

Áreas suscetíveis a acidentes com transporte rodoviário de produtos químicos perigosos em trecho da BR-101 no estado de Alagoas

Silvana Quintella Cavalacanti Calheiros¹
Esdras de Lima Andrade²

^{1,2}Universidade Federal de Alagoas - UFAL/IGDEMA

Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, Maceió - AL, Brasil, CEP: 57.072-900

¹qsilvana@uol.com.br; ²ezrandrade@gmail.com

Abstract. *This study represents the second of three steps, joining the dangerous factors for the identification of environmental risk areas to accidents involving transportation of dangerous goods. Thus integrating the parameters that directly influence the definition of an area which has weaknesses of the consequences of chemical spill and spread of fire from accidents and can thus be in a help document in understanding and prevention of this type of claims. The database used was composed of three vectorial maps, corresponding to soil permeability, drainage network density and land use and land cover; in the range of 1:50.000, the conversion is proceeding in a raster structure, thereby allowing integration into QGIS software. The results showed that 50% of the analyzed area of 93,600 hectares is the level Susceptibility Average, 30% High Susceptibility, 16% Low Susceptibility and 4% to the level of Very High Susceptibility. According to planimetries made this last class, its scope, basically restricted to the dimensions of the main rivers in the mid-southern part of the study area, where there is a higher slope to 20%. It was concluded that the main responsibility in determining the partitioning of the area were the soil permeability parameters and expressions of the features of land use and vegetation cover.*

Palavras-chave: geoprocessamento, produtos perigosos, rodovia, transporte, suscetibilidade.

1. Introdução

O Brasil concentra aproximadamente 67% do volume de cargas transportadas através da sua malha rodoviária (INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN, 2016) e esse percentual tende a aumentar em função da descentralização dos polos fabris pertencentes aos grandes centros industriais, e isso tem se dado muito em função da deseconomia de aglomeração, emergentes no país.

Considerando que no Brasil a maior parte do transporte de cargas, inclusive produtos perigosos, é realizado através das rodovias e que os acidentes rodoviários representam a maior parte dos atendimentos a emergências realizados pelos órgãos ambientais, o tema transporte terrestre (principalmente o rodoviário) de produtos perigosos é extremamente relevante e merece atenção especial no contexto dos órgãos competentes para que seja garantida a qualidade ambiental no país.

São considerados produtos perigosos todos aqueles que têm o poder de causar danos ou que representem risco à saúde humana, ao meio ambiente ou para a segurança pública, e estão relacionados para o transporte, de acordo com o Decreto nº 96.044, de 18/05/1988, que aprovou o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.

O objetivo deste artigo é apresentar as áreas que apresentam níveis de suscetibilidade associado ao risco ambiental de iminência a acidentes com produtos perigosos na área de influência do trecho da rodovia BR-101, selecionado para o estudo; fazendo uso de técnicas de geoprocessamento sobre parâmetros naturais e antrópicos.

Diante disso, o mapeamento das áreas suscetíveis compõe parte importante no conhecimento prévio do potencial de segmentos ou trechos rodoviários em promover ocorrências danosas ao meio ambiente e a saúde humana; sendo, portanto, a partir dessa informação o auxílio na construção de um sistema de prevenção de acidentes dotado de planejamento estratégico e ações integradas direcionadas a determinada configuração de aspectos evidenciados na via em questão.

De acordo com Enomoto (2004), mapeamentos desta natureza constituem-se numa ferramenta auxiliar muito poderosa no controle e prevenção de acidentes.

2. Localização e caracterização da área

2.1 Localização

A área de estudo situa-se entre as coordenadas geográficas $9^{\circ}52'35''$ e $9^{\circ}13'42''$ de latitude sul e $36^{\circ}10'34''$ e $35^{\circ}44'53''$ de longitude oeste, estendendo-se por uma área de aproximadamente 93.600 hectares; abrangendo partes de dez municípios situados na porção leste de Alagoas (Figura 1), ora cortados pela BR-101, ora envolvidos por sua área de influência.

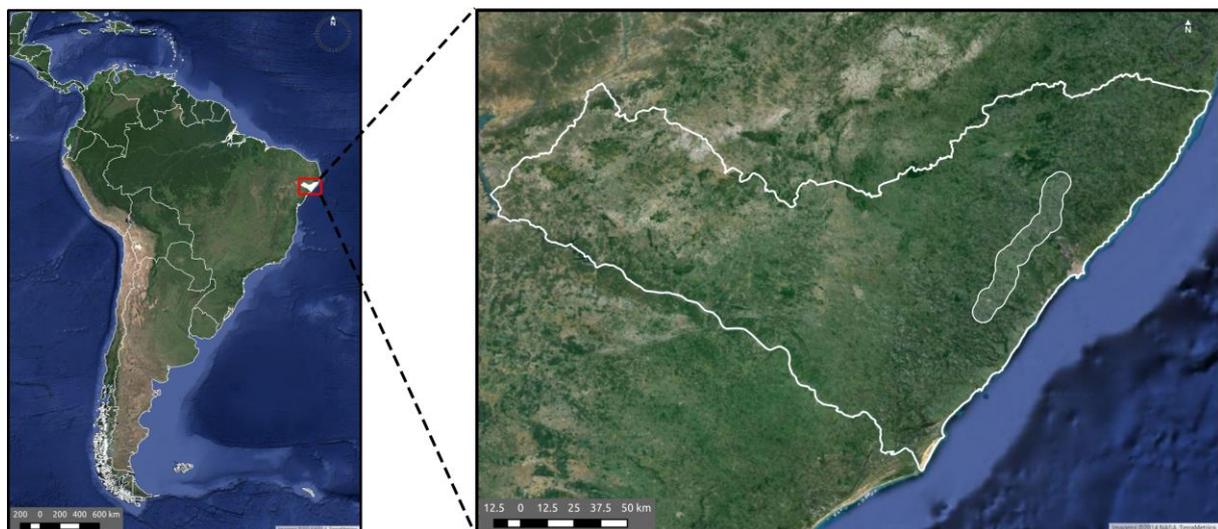


Figura 1. Localização da área de estudo

A área em questão corresponde a uma área de influência de 5 quilômetros a partir do eixo central do trecho da rodovia BR-101 que se inicia na divisa entre os municípios de São Miguel dos Campos e Jequiá da Praia, encerrando-se na divisa entre os municípios de Messias e Flexeiras. A priorização para a seleção deste primeiro trecho da rodovia BR-101 a receber a análise se baseou no inventário de ocorrências registrados pela Polícia Rodoviária Federal como sendo o trecho que corresponde àquele de maior concentração de acidentes com veículos que transportam cargas perigosas nesta rodovia, no estado de Alagoas.

2.2 Procedimentos metodológicos

A abordagem teórica/conceitual circunscrita a esse estudo está estruturada no tripé análise ambiental, seleção de áreas e geoprocessamento (SILVA; CARVALHO FILHO, 1993). Para a seleção de áreas que apresentam fatores de suscetibilidade ao risco de acidentes com produtos perigosos, definiu-se os parâmetros integrantes na avaliação os dados de **Densidade da Rede de Drenagem, Permeabilidade do Solo e Uso da Terra e Cobertura Vegetal**.

A escala definida para a elaboração dos planos de informação foi de 1:50.000, baseada na cartografia do IBGE (1985) através das Cartas Topográficas da Região Nordeste do Brasil, folhas Atalaia (SC-24-X-D-VI-2), Rio Largo (SC-25-V-C-I-3), São Miguel dos Campos (SC-24-X-D-VI-4) e Pilar (SC-25-V-C-I-1).

2.2.1 Elaboração da base de dados

Definida a escala, sucedeu-se a elaboração da base de dados geográfica, descritos a seguir, para posterior integração dos dados.

A **Densidade da Rede de Drenagem** é uma boa indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de escoamento das águas superficiais. Definida por Horton (1945), ela expressa a relação entre o comprimento total dos cursos d'água em quilômetros (sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes) de uma determinada bacia hidrográfica e a sua área total em quilômetros quadrados.

De acordo com Christofolletti (1979; 1980) o cálculo da densidade de drenagem compila em um único plano de informação o entendimento de outras áreas do conhecimento como a geomorfologia, o clima, os solos e o relevo, fornecendo uma visão sintetizada do todo, sendo, portanto, de grande importância como instrumento de análise da paisagem.

Na análise do risco envolvendo transporte rodoviário de produtos perigosos, a densidade de drenagem é de grande valia pois pode influenciar no escoamento superficial dos produtos químicos, drenando-os para corpos d'água a jusante do local do sinistro.

Para Carvalho e Silva (2006), as bacias hidrográficas possuem densidades de drenagem com valores que variam de 0 a mais de 3,5, sendo qualificados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Tipos e classes de densidade da rede de drenagem

| Tipos de Densidade de Drenagem | Classes |
|--------------------------------|------------------------------|
| Drenagem pobre | < 0,5 km/km ² |
| Drenagem regular | 0,5 - 1,5 km/km ² |
| Drenagem boa | 1,5 - 2,5 km/km ² |
| Drenagem muito boa | 2,5 - 3,5 km/km ² |
| Drenagem muito boa | > 3,5 km/km ² |

A **Permeabilidade do Solo** indica a maior ou menor facilidade da percolação de fluidos nas camadas mais profundas do solo. A permeabilidade depende principalmente do tamanho e arranjo dos grãos do solo, do índice de vazios, das características do fluido que escoar e da temperatura. Quanto menor for o diâmetro das partículas, menores serão, também, os canais de fluxo em seu interior e, conseqüentemente, menor a permeabilidade. Um bom teor de matéria orgânica diminui a permeabilidade excessiva dos solos arenosos, e nos solos argilosos, ao contrário, aumenta a permeabilidade devido a agregação dos grãos em grumos graúdos e estáveis, o que resulta na formação de poros maiores.

A função da permeabilidade do solo se dá em virtude da textura dos seus respectivos tipos de solos, considerando o risco de o lençol freático ser atingido por produto perigoso, em caso de acidente.

Os tipos de solos foram agrupados de acordo com sua textura em: argiloso, textura média, arenosos e hidromórfico (Tabela 2), seguindo o Manual Técnico Pedológico do IBGE (1994) adaptado por Pedro (2006).

Tabela 2. Textura e permeabilidade dos tipos de solos

| Solo | Textura | Permeabilidade |
|-----------------------------|------------------|----------------|
| Latossolo Amarelo (LA) | Argilosa | Baixa |
| Neossolo Litólico | Siltoso | Baixa |
| Argissolo Amarelo | Arenosa a Média | Média |
| Argissolo Acinzentado | Média a Argilosa | Média |
| Argissolo Vermelho-Amarelo | Média a Argilosa | Média |
| Neossolo Flúvico | Arenosa a Média | Alta |
| Espodossolo Ferrihumilúvico | Arenosa | Alta |
| Neossolo Quartzarênico | Arenosa | Alta |
| Gleissolo | Hidromórfica | Muito Alta |

O mapa de **Uso da Terra e Cobertura Vegetal** foi elaborado a partir de imagens do satélite RapidEye, com resolução espacial de 5 metros, compatível com a escala 1:50.000. As cenas foram registradas no ano de 2011 e correspondem às seguintes *tiles*: 2434527, 2434528, 2434628, 2534501, 2534601, 2534701, 2534702, 2534801 e 2534802.

De posse destas cenas foi possível elaborar o plano de informação de Uso da Terra e Cobertura Vegetal com as classes (Agropecuária, Áreas Urbanas, Corpos d'Água, Remanescentes de Mata Atlântica e Vegetação em Regeneração (Capoeira), sendo estas as mais representativas sob a perspectiva de sua abrangência no território.

A elaboração do mapa de uso da terra se deu através do processo de classificação não supervisionada usando o software Spring 5.2.6 através do algoritmo K-Means. A composição RGB adotada no processo de classificação foram as bandas 5, 4 e 1.

K-Means é um método de Clustering que objetiva particionar N observações dentre K clusters (conjuntos) onde cada observação pertence ao cluster (conjunto) mais próximo da média. Isso resulta em uma divisão do espaço de dados em um Diagrama de Voronoi.

Cabe destacar que, em consequência da data de registro da imagem do satélite RapidEye coincidir com o período de colheita/rebrotamento da cana-de-açúcar, a assinatura espectral do alvo Pasto confundiu-se com a do alvo Cana-de-açúcar, já que o solo pode ter sido coberto pelas folhas da gramínea ou estar em porte inicial de rebrotamento (inferior a 0,4 metro). Por este motivo se optou em agregar ambos os alvos em uma única classe onde foi possível identificar as duas culturas numa mesma classe, chamada de Agropecuária.

Aliou-se a isto a classe Solo em Preparo Para o Cultivo, uma vez que as áreas identificadas correspondiam à atividade canavieira, optou-se por também agregá-la à classe Agropecuária. Desta forma, assertamos que as categorias Pasto, Cana-de-açúcar e Solo em Preparo Para o Cultivo passaram a ser identificado no mapeamento como Agropecuária.

2.4 Integração dos dados

A integração de dados consiste no cruzamento dos mapas utilizando-se média aritmética ponderada, onde cada mapa é ponderado pela utilização de pesos, segundo sua importância relativa. Postula-se que o conjunto de mapas compõe 100% da responsabilidade pela situação ambiental analisada. As classes recebem notas (de 0 a 10), segundo a possibilidade de associação da classe com a ocorrência do fenômeno estudado; resultando, portanto, em um mapa final que expressa níveis semelhantes de suscetibilidade para a ocorrência do tema abordado (CALHEIROS, 2000).

Os pesos e notas foram atribuídos aos parâmetros de Densidade da Rede de Drenagem, Permeabilidade do Solo e Uso da Terra e Cobertura Vegetal, tomando como base o conhecimento teórico e prévio da área em estudo e também nas observações e anotações em campo, visando calibrar os pesos e notas, e finalmente atingir um produto próximo a realidade (Tabela 3).

Estes parâmetros correspondem aos elementos da paisagem que detêm considerável sensibilidade a danos provenientes de derramamento de produtos químicos perigosos, ou seja, são áreas consideradas ambientalmente frágeis.

Os parâmetros Densidade de Drenagem e Uso da Terra e Cobertura Vegetal contribuíram com peso 30%, cada, sendo o primeiro, justificado pela sua maior representatividade territorial, ou seja, há sempre a presença de canais de escoamento de águas pluviais e fluviais que funcionam, em caso de derramamento de produtos químicos perigosos, como agente de transporte, catalisando o dano à outras partes do território.

O segundo parâmetro, por sua vez, recebeu o mesmo peso em função da severidade do evento na biodiversidade, neste caso, os menores valores foram para Agropecuária, ou seja, um ambiente muito antropizado, portanto, pouco vulnerável. Os maiores valores foram atribuídos aos remanescentes de matas e corpos d'água, portanto, muito vulneráveis.

Tabela 3. Distribuição de pesos e notas para os parâmetros e respectivas classes utilizados na integração

| Parâmetro | Peso | Classes | Notas |
|----------------------------------|------|---------------------------------|-------|
| Densidade de Drenagem | 30% | 0 – 0,55 km/km ² | 0 |
| | | 0,55 – 1,10 km/km ² | 2 |
| | | 1,10 – 1,65 km/km ² | 4 |
| | | 1,65 – 2,20 km/km ² | 6 |
| | | 2,20 – 2,75 km/km ² | 8 |
| | | > 2,75 km/km ² | 10 |
| Permeabilidade do Solo | 40% | Muito Baixa | 2 |
| | | Baixa | 4 |
| | | Média | 6 |
| | | Alta | 8 |
| | | Muito Alta | 10 |
| Uso da Terra e Cobertura Vegetal | 30% | Agropecuária (Cana e Pasto) | 3 |
| | | Áreas Edificadas | 1 |
| | | Remanescentes de Mata Atlântica | 9 |
| | | Vegetação em Regeneração | 8 |
| | | Corpos d'Água | 10 |

Destaca-se neste grupamento de parâmetros a Permeabilidade do Solo, com peso 40% de participação na avaliação ambiental, sendo, portanto, superior aos outros dois, devido à possibilidade de infiltração dos produtos que podem atingir o lençol freático, interferindo, desta forma, negativa e diretamente na qualidade das águas subterrâneas e indiretamente a vida humana.

O procedimento de integração de dados em ambientes de Sistemas Geográficos de Informação (SGI) se dá através da aplicação da Calculadora Raster, no qual é possível construir expressão matemática que permita o entrecruzamento dos planos de informação e, como resultado desta operação será o mapa síntese, considerando os pesos e as notas atribuídas.

3. Resultados e discussão

O produto da integração dos mapas resultou num mapa sinótico contendo 7 classes, correspondentes às notas alcançadas que variaram de 3 a 9, sendo reclassificadas em apenas 4 classes em escala nominal, de maneira que representassem cartograficamente os níveis/ graus de suscetibilidade. Para isto, definiu-se o agrupamento com base nas proximidades dos valores das notas e nominando-as por conseguinte como Baixa, Média, Alta e Muito Alta. No mapa síntese não foram retornadas as notas de 0 a 2 e 10, portanto, não registrou-se áreas de valores muito baixa.

Para que esse agrupamento fosse possível, utilizou-se o conceito de transposição das classes que se encontravam na escala ordinal (quantitativa) para a escala nominal (qualitativa) uma vez que essas classes permitem agrupamentos de categorias por similaridade, definido por Xavier-da-Silva (2000).

Por esta razão, as notas 3 e 4 foram agrupadas em uma única classe e renomeada para áreas de **Baixa Suscetibilidade** à acidentes com produtos perigosos. Seguindo a lógica, as notas 5 e 6 foram aglutinadas na categoria **Média Suscetibilidade**, as notas 7 e 8 tornaram-se **Alta Suscetibilidade** e, a nota 9 ocorreu isoladamente, não necessitando ser agrupada, uma vez que não houve ocorrência da nota 10. Por conta disto, a nota 9 foi reclassificada para

áreas de **Muito Alta Suscetibilidade** à acidentes com transporte rodoviário de produtos perigosos (Tabela 4).

Tabela 4. Mensuração das classes de suscetibilidade na área analisada.

| Classes | Área (ha) | Área (%) |
|---------------------|------------------|---------------|
| Muito Alta (Nota 9) | 3.910,80 | 4,17 |
| Alta (Notas 7 e 8) | 27.225,92 | 29,09 |
| Média (Notas 5 e 6) | 47.475,06 | 50,76 |
| Baixa (Notas 3 e 4) | 14.950,46 | 15,98 |
| Totais | 93.562,24 | 100,00 |

Após a elaboração do mapa de áreas que apresenta os graus de suscetibilidade do meio ao dano ambiental decorrente do risco de acidentes rodoviários de cargas perigosas (Figura 2), foi possível realizar mensurações sobre o mapa, o qual resultou na informação de que 50,76% da área avaliada possui Média Suscetibilidade, isto é, a sensibilidade de o ambiente de sofrer os danos decorrentes de acidentes com produtos perigosos, caracterizando-se assim, como a de maior abrangência espacial. Foi possível constatar ainda que outros 29,09% foi classificada como de Alta Suscetibilidade, 15,98% como Baixa Suscetibilidade e, apenas 4,17% da área analisada, é tida como de Muito Alta Suscetibilidade.

A categoria **Muito Alta Suscetibilidade** se distribui geograficamente de forma esparsada em vários fragmentos, porém, adensados basicamente em quatro porções da área estudada. A maior representatividade situa-se nas encostas e vales do riacho Garça Torta, afluente do rio Mundaú, no município de Rio Largo, meio-norte da área estudada. Outros dois adensamentos também ocorrem neste município e correspondem ao lago da represa da usina Santa Clotilde e ao longo da vertente vegetada dos afluentes de segunda ordem do rio Mundaú, desde o município de Murici, passando por Messias e findando-se em Rio Largo. Há ainda uma pequena representação desta classe no rio Salgado, na planície de inundação do rio Paraíba do Meio e a laguna Manguaba, no município de Pilar.

A predominância das manifestações desta classe se dá em áreas de solos considerados de textura areno-argilosa, considerados, portanto, de média a alta permeabilidade, a exemplo dos Neossolos Quartzarênicos e Flúvicos e Argissolos Amarelos; estando diretamente associados a relevos planos e ondulados, respectivamente. São áreas que comportam, ora corpos d'água, ora remanescentes de floresta ombrófila densa. Estão relacionadas a presença de uma densa rede de drenagem. Com uma ocupação espacial de apenas 3.910,80 hectares, o que corresponde a 4,17% da área total analisada é a classe que detém a menor representatividade geográfica.

A classe **Alta Suscetibilidade** cobre uma área de 27.225,92 hectares, ou seja, 29,09% da área de estudo. Em termos espaciais, é a segunda maior abrangência. Compreende a quase totalidade das bacias hidrográficas, inseridas na área estudada, dos rios Meirim, Mundaú, Satuba, Salgado, Sumaúma e São Miguel.

Estende-se territorialmente de norte a sul na área de estudo, sobretudo, em locais de solos tipificados como Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos. Em menor escala, expande-se sobre os Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos; este último no fundo dos vales dos rios acima citados.

No segmento norte da área de estudo, abrangido pelas feições desta classe, em termos dos usos da terra, predominam os agropecuários, seguidos do maciço vegetacional da Estação Ecológica de Murici, envolvendo partes dos territórios de Flexeiras, Messias e Murici.

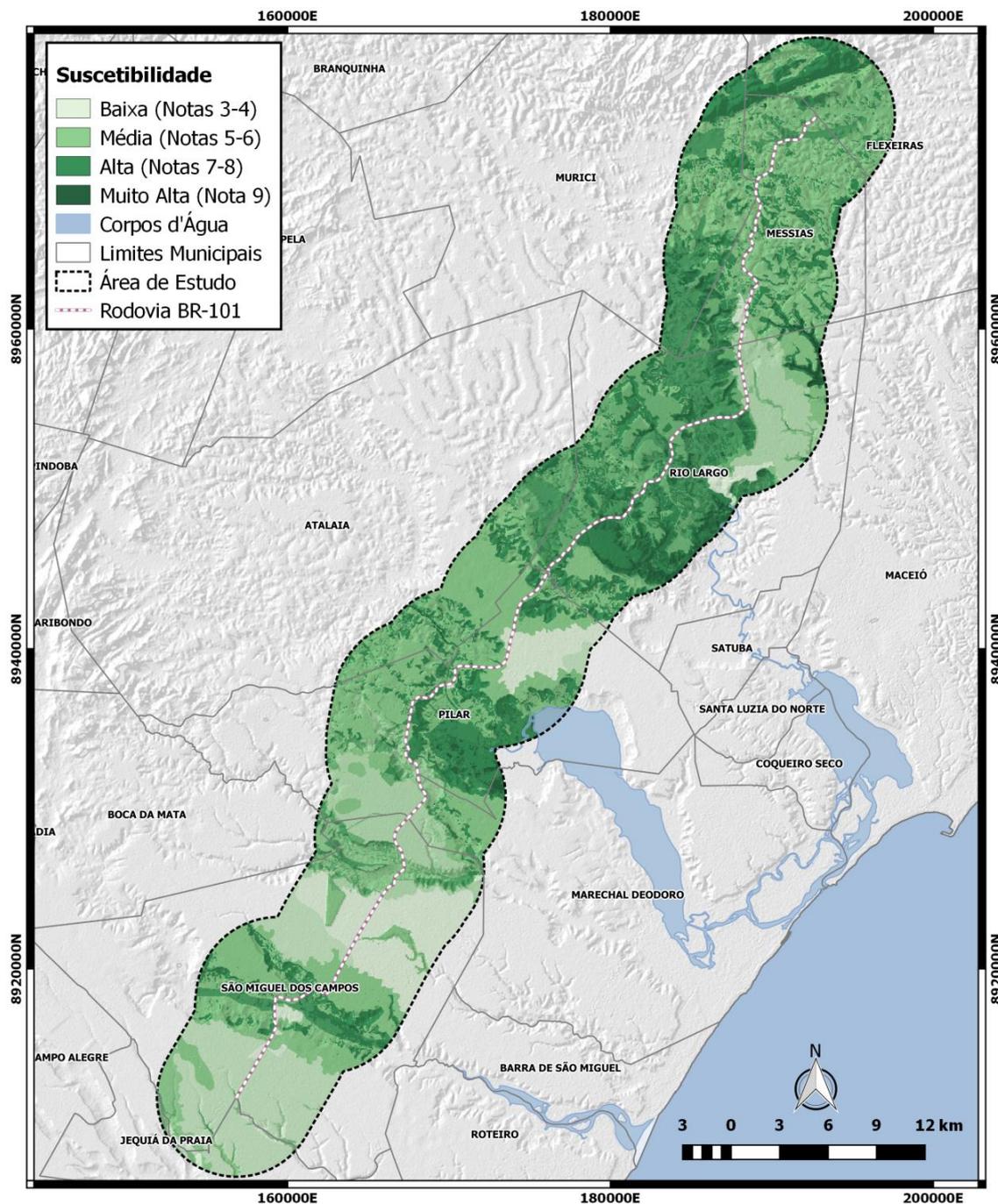


Figura 2. Mapa de níveis de suscetibilidade.

Na porção central, ainda dominam os canaviais e pastagens nas terras municipais de Rio Largo e Atalaia, incluindo vários fragmentos de mata atlântica, incluindo a Reserva Particular do Patrimônio Natural Mata do Cedro, de propriedade da usina Utinga Leão. No trecho meio-sul, predominam os mesmos usos e coberturas, sendo que localizam-se por quase toda a extensão da planície dos rios Paraíba do Meio e São Miguel.

A categoria Média Suscetibilidade se estende sobre uma superfície de mais de 50% da área total analisada, o que corresponde a 47.475,06 hectares. Expressa-se sobre o relevo plano a suave ondulado dos tabuleiros costeiros na parte meio-sul, no nordeste e noroeste do município de Rio Largo; sudeste de Atalaia; norte, sul e oeste de Pilar; noroeste de Marechal Deodoro e norte, centro e sudoeste de São Miguel dos Campos. Nessas feições, prevalecem os solos dos tipos Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos. Quanto

aos usos e coberturas vegetais, correspondem aos mesmos mencionados nas outras classes, prevalecendo os usos agropecuários.

Por fim, na categoria **Baixa Suscetibilidade**, as feições mapeadas estão dispostas em relevos planos, em geomorfologia correspondente aos patamares tabuliformes da formação barreiras, em solos dos tipos Latossolos e Argissolos, ambos Amarelos. O uso e a ocupação da terra concentram a cultura da cana-de-açúcar. Esta categoria se manifesta em quatro trechos, sendo os dois maiores nos tabuleiros de São Miguel dos Campos, o terceiro ocorre em Pilar e o quarto, sendo a menor fração, acomete a área urbana de Rio Largo. A soma dessas áreas totaliza 14.950,46 hectares, correspondendo a 15,98% da extensão total analisada.

4. Conclusões

O estudo ora apresentado corresponde a segunda de três etapas para identificação de áreas de risco ambientais a acidentes com transporte de produtos perigosos. Junta-se à primeira fase, que condiz com as áreas de periculosidade. Para tal, faz-se necessário complementar os estudos, no sentido de se conhecer os sítios vulneráveis aos danos decorrentes de desastres dessa natureza.

A partir das informações apresentadas neste trabalho, fica notório a partir da compartimentação da área que os pesos e notas atribuídos aos planos de informação tendem a qualificar os parâmetros Permeabilidade do Solo e Uso da Terra e Cobertura Vegetal como os maiores responsáveis na definição dos trechos que se apresentam como aqueles de maior suscetibilidade, indicando os terrenos mais frágeis ou suscetíveis, do ponto de vista ambiental, a sofrerem as consequências dos acidentes com produtos perigosos.

Referências Bibliográficas

- CALHEIROS, Silvana Quintella Cavalcanti. **Turismo versus agricultura no litoral meridional alagoano**. 2000. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979. 106 p.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).
- ENOMOTO, Carolina Ferreira. **Método para elaboração de mapas de inundação estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná**. 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2004.
- HORTON, Robert Elmer. **Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology**. Geol. Soc. Am. Bull., v.56, n.3, p.275-370, 1945.
- INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN (Rio de Janeiro). **Panorama ILOS: Custos logísticos no Brasil**. Rio de Janeiro: Ilos, 2016.
- SILVA, Jorge Xavier da.; CARVALHO FILHO, Luís Mendes. **Sistemas de informação Geográfica: uma proposta metodológica**. In: Conferência latino-americana sobre sistemas de informação geográfica, IV., Simpósio brasileiro de geoprocessamento, II., 1993. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993. v. 1, p. 609-628.