultados obtidos foram analisados de forma integrada, gerando-se um IST com escala de 1 a 10. No geral, o trecho da rodovia apresentou valores intermediários e altos de sensibilidade, não apresentando valores de 1 a 4. 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 em SIG mostrou-se eficaz, tornando essa metodologia acessível e replicável.

Palavras-chave: Rodovias, Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo Terrestre, Áreas Sedimentares, Cartas SAO, Petróleo.

ABSTRACT

This paper presents the results concerning the application of a methodology for the Environmental Sensitivity Index (ESI) mapping in terrestrial areas applied to linear works, specifically related to the physical aspects in a stretch of

the Washington Luis Highway (SP 310), located in a sedimentary region in São Paulo state. The main objective was to collaborate with the development of Environmental Sensitivity Mapping for Oil Spills along linear works, since they are the main transportation mode of oil derivatives in the country. A 47 km stretch of the Washington Luis Highway was identified as a study area, with a buffer zone of 5 km. A physiographic compartmentalization was elaborated in order to obtain homogeneous zones with similar characteristics and then the Terrestrial Environmental Sensitivity Index (TESI) was determined. The aspects considered for index mapping were declivity, soil texture and thickness, water depth and permeability. The results obtained were analyzed in an integrated way, generating a TESI with a scale ranging from 1 to 10. In general, the highway stretch presented intermediate to high values of sensitivity, not presenting values from 1 to 4. It was concluded that the methodology of environmental sensitivity index to oil spills for terrestrial areas, specifically for a highway, was adequate to determine environments with higher and lower sensitivity, however the analyzed aspects should be adjusted according to the local environmental characteristics. In addition, tools proved effective, making this methodology accessible and replicable.

Keywords: Highways, Terrestrial Environmental Sensitivity Index, Sedimentary Areas, Index Environment Map, Oil.

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é uma das principais fontes de energia utilizada atualmente, compondo a matéria prima de diversos produtos, além de apresentar diversos derivados, através de processos de refino. De acordo com dados da Agência Nacional de Petróleo (ANP), no ano de 2015 o Brasil ocupou o quinto lugar no ranking de consumo de petróleo, com aproximadamente 3 milhões de barris/dia. Em relação à produção de derivados de petróleo, no ano de 2015, o Brasil produziu aproximadamente 120 milhões de m³ sendo o estado de São Paulo o principal produtor (ANP, 2015). O transporte desses produtos é realizado através de diferentes veículos transportadores, além de transporte marítimo, oleodutos e gasodutos. Dentro desse contexto apresentam-se os riscos que esse transporte pode gerar ao meio ambiente, em caso de acidentes envolvendo vazamentos. Os acidentes em ambientes terrestres podem ocorrer devido a falhas técnicas, como rompimento de dutos, descarrilamento de trens, mas são principalmente relacionados a acidentes envolvendo caminhões tanques, em rodovias.

De acordo com dados da CETESB, no ano de 2015, do total de acidentes ocorridos em rodovias, 25% corresponderam a derivados de petróleo. Assim, destacam-se as Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) como importantes ferramentas para o estabelecimento de estratégias adequadas de limpeza e redução dos possíveis impactos ambientais e sociais. As Cartas SAO constituem-se em instrumentos de planejamento e resposta a derrames de óleo, cujo objetivo primordial é

a localização de áreas mais sensíveis, visando à proteção desses locais (Jensen *et al.*, 1998).

Atualmente a maioria das pesquisas e mapeamentos de sensibilidade ambiental ao óleo concentra-se nas regiões litorâneas e em ambientes fluviais, sendo poucas as pesquisas ou as aplicações de metodologias em ambientes terrestres, sejam eles áreas adjacentes a rodovias, ferrovias ou dutos. Assim, o principal objetivo do presente artigo é apresentar os resultados da aplicação de uma metodologia de classificação de sensibilidade ambiental ao óleo dos ambientes terrestres, considerando uma obra linear, especificamente um trecho da rodovia Washington Luís (SP 310) localizada em uma região sedimentar no estado de São Paulo. Busca-se também colaborar com o desenvolvimento de metodologias para produção de Cartas SAO para os ambientes terrestres, especialmente obras lineares como rodovias, dutos e ferrovias.

2. SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO: BREVE HISTÓRICO

O conceito de Cartas SAO evoluiu a partir da década de 1970 nos Estados Unidos e teve grande impulso na década de 90, após o grave acidente com o navio petroleiro Exxon Valdez, que culminou na morte de diversos animais devido ao derramamento de milhões de galões de óleo no Alaska (LEACOCK, 2005). Devido aos impactos ambientais provocados pelo acidente, a NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) elaborou um guia para a produção dessas cartas visando sua padronização (NOAA, 1995). No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) elaborou um documento intitulado “Especificações e normas técnicas para

elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo”, no ano de 1996, que apresentou os índices de sensibilidade do litoral (ISL) adaptados às condições dos ambientes brasileiros, com uma escala de variação crescente, de 1 a 10, onde 1 representa a menor sensibilidade. De acordo com o MMA (2002), os mapas de sensibilidade ambiental para as áreas costeiras e marítimas devem apresentar os seguintes parâmetros: sensibilidade da costa, recursos biológicos sensíveis, incluindo habitats submersos, informações socioeconômicas e fontes potenciais de poluição por óleo e derivados. As Cartas SAO de toda a zona costeira e marinha do país podem ser consultadas na base virtual do MMA.

Em relação aos ambientes terrestres, a NOAA incluiu em sua última atualização (PETERSEN *et al.*, 2002) os ambientes lacustres, fluviais e palustres. Assim, destacam-se os 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). No Brasil, também surgiram trabalhos envolvendo regiões fluviais, como os trabalhos de Araújo *et al.* (2006), para a Região Amazônica; Beaumord e Ferreira (2008), para Itajaí, estado de Santa Catarina; Beneditti *et al.*, (2016) para um trecho do Rio Tietê no estado de São Paulo, entre outros.

No Brasil, também se destaca o trabalho de Mendes *et al.* (2005), que produziram um Mapeamento de Risco Ambiental – MARA para faixas de dutos, no qual busca-se identificar as áreas passíveis de serem atingidas por vazamentos de óleo e analisar as ações de contingência necessárias para estes locais. O índice de sensibilidade ambiental proposto baseia-se na biodiversidade, recuperação ambiental e sensibilidade dos habitats.

Também para obras lineares, especificamente rodovias e ferrovias, pode-se citar os trabalhos de Mattos (2008), Martins *et al.* (2013) e Cologna (2017). Mattos (2008) analisou a sensibilidade de uma rodovia no Rio Grande do Norte, com uma metodologia baseada na análise de aspectos estruturais, socioeconômicos, físicos e bióticos da rodovia e dados estatísticos relacionados a acidentes

ocorridos. Para cada parâmetro foi atribuído um peso e foi obtido o índice de sensibilidade ambiental. Martins *et al.* (2013) propôs um índice de sensibilidade ambiental terrestre (IST) utilizando ferramentas em SIG. Para a determinação do IST foram considerados declividade do terreno, textura e profundidade do perfil de alteração, profundidade do nível d’água e a permeabilidade relativa em relação ao comportamento e persistência do contaminante no terreno. A partir de uma análise gráfica, o autor realizou associações entre os resultados para obter apenas classes de sensibilidade que fossem adequadas à metodologia proposta pela NOAA/MMA. Cologna (2017) elaborou um atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Estrada de Ferro Carajás. A metodologia utilizada correspondeu a uma adaptação da proposta de Martins *et al.* (2013). Após uma análise integrada das informações a respeito das características físicas, biológicas e socioeconômicas da área, o autor dividiu a região em três unidades geoambientais e, em seguida, realizou a análise de sensibilidade ambiental com aplicação de um índice de sensibilidade com valores de 1 a 10.

Ainda em relação aos ambientes terrestres, citam-se estudos em diferentes áreas, como o trabalho de Santos (2008) com a elaboração de uma Carta SAO para posto de gasolina, no município de Rio Claro. Para a determinação da sensibilidade ambiental, a autora ponderou fatores do meio físico, biológico e socioeconômico e atribuiu pesos referentes à sensibilidade ao óleo de cada fator, e por fim realizou uma ponderação final dos resultados. Os índices de sensibilidade classificaram-se em alta, média e baixa sensibilidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O material e os métodos utilizados para a realização da presente pesquisa encontram-se detalhados nos tópicos a seguir:

3.1 Área de Estudo

A área de estudo corresponde a um trecho de 47 km da rodovia Washington Luís (SP 310), localizada em uma área sedimentar na região nordeste do estado de São Paulo. O trecho localiza-se na Região Administrativa de Campinas, entre as coordenadas de latitude 22° 14’ 92” S e 47° 43’ 40” W e 22° 30’ 94” S e 47°

22> 86» W, com uma zona de influência (buffer) de 5 km. A rodovia perpassa os municípios de Itirapina, Corumbataí, Analândia, Rio Claro, Santa Gertrudes, Cordeirópolis e Limeira (Figura 1).

A escolha da área justifica-se devido ao fato de a Rodovia Washington Luís ocupar o 4º lugar no ranking de rodovias com o maior número de acidentes envolvendo produtos perigosos no Estado de São Paulo (CETESB, 2015).

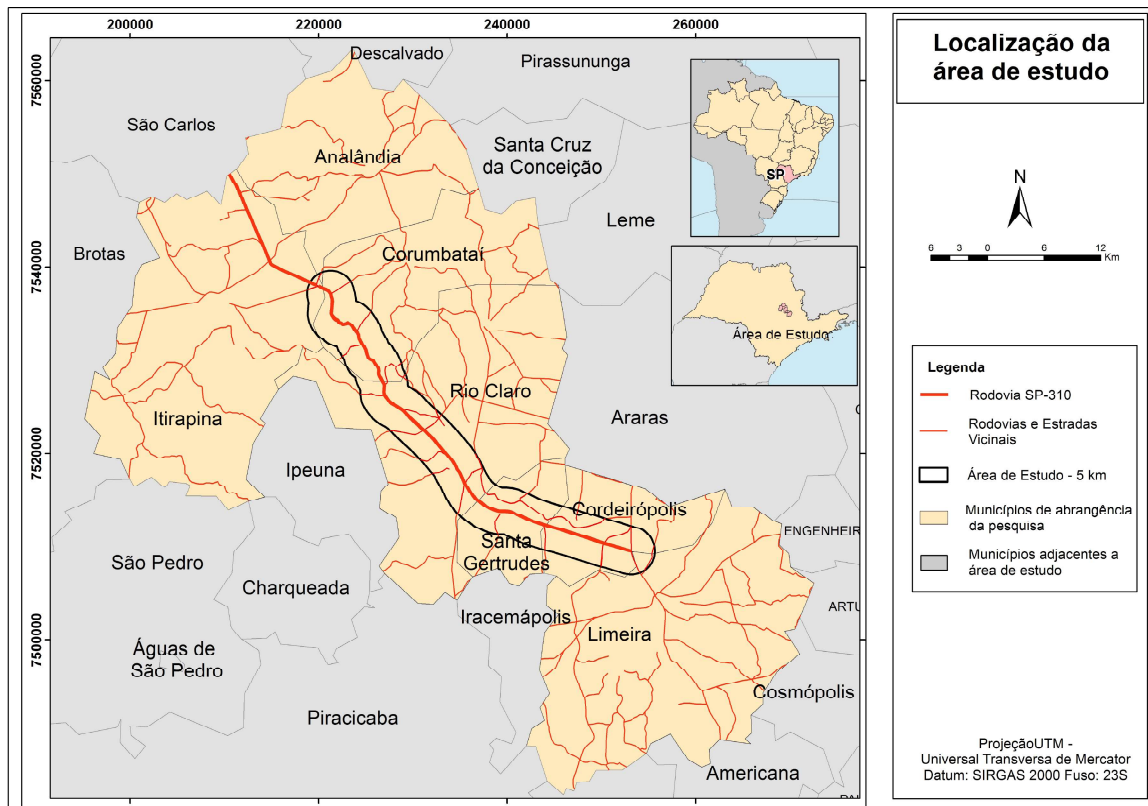


Fig. 1 – Localização da área de estudo.

3.1.1 Caracterização Geológica

A área de estudo insere-se no setor paulista do nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, com presença de unidades litoestratigráficas caracterizadas por Depósitos aluvionares e as formações Rio Claro, Botucatu, Piramboia, Corumbataí, Irati e Tatuí, além de manchas de intrusivas básicas associadas à Formação Serra Geral, marcada por diques de diabásio, responsável pelo caráter cristalino da porção noroeste da área de estudo (ZAINÉ, 1994).

3.1.2 Caracterização Geomorfológica

A área de estudo caracteriza-se por formas de relevo típicos da Depressão Periférica Paulista, com um relevo colinoso, de baixas declividades, marcado por Colinas Amplas e Médias (IPT, 1981). Na porção noroeste da área apresenta-se um “degrau” que diferencia as províncias geomorfológicas Cuestas Basálticas

da Depressão Periférica (ZAINÉ, 1994).

3.1.3 Solos

Ocorrem na área de estudo Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos, que são solos mais profundos, além de Argissolos Vermelhos-Amarelos, Gleissolos e porções de solos bastante rasos, caracterizados por Solos Litólicos (KÖFFLER, 1992).

3.2 Base Cartográfica

A base cartográfica utilizada para o desenvolvimento da presente pesquisa correspondeu a um mosaico de imagens ortorretificadas SPOT 5, coloridas, com 2,5m 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. Ressalta-se que essas imagens foram as mais atuais disponibilizadas pela CPLA, e apesar da defasagem com o período atual (2017) esse fato não acarreta em variação significativa para a pesquisa, pois o mapeamento da sensibilidade ambiental ao óleo é ancorado no meio físico e esse não apresenta modificações rápidas (anuais). O recorte segue a articulação 1:25.000 do IBGE, com datum SIRGAS 2000 e Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM). Foram utilizadas folhas topográficas na escala 1:10.000, nas quais as curvas de nível apresentam equidistância de 5 metros, do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. As cartas foram georreferenciadas e vetorizadas no software *ArcGIS* 10.2.2 (ESRI, 2015), sendo realizada a mudança de DATUM de Córrego Alegre para SIRGAS 2000, pois em 2005 o SIRGAS 2000 foi oficializado como o novo referencial geodésico para o SGB (Sistema Geodésico Brasileiro), conforme publicação da resolução 01/2005 do IBGE e, a partir de 2015, seu uso tornou-se obrigatório para os mapeamentos em território nacional, desta forma todos os dados obtidos de diversas fontes, foram padronizados para que não ocorressem conflitos de informação.

Utilizou-se a Base Territorial Ambiental Unificada na Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo (DataGEO), que constitui o Sistema Ambiental Paulista, desenvolvido pelo Instituto Geológico (IG/SMA-SP), em escala 1:50.000. Por meio desta base, foram obtidas as características físicas da área de estudo. Além disso, foram consultadas informações sobre poços de água, fornecidas pelo Relatório de Outorga do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (2016).

3.3 Compartimentação Fisiográfica

A classificação da sensibilidade ambiental ao óleo necessita do estabelecimento de unidades homogêneas do terreno para análise. No caso das áreas costeiras, as unidades de análise consideradas são praias, costões, mangues, estruturas artificiais, entre outros. Nos ambientes terrestres, torna-se mais complexo o estabelecimento destas unidades homogêneas, pois a variabilidade do terreno é baseada em características geológicas, pedológicas, de relevo e vegetacionais, dependendo dos

objetivos. Quaisquer que sejam estes objetivos, o estabelecimento de unidades homogêneas exige a utilização de critérios. No caso do presente trabalho, utilizou-se a compartimentação fisiográfica, definida como a identificação de áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das de áreas adjacentes (VEDOVELLO, 2000). Estas áreas são delimitadas por meio da utilização de imagens de sensoriamento remoto, a partir de técnicas de fotointerpretação, segundo a metodologia proposta por Soares e Fiori (1976), adaptada por Veneziani e Anjos (1982) para imagens orbitais, e aprimorada por Vedovello (2000) e Zaine (2011). Inicialmente utilizou-se de características litológicas, geomorfológicas e pedológicas da região para determinação de áreas homogêneas, utilizando como base mapeamentos realizados nos trabalhos de Peixoto (2010), IPT (1981) e EMBRAPA (2006), em formato *shapefile*, obtidas através das plataformas online Geobank (CPRM, 2013) e DataGeo (SMA, 2016).

Após a determinação dos compartimentos homogêneos de análise, optou-se pela realização de um detalhamento para a adequação dos compartimentos à escala 1:25.000. O detalhamento foi realizado de acordo com metodologia proposta por Zaine (2011), segundo o Quadro 1. 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.

Quadro 1: Síntese dos critérios adotados na compartimentação fisiográfica

ANÁLISE	CRITÉRIOS DE ANALISE
Densidade Textural	Densidade dos elementos de drenagem
Formas e Características do Relevo	Amplitude
	Declividade
	Forma de Encosta
	Forma de Topo

Para a análise da densidade de drenagem foi utilizado o mapa de drenagem efetuado a partir das imagens SPOT e folhas topográficas 1:10.000. A amplitude e declividade foram analisadas a partir dos mapas hipsométrico e de declividade da área de estudo, seguindo a

classificação proposta por Zaine (2011). Para a declividade, foram estabelecidos os seguintes intervalos de classes: 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, considerados aspectos auxiliares para a compartimentação, foram observados utilizando-se as imagens SPOT, apoiadas pela análise do Modelo Digital do Terreno (MDT), elaborado após a vetorização das folhas topográficas 1:10.000. Para a elaboração do MDT, foram utilizados os valores das curvas de nível, dos pontos cotados e as drenagens para que o produto final fosse suavizado e mais próximo possível do real, sem quebras bruscas ou platôs no terreno. Foi utilizado o método de triangulação e posteriormente gerados os produtos provenientes do MDT, os mapas hipsométrico e de declividade.

Os compartimentos obtidos a partir da aplicação destes critérios, constituíram-se nas unidades de análise da sensibilidade ambiental ao óleo, aqui denominados unidades de compartimentação.

3.4 Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo para Rodovias

Utilizou-se a metodologia proposta por Martins *et al.* (2013), que consistiu na elaboração de um Índice de Sensibilidade Ambiental ao Óleo Terrestre (IST) para a Estrada de Tamoios, localizada principalmente em uma área cristalina no estado de São Paulo. Assim, foram realizados ajustes para que a metodologia representasse de forma adequada as características da área sedimentar. Os fatores utilizados para a construção do índice de sensibilidade ambiental para rodovias foram: declividade, textura do material do perfil de alteração, profundidade do perfil de alteração, profundidade do nível d'água (lençol freático) e permeabilidade. Desta forma, primeiramente, cada fator foi analisado separadamente, levando em consideração a maior ou menor facilidade de percolação do óleo e contaminação do meio. Na segunda etapa, para o estabelecimento do índice de sensibilidade ao óleo, estes fatores foram analisados conjuntamente.

Com relação à declividade, tem-se que o mapa de declividade, por já ter sido gerado e classificado para fins de compartimentação fisiográfica, foi reempregado como fator de análise para a sensibilidade ao óleo, com os mesmos intervalos de classe. Considerou-se que áreas com baixa declividade (0 - 15%) apresentam alta sensibilidade ambiental ao óleo, pois o escoamento superficial é mais lento, favorecendo a penetração do óleo; média declividade (15 - 30%) apresentou sensibilidade intermediária; e declividade alta (acima de 30%) caracterizou-se por baixa sensibilidade, pelo fato de favorecer o escoamento superficial, o que diminui a penetração do óleo. Para a determinação da sensibilidade ambiental das unidades de compartimentação, com relação ao fator declividade, foi considerado o valor de declividade que ocorre com maior frequência dentro de cada unidade, e a este valor foi associada sua sensibilidade.

Com relação à textura do material do perfil de alteração, esta foi aferida a partir da realização de ensaio para textura em amostras de solo obtidas em expedições de campo. Em cada unidade de compartimentação 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. Com relação à sensibilidade ao óleo para este fator, levando-se em consideração a facilidade de percolação do óleo nas diferentes texturas, considerou-se que os perfis argilosos possuem menor sensibilidade; os perfis com argila e areia, sensibilidade intermediária e perfis arenosos alta sensibilidade.

O fator profundidade do perfil de alteração representa o valor médio do volume do material inconsolidado da área (VEDOVELLO, 2000). De acordo com Martins *et al.* (2013), as classes de profundidade foram assim determinadas: pouco espesso (<1m); espessura intermediária (1m-2m) e muito espesso (>2m). A obtenção dessas classes ocorreu em expedições de campo, através de medições de espessura do perfil de alteração localizadas em perfis expostos em cortes da rodovia e em estradas próximas. Nestes locais em específico, a cota da rodovia está

abaixo da cota dos cortes visíveis, entretanto, por se tratar de áreas homólogas são utilizados como uma média do compartimento, pois a rodovia em si apresenta áreas de corte e áreas de aterro, porém, o comportamento geral do perfil de alteração se mantém.

A sensibilidade ao óleo, considerando este fator, foi analisada de acordo com a facilidade de aplicação de técnicas de limpeza e combate, além da dinâmica de percolação de óleo no substrato. Desta forma, perfis espessos apresentam baixa sensibilidade, visto que estes retêm o contaminante e a remoção de solo, para fins de limpeza é operação possível. Os perfis pouco profundos são caracterizados com alta sensibilidade, onde a rocha é mais facilmente atingida. No caso de o óleo atingir a rocha, há a possibilidade do mesmo locomover-se rapidamente por fraturas, o que torna a situação de mais difícil controle.

A profundidade do nível d'água (NA) foi obtida estimando-se a espessura da zona insaturada, através da elaboração do mapa de profundidade de nível d'água da área. Para a realização do mapa foram utilizadas informações sobre poços de água presentes na área de estudo, além de extração das cotas das nascentes, obtidas pelas nascentes dos rios de primeira ordem nas folhas topográficas em escala 1:10.000, que foram ajustadas de acordo com as imagens de satélite, uma vez que a informação de drenagem das folhas topográficas é generalizada e estas não apresentam todos os canais de drenagem, principalmente omitindo os de primeira ordem, que são os pontos de afloramento do nível d'água e aqueles de interesse nesta pesquisa. Em posse dessas informações, através do software *Surfer* 10.2 (GOLDEN SOFTWARE Inc., 2011) foi realizada a interpolação dos dados e a obtenção da superfície correspondente ao topo do lençol freático. O método de interpolação utilizado foi o de Curvatura Mínima (SAWARM, 2005). A partir dessas informações foi confeccionada uma malha regular, a qual foi inserida no software *ArcGIS* 10.2.2 (ESRI, 2015), e subtraída da malha topográfica. A diferença entre as duas malhas resultou em uma malha que representa a profundidade do nível d'água, com relação à superfície topográfica. Assim, foram atribuídas as seguintes classes para o fator profundidade do NA: raso para profundidade de até 15m;

intermediário para NA entre 15 e 45m de profundidade; e profundo quando o NA se localiza abaixo de 45m. Com relação à sensibilidade para o fator profundidade do NA, considerou-se que áreas com NA rasos são mais sensíveis do que áreas com NA profundo, pois uma vez contaminado o NA, as técnicas de limpeza são altamente complexas e de eficiência limitada.

Com relação ao fator permeabilidade, esse está diretamente relacionado com a densidade de drenagem. 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 à 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 (SOARES & FIORI, 1976).

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 *et al.* (2013), por se tratar de uma análise relativa, que não possui valor padrão que correlacione diretamente com a permeabilidade, optou-se por utilizar a mesma análise relativa da densidade de drenagem sugerida por Zaine (2011) na etapa de compartimentação fisiográfica da área de estudo. Em posse do mapa de drenagem, avaliaram-se as densidades de drenagem, e foi realizado um cálculo dos valores de classe de densidade de maior ocorrência dentro de cada unidade de compartimentação. As classes de permeabilidade foram assim definidas: densidade de drenagem de 0 a 5/10 km² apresentam permeabilidade baixa para áreas cristalinas e alta para áreas sedimentares; 5/10 a 30 km² de densidade de drenagem apresentam permeabilidade intermediária para ambas as áreas; e > 30 km² de densidade de drenagem apresentam permeabilidade alta para

áreas cristalinas e baixa para áreas sedimentares. A sensibilidade ao óleo com relação à permeabilidade foi assim definida: sensibilidade alta relacionada à alta permeabilidade e sensibilidade baixa para regiões com baixa permeabilidade, levando em consideração a facilidade ou dificuldade de percolação do óleo no caso de um acidente.

Em posse das análises de sensibilidade de cada fator, partiu-se para a obtenção dos índices de sensibilidade ambiental das unidades de compartimentação. Optou-se por estabelecer pesos para cada classe dos cinco fatores analisados. A

cada classe, de cada fator, foi atribuído um peso, relacionado ao seu comportamento frente ao óleo. Os maiores pesos são sempre relacionados ao fato da classe ser mais sensível ao óleo. Assim, as classes com baixa sensibilidade ambiental receberam peso 1 e foram representadas pela cor verde; as classes de sensibilidade ambiental média receberam peso 2 e coloração amarela; e as que apresentam alta sensibilidade ambiental receberam peso 3 e tiveram representação em cor vermelha. O Quadro 2 apresenta os pesos representativos de cada classe e seus respectivos fatores.

Quadro 2: Fatores de análise selecionados para a determinação dos índices de sensibilidade ambiental ao óleo, com as respectivas classes e pesos

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
Permeabilidade	Baixa	1
	Média	2
	Alta	3

Após a determinação de pesos para cada classe, 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 de soma ponderada que 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 específico atribuído a eles. Após a multiplicação, ocorre a soma conjunta do valor de cada fator 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 fatores: 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, estes foram

adequados aos intervalos e cores correspondentes ao Índice de Sensibilidade Ambiental proposto pela NOAA/MMA, para ambientes costeiros e fluviais. Assim, o menor valor equivalente a 5 no índice de Sensibilidade Terrestre (IST) foi associado ao valor 1 no NOAA/MMA, e o maior valor equivalente a 15 no IST, foi associado ao valor 10A no NOAA/MMA.

A Figura 2 apresenta a adequação realizada, para compatibilização com os índices utilizados pelo NOAA/MMA, o que possibilita a integração entre ambientes costeiros, fluviais e terrestres.












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

Fig. 2 – Cores correspondentes ao ISA proposto pelo NOAA/MMA e seu valor equivalente para o ISR.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 escala na qual a análise foi produzida correspondeu a 1:25.000, classificando-se em uma tipologia de descargas de pequeno e médio volume com dispersão horizontal relativamente restrita enquadrando-se, segundo MMA (2002), a ações ao nível operacional.

Foram obtidos 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; 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.

A Figura 3 apresenta as unidades de compartimentação mapeadas, suas respectivas características determinadas e os índices de sensibilidade ambiental correspondentes.

A Figura 4 apresenta as unidades de compartimentação analisadas na área e a Figura 5 representa os índices de sensibilidade ambiental da rodovia Washington Luís referente à área de estudo.

As unidades de compartimentação foram agrupadas de acordo com os valores de sensibilidade ambiental apresentados, que variaram de 5 a 9, em cinco grupos, conforme segue.

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
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

Fig. 3 – Unidades de Compartimentação mapeadas e suas respectivas características litológicas, geomorfológicas e pedológicas.

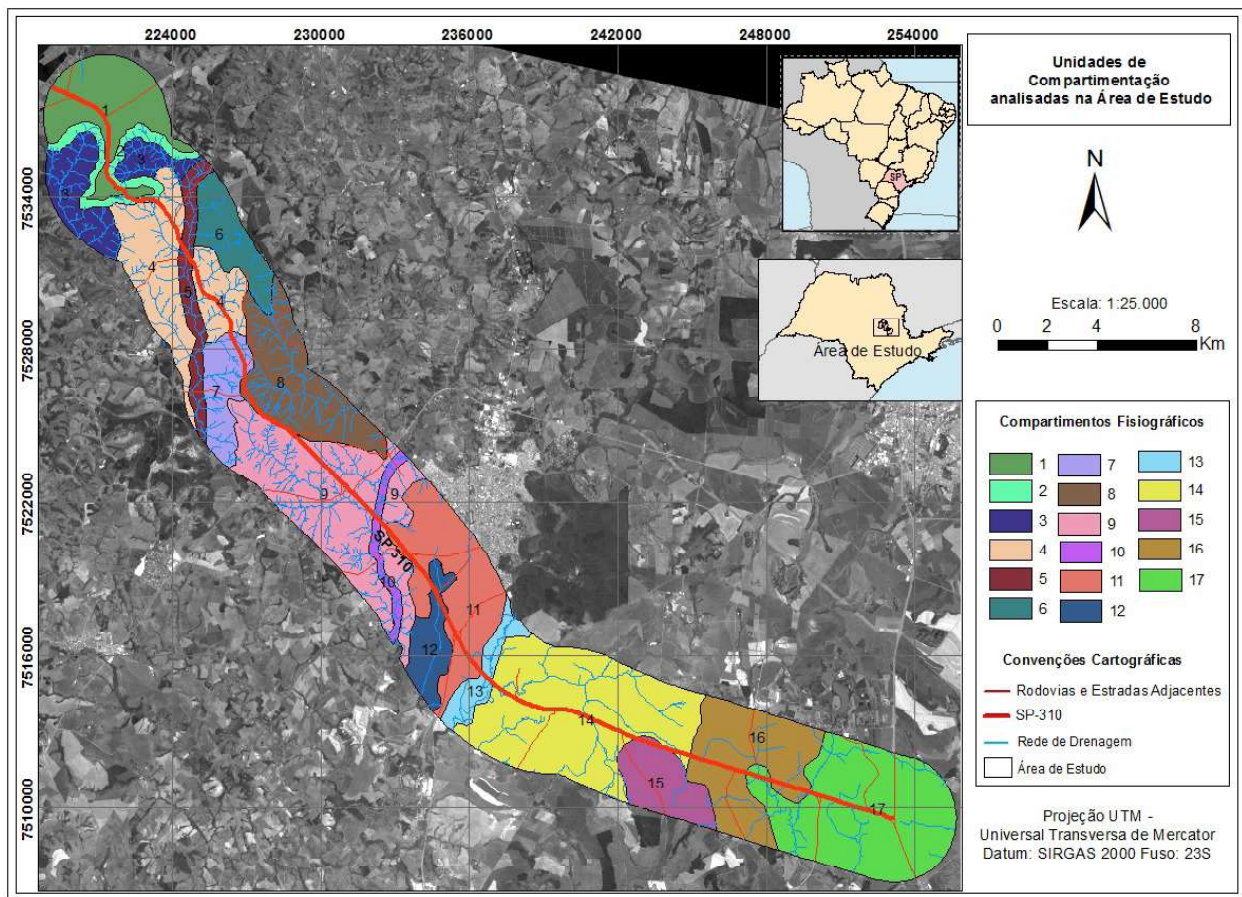


Fig. 4 – Unidades de compartimentação da área de estudo.

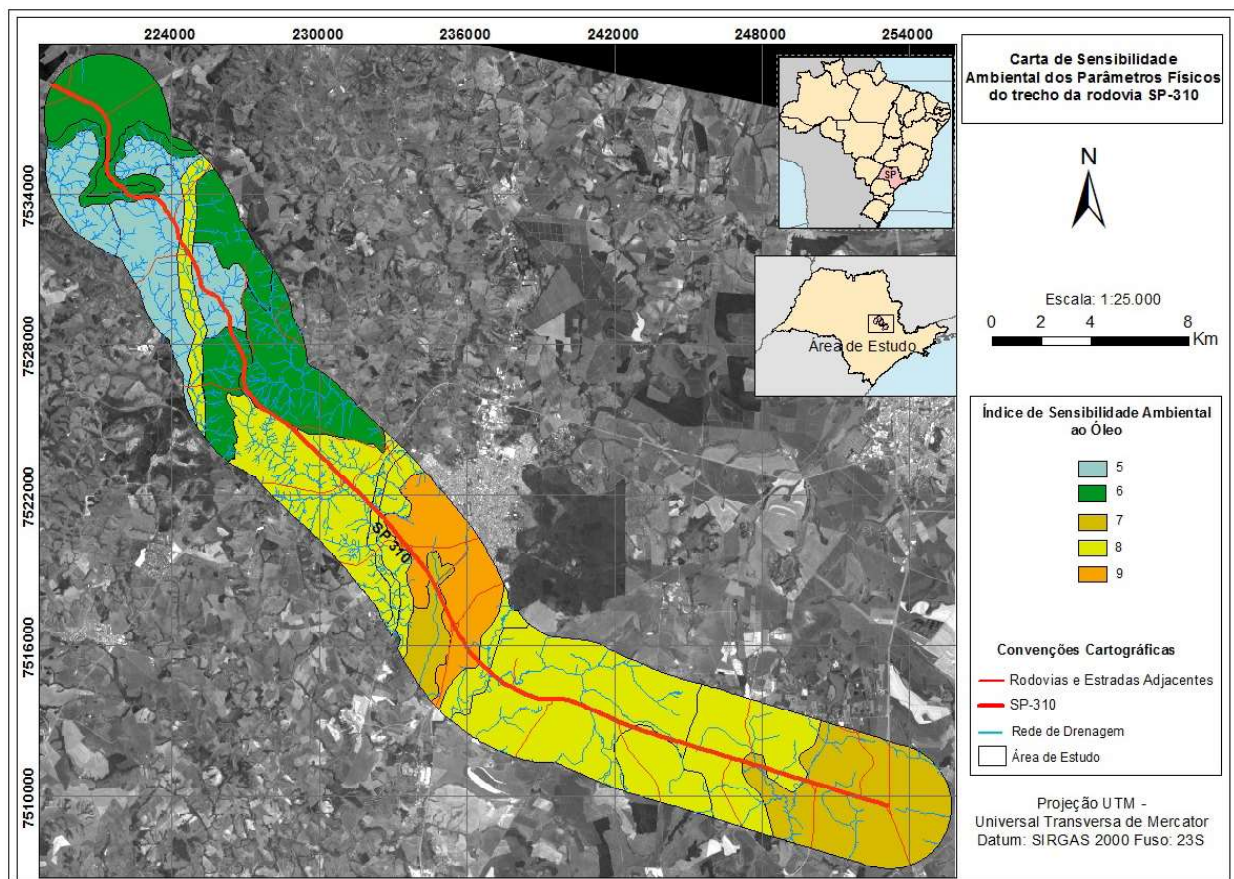


Fig. 5 – Índices de sensibilidade ambiental ao óleo.

4.1 Grupo I – Índice de Sensibilidade Ambiental Terrestre - 5

O Grupo I é representado por 2 unidades de compartimentação com índice 5, que embora seja valor mediano de sensibilidade, representa o menor índice da área de estudo (Quadro 3).

Em relação ao fator declividade, as unidades pertencentes ao Grupo I apresentaram valores variando entre baixa e média sensibilidade.

De acordo com Martins *et al.* (2013), a dinâmica do óleo no meio ambiente é amplamente influenciada pela declividade, pois dependendo

do ângulo de declive, o deslocamento pode ocorrer no sentido vertical ou horizontal. Dessa forma, em locais com valores altos e médios de declividade o óleo irá deslocar-se horizontalmente, com menor penetração no solo e, portanto, não irá atingir o lençol freático. A declividade também é um fator 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 em que o óleo se desloca verticalmente, atingindo a zona saturada (FUSSELL *et al.*, 1981).

Quadro 3: Fatores utilizados e os valores correspondentes de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo I

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

Em relação ao fator textura do solo, o Grupo I também apresentou valores baixos. As Unidades pertencentes a esse grupo caracterizam-se por 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 influencia 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 de a zona saturada ser atingida, contaminando o lençol freático e as chances de o óleo alcançar rochas fraturadas (MARTINS *et al.*, 2013). 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. Portanto, 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. Nesta situação a rocha é facilmente atingida. A remediação de ambientes com solos rasos torna-se complexa, sendo que solos mais profundos tendem a ser suscetíveis à 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, visto que este se correlaciona diretamente com a densidade de drenagem. Assim, a sensibilidade ambiental será maior quanto maior for a permeabilidade do meio, visto que há grande possibilidade de o contaminante atingir 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 fatores espessura do solo e profundidade do nível d'água, enquanto que para os demais parâmetros os valores foram baixos e médios.

4.2 Grupo II – Índice de Sensibilidade Ambiental Terrestre – 6

O Grupo II correspondeu a cinco unidades de compartimentação que apresentaram valores de IST classificados em 6, caracterizando uma sensibilidade média ao Grupo (Quadro 4).

Quadro 4: Fatores utilizados e os valores correspondentes de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo II

Unidade de Compartimentação	Declividade	Textura do Solo	Profundidade do Nível d'água	Espessura do Solo	Permeabilidade
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 correspondeu a uma área cristalina da região. Esta unidade, juntamente com a unidade 1, apresentou os maiores valores de hipsometria da área de estudo.

A unidade 2 foi 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 (ZAINÉ, 1994). Nesse local ocorrem afloramentos de diabásio, típicos da litologia dessa região, com ausência de solos em alguns locais. A área também se caracterizou 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 fator permeabilidade, devido à apresentar nas áreas sedimentares densidade de drenagem maior, portanto permeabilidade menor, e na área cristalina uma densidade de drenagem menor, assim apresentando permeabilidade menor.

4.3 Grupo III – Índice de Sensibilidade Ambiental Terrestre – 7

O Grupo III correspondeu às unidades de compartimentação 12 e 17, que apresentaram valores mais altos de sensibilidade ambiental ao óleo, classificando-se em 7 (Quadro 5).

A unidade de compartimentação 12 é caracterizada por um nítido contato entre um solo coluvionar e um solo residual argiloso. Ocorrem linhas de seixo que marcam a separação entre os horizontes B, formado pelo solo coluvionar, e o horizonte C, marcado pelo solo residual.

O Grupo III apresentou baixos valores de sensibilidade ambiental para o fator espessura do solo, visto que se caracteriza 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 facilidade de procedimentos de remoção e limpeza. Entretanto, as unidades apresentaram altos valores de sensibilidade para os demais fatores, o que conferiu ao grupo um valor maior de sensibilidade ambiental ao óleo.

Quadro 5: Fatores utilizados 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	Permeabilidade
12	Alta Sensibilidade	Média Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Média Sensibilidade
17	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade	Baixa Sensibilidade	Alta Sensibilidade

4.4 Grupo IV – Índice de Sensibilidade Ambiental Terrestre – 8

O Grupo IV caracterizou-se como o maior grupo, composto por 7 unidades de compartimentação, que foram caracterizadas com IST 8, o segundo maior índice da área de estudo (Quadro 6).

As unidades correspondentes ao Grupo IV caracterizam-se como áreas sedimentares e planícies aluviais, com valores de baixa declividade e amplitude média a baixa. Geologicamente são representadas pela 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 apresentou as unidades de compartimentação correspondentes às planícies aluviais dos rios Corumbataí, da Cabeça e Ribeirão Claro. O Grupo IV 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 se apresentou com altos valores, devido aos fatores declividade, profundidade de nível d'água e espessura do solo serem responsáveis por valores altos de sensibilidade em todas as unidades. Os menores valores de sensibilidade dentre os fatores considerados corresponderam à textura do solo, que se apresentou argilosa nas unidades 14, 15 e 16; e à baixa permeabilidade nas unidades 5, 9, 10 e 13, devido a altas densidades de drenagem.

4.4 Grupo V - Índice de Sensibilidade Ambiental Terrestre – 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 (Quadro 7).

Quadro 6: Fatores utilizados 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	Permeabilidade
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

Quadro 7: Fatores utilizados e os valores correspondentes de sensibilidade para as Unidades pertencentes ao Grupo V

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

A litologia da Unidade 11 caracteriza-se predominantemente pela Formação Rio Claro. 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 se caracterizou com o maior valor, pois não houve nenhum valor parcial de baixa sensibilidade para as classes dos fatores correspondentes à unidade 11.

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, 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.

5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa objetivou colaborar com o desenvolvimento de metodologias para a construção de Cartas de Sensibilidade ao Óleo (Cartas SAO) em ambientes terrestres, especificamente para obras lineares, através da aplicação de um sistema de índices de sensibilidade ambiental ao óleo terrestre (IST) para os aspectos do meio físico de áreas adjacentes a um trecho da rodovia Washington Luís (SP-310) localizado predominantemente em uma área sedimentar.

O trecho analisado da Rodovia Washington Luís (SP-310) possui sensibilidade variando entre intermediária a alta, pois apresenta valores altos de sensibilidade ambiental, classificados em 9.

A metodologia aplicada foi ancorada na

interpretação de imagens de satélite de alta resolução espacial, apoiada em cartas topográficas e em trabalhos de campo expeditos, para a realização da compartimentação fisiográfica, visando à definição de unidades homogêneas do terreno, numa região com predomínio sedimentar. A metodologia se mostrou eficaz, ao possibilitar a identificação das áreas de maior e menor sensibilidade ao óleo nas margens da rodovia, o que pode contribuir de forma significativa nas operações de emergência em caso de derramamentos. Nestas situações é primordial que se tenha informação sobre os ambientes mais sensíveis, para que estes sejam priorizados no atendimento, de forma a reduzir os potenciais impactos ambientais.

Em relação à utilização da proposta de Martins *et al.* (2013), esta deve ser readequada principalmente em relação às variáveis referentes à textura do solo, pois em áreas sedimentares a percolação do contaminante está diretamente relacionada com as características de textura e permeabilidade dos solos. De acordo com Martins *et al.* (2013), os solos argilosos apresentam baixa sensibilidade ambiental devido ao escoamento lento nesse tipo de textura. Assim, 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. Portanto, 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. Em relação aos ambientes terrestres, a análise da sensibilidade ambiental deve utilizar os parâmetros de maior relevância às realidades locais.

A compartimentação fisiográfica, com posterior inferência de propriedades de interesse à sensibilidade ambiental ao óleo, constituiu-se em metodologia simples e de baixo custo. Embora aqui aplicada ao óleo e em ambiente rodoviário, a metodologia pode ser estendida ao transporte de diversos produtos perigosos, desde que sejam avaliadas as condicionantes de seu comportamento no substrato rochoso e no solo, com relação à sensibilidade ambiental. A metodologia pode ser também aplicada em diferentes modais e, inclusive, integrar estudos de impactos ambientais (EIA) de forma a apoiar

ações de emergência em acidentes que envolvam derrames desses produtos.

A partir dos resultados obtidos, seria recomendado que a análise da sensibilidade ambiental ao óleo para os ambientes rodoviários fosse priorizada pelos órgãos ambientais, principalmente no estado de São Paulo, devido ao grande fluxo de transporte de derivados de petróleo neste modal, onde acidentes envolvendo esses produtos podem ocasionar sérios prejuízos socioeconômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO – ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis 2015**. ANP, Rio de Janeiro, 2015.

ARAÚJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. **Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo: ambientes costeiros, estuarinos e fluviais**. Petrobras: Jauá, Rio de Janeiro 2006. 168p.

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

BENEDITTI, C.A.; RIEDEL, P. S.; LUPINACCI, C. M.; MILANELLI, J. C. C.; AGUILAR, R. L. Mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental ao óleo em trecho do rio tietê. **Geociências**, São Paulo, v. 35, p. 220-230, 2016.

BEYNON, L. R.; GÖDJEN, H.; LILIE, R. H. ASTON, G. H. R.; SIBRA, P. STAPLEFORD, J. K.; A field guide to inland oil spill clean-up techniques. **CONCAWE**. Report n°. 10/83. 1983.

COLOGNA, F. S. **Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Estrada de Ferro Carajás**. (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais). Instituto Tecnológico Vale – Desenvolvimento Sustentável. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Cadastro de Emergências Químicas - Quadro de**

- estatísticas 2015**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/estatisticas/estatisticas.asp>>. Acesso em 03 abril. 2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p
- ESRI. **ArcGIS Desktop: Release 10**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2015.
- GOLDEN SOFTWARE INC. **Surfer 10.2** Golden Software, 2011.
- HAYES, M. O.; MICHEL, J.; DAHLIN, A. **Identifying and mapping sensitive resources for inland area planning**. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, 1995, California. *Journal...* California, 1995. p. 365-371.
- HAYES, M. O.; MICHEL, J.; MONTELLO, T. M. **The reach sensitivity index (RSI) for mapping river and streams**. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, 1997, California. *Journal...* California, 1997. p. 343-350.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. 1981. São Paulo. Série Monografias. n 5. 2v.
- JENSEN, J. R.; HALLS, N. J.; MICHEL, J. A system approach to environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spill contingency planning and response. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 64, n.10, p. 1003-1014. 1998.
- LEACOCK, E. **The Exxon Valdez oil spill. Environmental Disasters**. New York: Facts on File, Inc. 2005. 100p.
- 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.
- MARTINS, P. T. A.; RIEDEL, P. S.; MILANELLI, J. C. C.; STURARO, J. S. Carta da Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo em Rodovias: aplicação piloto na Estrada dos Tamoios (SP-099), estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**. v. 65, n 66/1, p. 59-74. 2013.
- MATTOS, M. B. C. **Application of oil spill environmental sensitivity analyses to Brazilian road networks**. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, 2008, California. *Journal...* California, 2008. p. 169-175.
- MENDES, R. F.; MINNITI, V.; LOPES, C. F.; MILANELLI, J.; TORRES, C.; YOGUI, R.; RODRIGUES, G.; MARIZ, E. **MARA – Elaboração de metodologias para análise dos riscos ambientais**. In: RIO PIPELINE CONFERENCE & EXPOSITION, 2005, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, 2005.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília: MMA, 2002, 107p.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - NOAA. **Sensitivity mapping of inland areas: Technical support to the Inland Area Planning Committee Working Group**. USEPA Region 5. HAZMAT Report 95-4. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. 54 p. 1995.
- PEIXOTO, C. A. (Org.). 2010. **Geodiversidade do estado de São Paulo**. São Paulo: CPRM. 176 p. + 1 DVD-ROM.
- PETERSEN, J.; MICHEL, J.; ZENGEL, S.; WHITE, M.; LORD, C.; PLANK, C. **Environmental Sensitivity Index Guidelines**. National Oceanic and Atmospheric Administration. v. 3.0. 2002. 89p.
- SANTOS, S. M. **Proposta de elaboração de Carta de Sensibilidade Ambiental Aplicada a Postos de Combustíveis em Rio Claro – SP**. 2008. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.
- SOARES, P. C. & FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em Geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p.71-104, 1976.
- 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

VENEZIANI, P. & ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia.** São José dos Campos, INPE, 54p. (INPE-2227-MD/014). 1982.

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

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.

ZENGEL, S.; HAYES, M. O.; MICHEL, J.; WHITE, M. **Integrated planning front the mountains to the sea: environmental sensitivity mapping in the Caribbean.** In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, 2001a, p. 1-5, 2001a.

ZENGEL, S.; HAYES, M. O.; MICHEL, J.; ROBERTSON, A. **Sensitive areas planning for inland South Florida: web and GIS tools.** In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, 2001b, p. 789-796, 2001b.