



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 6, nº 2 (2020)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n2ID19065>



FATORES GEOMORFOLÓGICOS NA CONTRIBUIÇÃO DE OCORRÊNCIA DE PROCESSOS EROSIVOS AS MARGENS DA RODOVIA TO-445, MUNICÍPIO DE MIRACEMA-TO

Glacielle Fernandes Medeiros¹; Athos Sousa Castro²; Rafael Junior Resplandes Rodrigues³; Jhonathan Morais Resplandes⁴; João Guilherme Rassi Almeida⁵

¹Mestre em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNTPAC), Araguaína/TO, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0501-4095>

Email: medeiros.agrimensura@gmail.com

²Graduado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNTPAC), Araguaína/TO, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2473-7969>

Email: athoss17@gmail.com

³Graduado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNTPAC), Araguaína/TO, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9240-8868>

Email: rafjrr@outlook.com

⁴Graduado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNTPAC), Araguaína/TO, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8751-8931>

Email: resplande9@hotmail.com

⁵Mestre em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNTPAC), Araguaína/TO, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0168-3344>

Email: jgmeioambiente@gmail.com

Resumo

Processos erosivos são fenômenos nos quais materiais inconsolidados da crosta terrestre são desagregados e transportados por agentes da natureza como água, vento e gelo, podendo ser acelerado ou mesmo provocados por ações antrópicas. O presente trabalho é composto pelo levantamento de dados geográficos que permite a análise de trechos mais

propensos ao surgimento de processos erosivos as margens da rodovia TO-445, entre as cidades de Miracema e Lajeado do Tocantins, no estado do Tocantins. Buscando entender como as variáveis do meio físico interagem e atuam no desenvolvimento das erosões próximas a rodovia e as patologias (defeitos) presentes na capa asfáltica da via, foram realizados o levantamento bibliográfico e a análise de dados disponibilizados pela SEFAZ, TOPODATA e INPE, sendo os dados processando-os por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) através do software QGIS. As áreas com presença de processos erosivos, foram identificadas por meio de geoprocessamentos utilizando-se imagens de satélite via Google Earth Pro. Através da correlação entre mapas de Curvatura vertical e horizontal, formas do terreno, declividade, hipsometria, geologia, geomorfologia, solos e uso e ocupação, foi possível compreender o comportamento dos fatores que influenciar e causar processos de erosão as margens da rodovia, bem como os pontos mais propensos ao surgimento de patologias na faixa de rolamento da rodovia em estudo.

Palavras-chave: Erosões; Geoprocessamento; Rodovias.

GEOMORPHOLOGICAL FACTORS IN THE CONTRIBUTION OF THE OCCURRENCE OF EROSION PROCESSES AS ROADS OF THE TO-445 ROAD, MUNICIPALITY OF MIRACEMA-TO

Abstract

Erosive processes are phenomena in which unconsolidated materials from the earth's crust are broken down and transported by agents of nature such as water, wind and ice, they can be accelerated or caused by anthropic actions. The present work consists of the survey of geographic data that allows an analysis of stretches more prone to the treatment of erosive processes such as the margins of the TO-445 highway, between the cities of Miracema and Lajeado do Tocantins, in the state of Tocantins. Seeking to understand how variables of the physical environment, interactions and activities in the development of erosions close to the highway and how pathologies (defects), have an asphalt layer of the road, were performed or bibliographic survey and data analysis made available by SEFAZ, TOPODATA and INPE, the following data being processed using geographic information systems (GIS) using the QGIS software. As areas with the presence of erosive processes, they were identified by means of geoprocessing using satellite

images via Google Earth Pro. Through the correlation between vertical and horizontal curvature maps, terrain shapes, slope, hypsometry, geology, geomorphology, soils and use and occupation, it was possible to use the behavior of factors that influence and cause processes of erosion such as the margins of the highway, as well as the points most prone to the appearance of pathologies in the lane of the highway under study.

Keywords: Erosions; Geoprocessing; Highways.

FACTORES GEOMORFOLÓGICOS EN LA CONTRIBUCIÓN DE LA OCURRENCIA DE PROCESOS EROSIVOS COMO CAMINOS DEL CAMINO A-445, MUNICIPIO DE MIRACEMA-TO

Resumen

Los procesos erosivos son fenómenos en los que los materiales no consolidados de la corteza terrestre se desglosan y son transportados por agentes de la naturaleza como el agua, el viento y el hielo, que pueden acelerarse o incluso ser causados por acciones antrópicas. El presente trabajo consiste en una encuesta de datos que permite el análisis de tramos más propensos a estos procesos erosivos a lo largo de la carretera TO-445, entre las ciudades de Miracema y Lajeado do Tocantins, en el estado de Tocantins. Buscando comprender cómo las variables del entorno físico interactúan y actúan en el desarrollo de erosiones cerca de la carretera y las patologías (defectos) presentes en la capa de asfalto de la carretera, SEFAZ, TOPODATA e INPE pusieron a disposición una encuesta bibliográfica y un análisis de datos. Los datos fueron procesados a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) a través del software QGIS. Las áreas cuyos cambios fueron causados por acciones climáticas, geológicas y mejoradas por acciones humanas, se identificaron mediante geoprocésamiento utilizando imágenes de satélite (Google Earth Pro). A través de la correlación entre los mapas de curvatura vertical y horizontal, las formas del terreno, la pendiente, la hipsometría, la geología, la geomorfología, los suelos y el uso y la ocupación, fue posible comprender el comportamiento de los factores que influyen y causan procesos de erosión a lo largo de la carretera, así como los puntos más propensos a la aparición de patologías en el carril de la carretera en estudio.

Palabras-clave: Erosiones; Geoprocésamiento; Carreteras.

1. INTRODUÇÃO

O fluxo de água nos solos pode percolar e gerar movimento de massa, onde tal adversidade é consequência de diversos fatores relacionados às características de relevo do local, trazendo como resultado a possível deterioração de uma região pavimentada e seu entorno. A área estudada em questão trata-se da Rodovia TO-445, que interliga os municípios de Miracema do Norte até Lajeado, ambas no Tocantins. Um trecho de rodovia muito utilizado para se chegar à capital Palmas, e que tem um grande peso social.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017), o pavimento flexível mais comum no país tem vida útil estimado entre 8 e 12 anos. Entretanto, a realidade é diferente, em média com sete meses de construção já se observa problemas

(patologias) nas rodovias (CNT, 2017). Estas adversidades devem-se a uma série de fatores, desde os materiais utilizados, como também condições climáticas, intempéricas, declividade do terreno, entre outras condições topográficas e geomorfológicas. Observa-se que são necessários estudos destinados a conservação dos pavimentos no Brasil, onde a vida útil das rodovias está totalmente incoerente com o estimado em projeto.

Outro fator que acarreta mais relevância a região analisada, trata-se de sua localização na bacia hidrográfica do rio Tocantins e possuir em sua extensão algumas micro bacias que seguem para desaguar no rio Tocantins. Todos estes fatores somados a uma região caracterizada por uma estação tropical com regime pluvial de muito volume em um curto período de tempo, favorecem ainda mais os processos erosivos laminares e lineares.

A área explorada na pesquisa foi estudada a partir de análises de dados gerados por programas denominados Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foram utilizadas imagens de satélites através do Google Earth Pro para identificação dos pontos com processos erosivos evidentes.

O programas Quantum GIS (Qgis) foi utilizado para identificar as características do relevo topográfico, a partir da produção de mapas, tais como: Hipsometria, Declividade, Formas do Terreno, Geologia, Geomorfologia, Bacias Hidrográficas, Uso e Ocupação do Solo, quais os pontos mais suscetíveis à perda de massa de solo conforme características da região.

Correlacionando todos esses dados foi possível obter os resultados pertinentes à suscetibilidade de patologias na via e processos erosivos as margens da rodovia.

O objetivo desta pesquisa é utilizar os Sistemas de Informação Geográfica, para identificar a influência que as características geomorfológicas tem no surgimento de processos erosivos as margens de rodovias, bem como na incidência de patologias na faixa de rolamento da própria rodovia.

Nesta pesquisa o termo patologia foi o adotado pela construção civil, para nomear defeitos que podem surgir nos pavimentos. Tais manifestações em pavimentos flexíveis podem ser classificadas em defeitos de superfícies, degradações superficiais e deformações. As patologias podem ter origem nas imperfeições funcionais, que é determinada pela sua capacidade de desempenho funcional imediato que o pavimento proporciona ao usuário. Podem ainda ser de origem estruturais, em que a avaliação estrutural de pavimentos resumisse na análise das medidas de deslocamentos verticais recuperáveis da superfície do pavimento flexível, quando submetido a um carregamento.

Todos os mapas obtidos foram feitos com auxílio do banco de dados da Secretaria da Fazenda do Estado do Tocantins (SEFAZ-TO), Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo este um importante objeto no estudo das condições geomorfologia da região que circunda a rodovia em estudo.

Por meio da classificação multivariada da paisagem que influencia no escoamento superficial e erodibilidade de toda região, foi possível identificar na rodovia os pontos de maior probabilidade de surgimento de patologias devido as características geomorfológicas da região.

2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Segundo Colen *et al* (2007) a área em estudo localiza-se em região caracterizada por apenas duas estações bem definidas, um período chuvoso, variado de outubro a abril, e um período de seca, entre maio a setembro. SEPLAN (2002) descreve a localidade da área de estudo como um clima úmido, com moderada deficiência hídrica no inverno. Sua precipitação média anual é definida em 1800 mm com temperatura média anual de 28°C, e se encontra na bacia hidrográfica do rio Tocantins.

A SEPLAN (2002) classifica os solos da área em estudo com maior presença de areias quartzosas. O relevo da região tem predominância de formas de acumulação, relevos resultantes do depósito de sedimentos, em regiões fluviais e normalmente sujeitos a inundação. A localidade tem uma vegetação de tipo cerrado com um uso de solo e cobertura para pastagem.

É interessante ressaltar que a estação chuvosa é marcada por frequentes e intensas precipitações em um curto período de tempo, onde esta situação favorece o surgimento de erosões, visto que pela frequência de chuva em um pequeno período, a água não consegue infiltrar no solo e acaba ocorrendo o carreamento de partículas sólidas.

Na área em questão, através de pesquisa realizada em campo, foi possível identificar erosões laminares e lineares.

A área de estudo encontra-se na bacia hidrográfica do rio Tocantins, onde todo o escoamento de águas daquela região tende a ir ao encontro do rio e desta forma acaba modelando o terreno. Nota-se ainda que a região é marcada por uma prática intensa de pecuária, o que acaba prejudicando a vegetação local em vários pontos e desprotegendo o solo quanto ao escoamento.

3. METODOLOGIA

3.1. Seleção da área de Estudo

A área de estudo representada na Figura 1, corresponde a um trecho da rodovia TO-445 na cidade de Miracema do Tocantins que liga o município a Lajeado, região central do estado, especificamente no espaço entre o fim da zona urbana de Miracema e a ponte Imigrantes Nordestinos Padre Cícero José de Sousa. A área em questão está localizada à margem esquerda do rio Tocantins, integrando a referida bacia, possuindo ainda em sua extensão micro bacias, que influenciam diretamente na conservação da rodovia em estudo.

Para prévia identificação de pontos suscetíveis a erosões, foi utilizado o programa Google Earth. Posteriormente, foi realizada pesquisa em campo, visando comprovação visual de processos erosivos às margens da TO-445. A partir desta visita, foi possível identificar basicamente dez pontos com maior grau de erodibilidade.

Os pontos mapeados em campo foram rastreados com GPS de navegação da marca GARMIM, com o propósito de simples locação dos mesmos no banco de dados SIG.

A primeira visita a área de estudo se deu em período de estiagem, realizada em agosto de 2018. Através desta, pôde-se observar uma vegetação seca, devido principalmente ao período de maior ausência de precipitações, facilitando possíveis escoamentos superficiais (Figura 2).

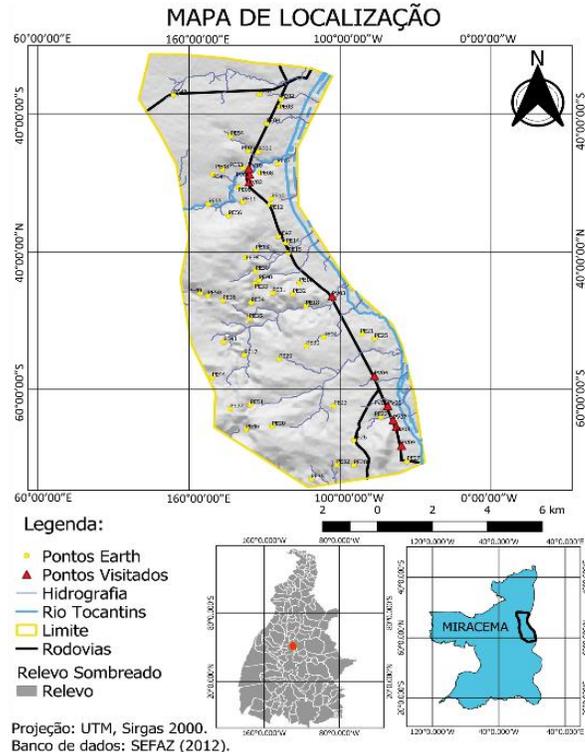


Figura 1- Mapa de localização da área de estudo. Fonte: autor (2019).



Figura 2- Vegetação seca às margens da rodovia TO-445, com apresentação de possível caminho preferencial no ponto P05. Fonte: autor (2018).

Durante o período correspondente ao inverno foi realizada uma segunda visita de campo, com objetivo de analisar a região e seu comportamento nas duas estações citadas no diagnóstico ambiental.

O período chuvoso é caracterizado pela formação de bacias provisórias, devido aos caminhos preferenciais da água, em alguns casos gerando rios perenes, que secam durante o verão.

3.2. Documentação Cartográfica

Para que fosse possível compreender qual a influência do relevo topográfico e das propriedades do solo na formação de danos a rodovias, tomou-se como base dados disponibilizados pela Resultados da pesquisa

Resultado da Web com links de sites Secretaria da Fazenda e Planejamento (SEFAZ-TO), Banco de Dados Geomofométricos do Brasil (TOPODATA) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A documentação cartográfica desenvolvida neste trabalho foi processada e redimensionada com auxílio do software QGIS em sua versão 3.6.1, utilizando como referência o sistema SIRGAS 2000, que corresponde ao sistema de referência oficial adotado no Brasil e na América do Sul.

O banco de dados disponibilizado pela SEFAZ do Estado do Tocantins foi referência para o desenvolvimento dos mapas de geologia, solos e geomorfologia. É importante frisar que tal banco de dados encontra-se na escala de 1:1.000.000, com última atualização no ano de 2012.

Entendendo o diagnóstico do relevo fornecido pelos mapas de geologia e geomorfologia, correlacionando com o mapa de solos, foi possível estabelecer conexão com as patologias encontradas na rodovia.

A TO-445 foi escolhida como área de estudo devido a sua localização geográfica. Como será observado mais a frente no mapa de Hipsometria, a rodovia localiza-se entre o Rio Tocantins com baixa altitude e diversos morros com cotas altimétricas de maior valor.

Tendo em vista que água decorrentes de precipitação, durante o processo do escoamento superficial busquem caminhos mais fáceis para percorrer, existe uma tendência natural de que a água escoee de pontos de maior altitude em direção a pontos de menor altitude. Uma vez que a rodovia TO-445 encontra-se entre estes pontos, a mesma acaba sendo interceptada por todo processo de escoamento superficial, ocasionando o surgimento de patologias estruturais na via.

A retirada da cobertura vegetal acelera o arraste de partículas de solos e por sua vez acelera a velocidade de escoamento, sendo fundamental na determinação do uso e ocupação de toda bacia que por ventura venha a contribuir com o surgimento de patologias sobre a área de estudo. Para tal, foi gerado o mapa de uso e ocupação.

Devido à baixa escala do banco de dados da SEFAZ, o mapa de uso e ocupação dos solos foi gerado em uma nova classificação supervisionada no software QGIS, dimensionando através do banco de dados INPE, no qual foram utilizadas as imagens LANDSAT-8 sensores OLI (Operacional Land Imager) e o TIRS (Thermal Infrared Sensor) na escala 1:10000 e com 30 metros de precisão.

Outro fator fundamental na determinação de incidência de patologia em rodovias é o relevo topográfico, sendo a declividade responsável por acelerar o escoamento superficial e a forma do terreno responsável por definir pontos de concentração ou dispersão de fluxo de água.

Para gerar os mapas de declividade, curvatura vertical e horizontal, formas do terreno e hipsometria foram redimensionados via QGIS, utilizado o banco de dados TOPODATA. Esta base de informações dispõem de imagens SRTM com resolução de 90 metros e 3 arcos de segundo, os

quais após processamento alcança 30 metros de precisão e 1 arco de segundo.

A classificação dos mapas de curvatura vertical e horizontal se deu a partir do proposto por Valeriano (2008), utilizando como base as Figuras 3 (a) e 3 (b). Através de tal caracterização, possibilita-se melhor análise e diagnóstico do relevo presente na área estudada, identificando regiões mais propensas à ação do escoamento superficial e consequentemente carregamento de partículas sólidas. A definição de tais fatores nas proximidades da rodovia torna-se essencial para o prosseguimento da pesquisa.

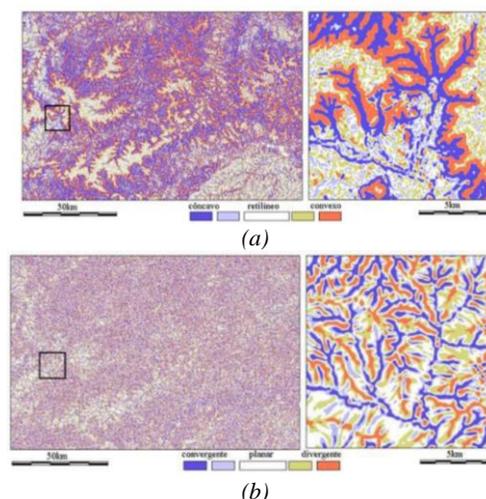


Figura 3- (a) Curvatura Vertical em cinco classes. (b)- Curvatura Horizontal em três classes. Fonte: Valeriano (2008).

Partindo disto, é possível chegar ao mapa de formas do terreno sendo este entendido como a junção das duas variáveis apresentadas anteriormente (curvatura vertical e horizontal), gerando classificação segundo a Figura 4.

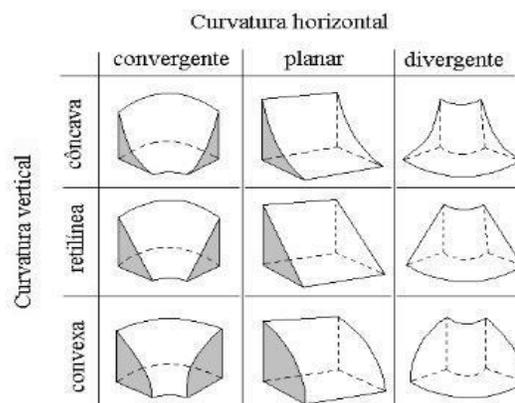


Figura 4- Formas do terreno: Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno. Fonte: Valeriano (2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Perante o exposto, será discorrido a respeito dos mapas e relacionando-os com a problemática das erosões e do escoamento superficial como fator de degradação do pavimento, será possível entender como as diversas variáveis se relacionam, e desta forma como podem ser úteis para um plano de implantação de uma rodovia ou de resoluções de patologias ao decorrer da sua extensão.

Em março de 2019 durante uma visita em campo foi identificada na área uma quantidade expressiva de erosões, provavelmente devido ao período chuvoso. Neste período também se notou um aumento na vegetação, possibilitando uma maior proteção natural ao solo, embora não suficiente para evitar os processos de degradação num todo.

As erosões demonstradas nas Figuras 5 demonstram a preocupação no estudo da área em questão, visto que estas podem gerar a desestabilização da rodovia, promovendo a sua inutilização parcial ou total nos próximos anos, caso não haja nenhum tipo de manutenção.



Figura 5 - Erosão laminar em talude no ponto P10 as margens da rodovia TO-445. Fonte: autor (2019).

4.1. Geologia

Lopes e Saldanha (2016), mostram que a contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica é o grau de coesão das rochas que a compõem e dados relativos à história da evolução geológica da região onde a unidade está presente. A natureza da rocha matriz, sua composição mineralógica e química, e o estado original de fraturamento, exercem influência capital sobre as características do solo que desta se origina. (AHMED, 2009).

A geologia apresentada na área de pesquisa conforme o mapa de geologia (Figura 6) é predominantemente de Bacias Sedimentares e Depósitos Sedimentares Inconsolidados, com maior presença de processos erosivos nas Bacias Sedimentares, locais com grande depressões no relevo favorecendo essas erosões.

Essa disposição geológica do local apresenta dados de uma área intensamente atingida por intemperismo e seus movimentos de massa, principalmente por ser um local com pontos altos e

baixos facilitando esses deslocamentos, além de apresentar informações sobre como a região foi formada desde seus processos tectônicos ao decorrer do tempo geológico.

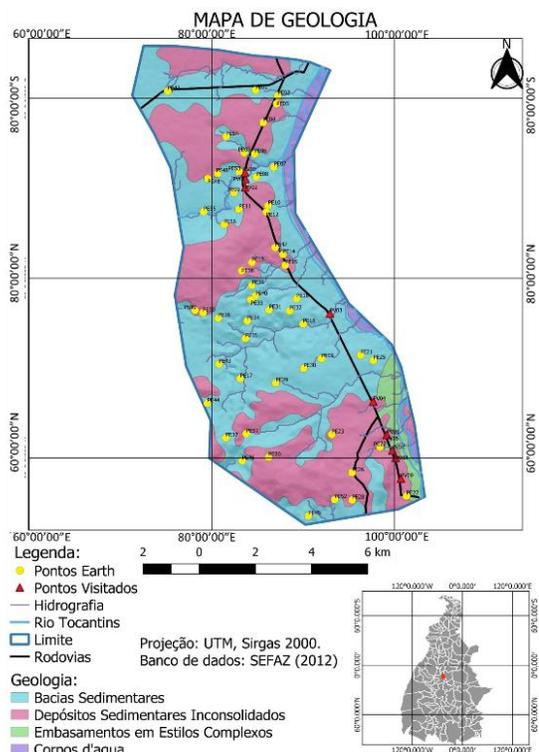


Figura 6- Mapa de Geologia. Fonte: autor (2019).

Em vista disso, ao analisar as características de uma determinada região, tudo parte do princípio da geologia, que somada as outras variáveis demonstradas logo a seguir, apresentarão mais informações a respeito da localidade da rodovia em estudo, correlacionando-os como fator determinante na formação de processos erosivos, escoamento superficial e consequentemente patologias no pavimento.

4.2. Geomorfologia

Oliveira e Chaves (2010) afirmam que a geomorfologia tem grande importância no conhecimento de fenômenos ambientais, podendo mostrar uma compreensão integrada de uma paisagem, se encontrando diretamente relacionada à caracterização do ambiente, procurando diagnosticar as formas de relevo.

A partir da base de dados geográficos do Tocantins, geomorfologia domínios disponibilizado pelas Sefaz-TO a área em análise foi inteiramente classificada como compartimento geomorfológico de Depressão do Médio Tocantins, e a partir da base de dados geomorfologia unidas a área foi classificada como domínios morfoestruturais Bacias Sedimentares e Coberturas Inconsolidadas (Figura 7). Villela e Nogueira (2011) descreve essa identidade como uma faixa do vale do Rio Tocantins, de áreas com declividade baixa ou intermediária, com uma configuração de dissecação com topos convexos e

tabulares, onde é afetado principalmente por erosões de escoamento concentrado das águas, gerando processos erosivos do tipo sulcos e ravinas.

A identidade geomorfológica da região indica a área vulnerável em que a rodovia se encontra, devido a sua conformação de relevo, se caracteriza por uma localidade propícia a erosões do tipo linear, onde estas são frequentes ao entorno do pavimento, como podemos ver sua incidência apresentada no mapa de geomorfologia (Figura 7), sendo capaz de danificar agudamente a autopista.

É válido ressaltar, que a geomorfologia descreve de forma preliminar a topografia local, indicando regiões em que ocorrem escoamento concentrado de águas, ou seja, erosões lineares. Além deste, é possível ter ideia da declividade, no qual, é um fator predominante na compreensão das formas do relevo de uma região sujeita a movimentos de massa e fluidos.

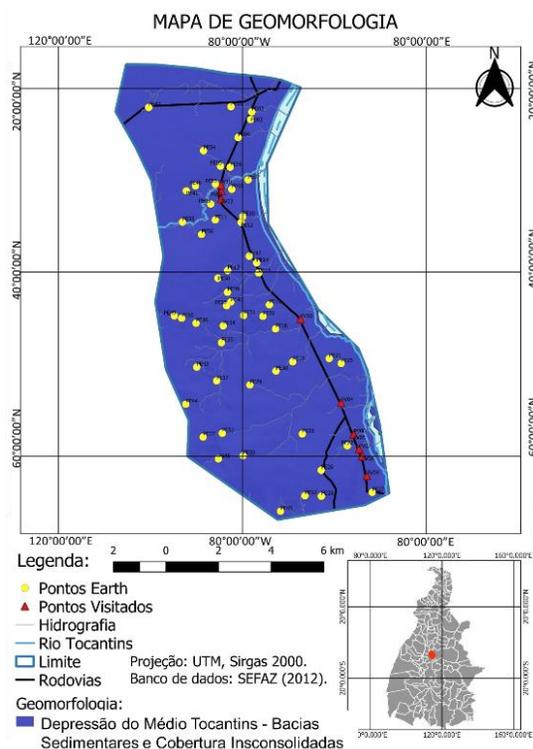


Figura 7- Mapa de Geomorfologia. Fonte: autor (2019).

4.3. Solos

Ahmed (2009) explica que o modo que se arranjam as partículas de solo, tem relevância na quantidade de massa que é arrastado em uma erosão, além de expor que a quantidade de matéria orgânica no solo também tem grande influência na suscetibilidade à erosão de um solo.

Deste modo Brady e Weil (2013), indica que para melhor aproveitamento das pesquisas feitas em uma determinada área, necessita-se conhecer a classificação dos solos deste local, de tal forma que seja possível prever o comportamento desses solos.

O presente mapa de solos (Figura 8) mostra um domínio local de solo do tipo Neossolo. Segundo Spera et al (1999) são solos cuja estrutura é formada em sua maioria por areia. Desta forma são classificados como excessivamente erodíveis, apresentam elevado teor de drenagem, e pouca retenção de água.

Por outro lado, em ocorrência também considerável, nota-se a presença de solos do tipo Plintossolo, que segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBCS (2005) são compostos por minerais que se formaram sobre condições de restrição à percolação de água, sendo os mesmos sujeitos ao efeito a curto prazo do excesso de umidade.

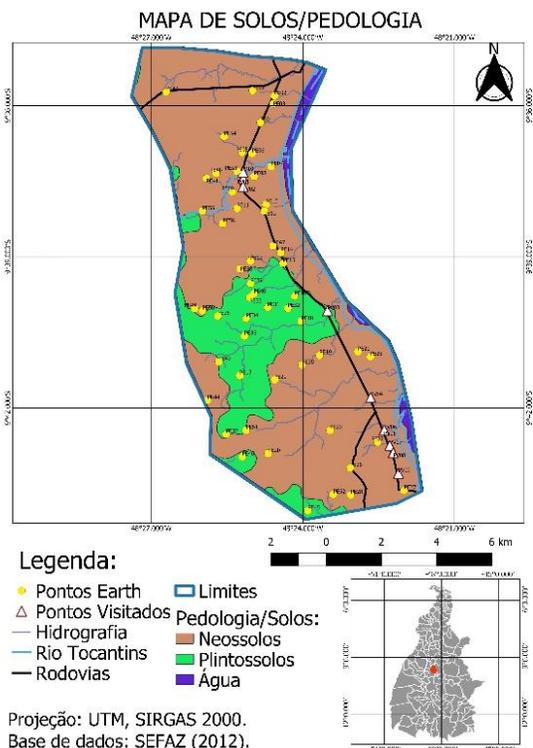


Figura 8- Mapa de Solos. Fonte: autor (2019).

Examinando a variável solo, percebe-se a vulnerabilidade erosiva da extensão estudada, fato registrado também na pesquisa de campo. Além de danos provocados por processos erosivos que podem evoluir e atingir as rodovias, observa-se patologias oriundas da percolação de água pelos vazios do solo.

4.4. Hipsometria

O mapa hipsométrico (Figura 9) apresenta o perfil topográfico da área de estudo, a partir da variação altimétrica existente no local. Em geral, foram observadas variações de altitude entre 168 a 370m, com alguns pontos de cotas mais altas entre 371 a 421m. É importante ressaltar que essa elevação diminui a medida que se aproxima da rodovia em estudo, chegando ao seu ponto mínimo nas margens do rio Tocantins.

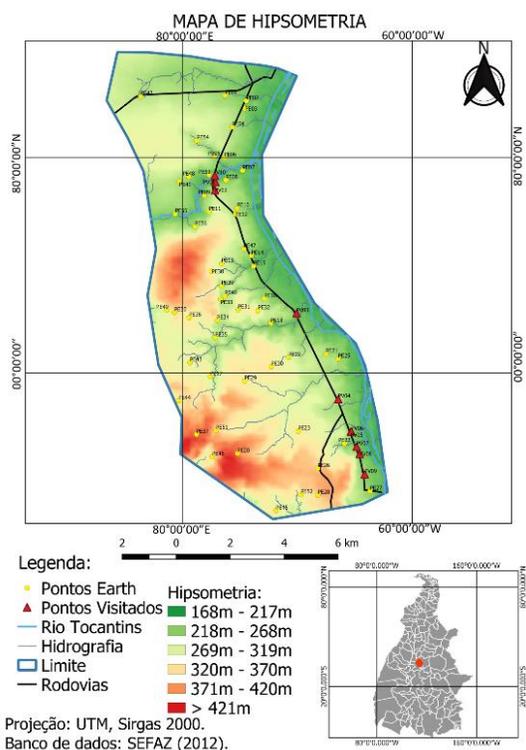


Figura 9- Mapa de Hipsometria. Fonte: autor (2019).

Desse modo, a representação hipsométrica da bacia hidrográfica em estudo possibilita a análise dos desníveis do terreno. Observa-se que as áreas com maior observância de erosões localizam-se em regiões com maior diferença de cotas.

Paralelo a isso, sabendo que a rodovia se encontra em um ponto de alteração de altitude e observando que o escoamento superficial das águas tem propensão em atingir o pavimento antes de chegar ao seu destino final, a rodovia torna-se sujeita aos processos erosivos.

Na Figura 9 é possível observar expressiva presença de processos erosivos as margens da rodovia. A evolução de tais processos devido ao escoamento superficial, podem ocasionar o surgimento de patologias (danos) estruturais no pavimento, caso não se execute as devidas intervenções, como um bom sistema de drenagem, estruturas de contenção e reforço com cobertura vegetal.

4.5. Declividade

A representação gráfica da declividade da região apresenta em porcentagem a inclinação do terreno em relação ao plano horizontal, ferramenta muito útil no estudo do escoamento superficial da região, pois quanto mais alta a inclinação, maior a velocidade de escoamento da água e consequentemente existe um arraste mais agressivo das partículas de solo.

Iensen (2006) afirma que a velocidade do escoamento superficial é diretamente relacionada à declividade, dessa forma, o grau de declive é uma das razões mais significantes no processo erosivo, pois dele depende diretamente o volume e a

velocidade das enxurradas que percolam sobre o solo arrastando suas partículas.

No estudo gráfico realizado a partir do mapa de declividade (Figura 10), é possível identificar áreas em sua predominância planas, com destaque também para alguns pontos de forte ondulação, com pontos de declividades bem elevadas (montanhoso e escarpado) que auxiliam no entendimento do escoamento superficial da região.

Correlacionando as erosões encontradas tanto remotamente quanto em pesquisas de campo com o mapa, observa-se uma maior disposição de erosões em regiões de alteração brusca de declividade, como visto nos mapas hipsométrico, essa zona de transição sempre é bem degradada, pois os fluidos são arrastados de forma agressiva dos pontos mais altos e com maior declive e perdem sua força potencial quando atingem as cotas mais baixas, e nesse processo danificam o solo provocando erosões.

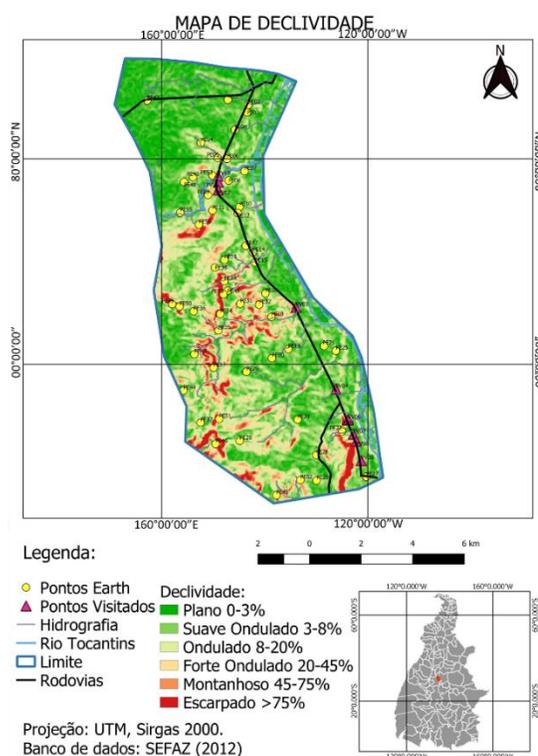


Figura 10- Mapa de Declividade. Fonte: autor (2019).

No que tange a rodovia, como já citado, esta se encontra dentro da trajetória das águas que escoam em direção ao rio, o que a torna em uma condição vulnerável. Sabendo que essa variável de declive é um dos agentes controladores diretos do volume e da velocidade das enxurradas sobre uma determinada região, ela influi não somente na geração de erosões como a hipsometria, mais no surgimento de outras patologias relacionadas a água em uma via, como por exemplo desgaste e desagregação do revestimento do pavimento e o excesso de água nas camadas que o compõe.

4.6. Formas do Terreno

As formas do Terreno são divididas basicamente em duas variáveis: curvatura vertical e horizontal, definindo juntas o objeto de estudo deste tópico.

Segundo Valeriano (2008) a curvatura vertical trata-se do formato de uma encosta quando observado em perfil, sendo definida também como a variação da declividade ao longo de um local ou apenas pode se referir ao formato convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil, e são definidas em três tipos: côncavo, convexo e retilíneo.

De acordo com a análise da área delimitada (Figura 11), observou-se uma predominância de regiões muito côncavas, com pontos de convexidade em segundo plano.

Por outro lado, a curvatura horizontal (Figura 12) também estuda a paisagem, porém em perfil horizontal, possibilitando a classificação em: convergente, planar e divergente.

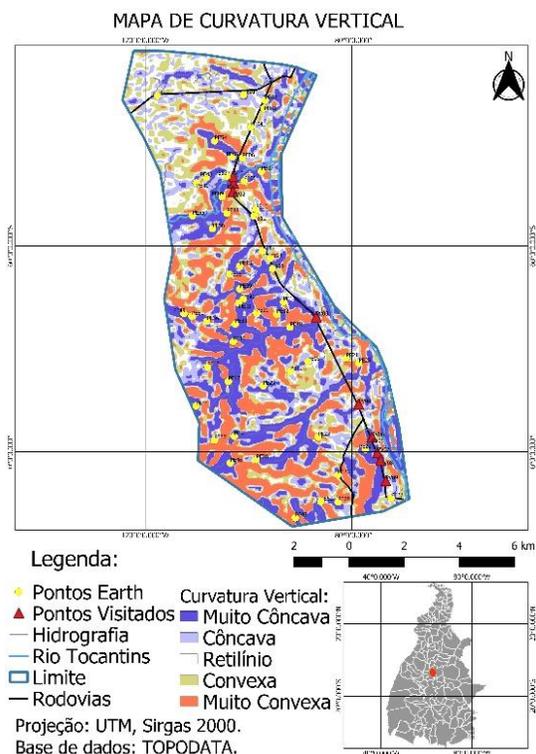


Figura 11- Mapa de Curvatura vertical. Fonte: autor (2019).

De acordo com Valeriano e Carvalho (2003) a curvatura horizontal refere-se ao caráter divergente e convergente dos cursos de substâncias sobre o terreno quando analisado em perspectiva horizontal. No qual variável está associada com a locomoção e concentrações de água na extensão do solo por meio da gravidade.

No estudo do caso em questão, a área pode ser entendida como muito convergente em primeiro plano, embora seja possível destacar uma convergência menor em pontos consideráveis.

Em correlação de ambas variáveis citadas acima, obtém-se por resultado direto as formas do terreno (Figura 13), garantindo uma maior precisão através da análise em forma gráfica dos itens antes estudados separadamente. Partindo deste pressuposto, foi possível identificar e classificar a área objetificada em Convergente-Côncava principalmente, ainda destacando-se também regiões Convergente-Convexas.

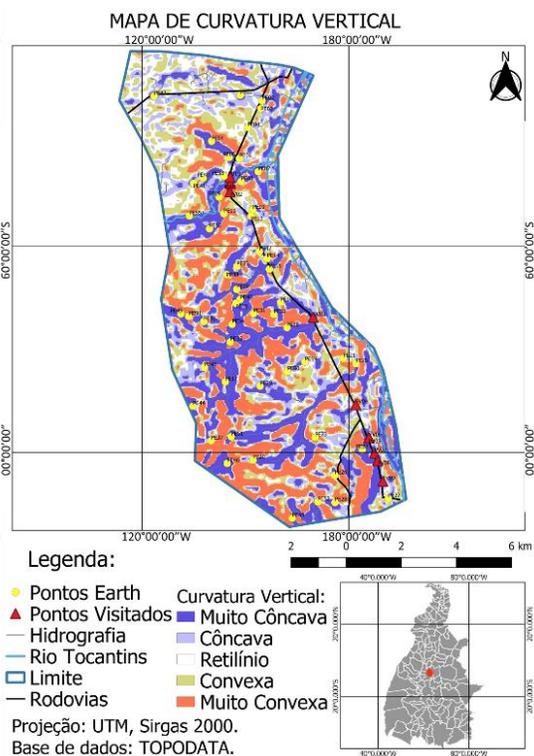


Figura 12- Mapa de Curvatura Horizontal. Fonte: autor (2019).

É necessário ressaltar que essas duas formas de terreno predominantes possui uma configuração que facilita o surgimento de erosões lineares, com um escoamento concentrado das águas, onde sua geometria coleta as águas dispersas e as acumula, gerando uma maior probabilidade de processos erosivos mais críticos. Valeriano (2008), por exemplo, indica que o caso mais severo de associação de curvaturas do terreno quanto a máxima concentração e acúmulo do escoamento trata-se exatamente da configuração convergente-côncava presente na área em estudo.

A essa ferramenta denominada formas do terreno, soma-se a hipsometria e declividade e demonstra que as substâncias, deslocadas dos pontos mais altos que tendem a escoar para o rio Tocantins chocam-se de forma agressiva a rodovia devido a moldagem do terreno que concentra os fluxos e inevitavelmente aumenta sua força de arraste quando os concentra.

É fato que essa formatação do terreno local além de ser propício ao surgimento de ravinas e voçorocas próximas a rodovia, contribui também para o surgimento das patologias relacionada a presença de água na rodovia, principalmente no

que diz respeito a desagregação do pavimento, onde a água vai escoar de forma veloz e concentrada em ir de encontro ao pavimento, como também atingir as patologias pré-existente no pavimento oriundas de outras circunstâncias e acabar deteriorando ainda mais a estrutura.

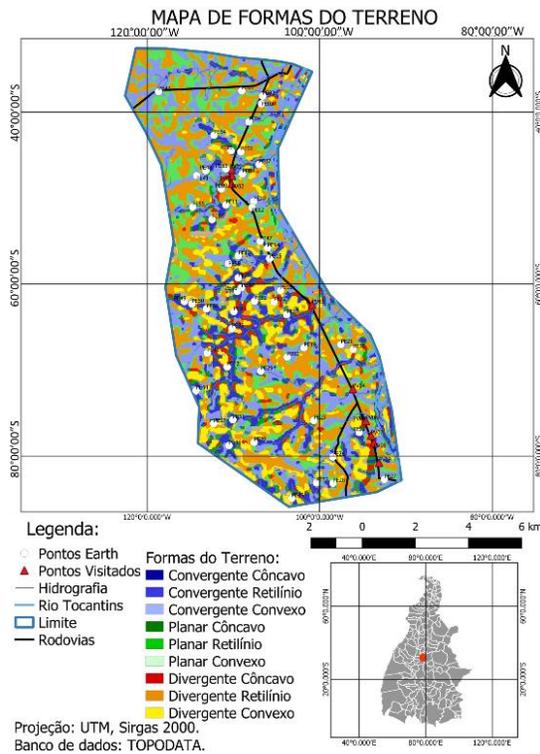


Figura 13- Mapa de Formas do terreno. Fonte: autor (2019).

É importante ressaltar novamente a importância da cobertura vegetal existente na região, que ainda que não seja na proporção adequada para proteger 100% as rodovias das adversidades supracitadas, contribui profundamente, evitando que a rodovia logo tão cedo esteja em más condições de trafego.

4.7. Bacias Hidrográficas

A representação das bacias hidrográficas (Figura 14) mostra a direita o Rio Tocantins uma das variáveis mais importantes no estudo dos processos erosivos na região da rodovia TO-445, local para onde vai toda a água drenada da área em foco na pesquisa, assim ocorrendo movimento de massa durante a percolação desses fluidos.

Porém, é possível ver também em destaque algumas sub-bacias do Rio Tocantins, regiões em que se concentra também uma grande quantidade de processos erosivos, deste modo necessita-se dar a devida atenção às influências dessas bacias secundárias na formação de processos erosivos, e relaciona-las com as demais variáveis desse projeto, visto que essas bacias podem fugir à regra, e concentrar em seu entorno o maior número de erosões.

Estas sub-bacias representam direções de fluxos de água, mas não se caracterizam na maioria dos casos realmente em uma hidrografia, pois estas regiões em épocas de alta incidência de chuva se tornam apenas caminhos preferenciais de fluxo com grande concentração de água, ou rio perene, conforme constatado nas visitas de campo, mas acaba sendo definido pelo mapa como uma hidrografia.

É necessário reiterar que o percurso percorridos pelas águas das bacias secundárias atravessam a Rodovia TO-445 para chegar ao Rio Tocantins, deixando a região em épocas de chuva extremamente suscetível a erosão e a desestabilização do pavimento, visto que o sistema de galerias e drenagem da rodovia ineficientes diante do grande volume de água.

Outro problema referente ao estudo dessas sub-bacias hidrográficas, é com relação as concentrações de água muito próxima ao pavimento. Estas podem entrar lateralmente pelas bordas do pavimento, provocando o surgimento de diversas patologias.

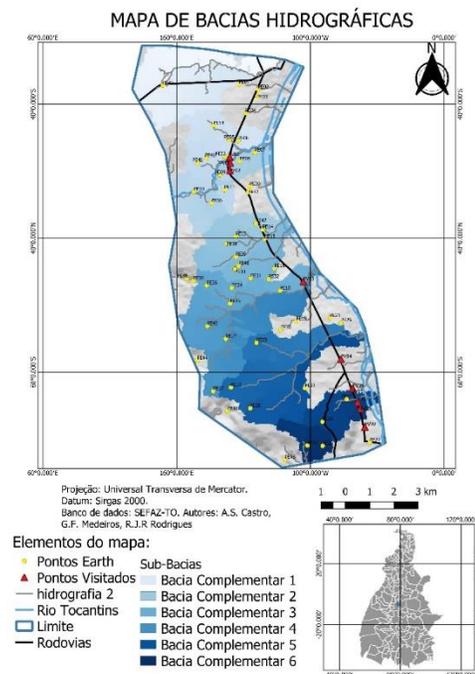


Figura 14- Mapa de Bacias Hidrográficas. Fonte autor (2019).

4.8. Uso e Ocupação

Almeida (2015) aborda que a forma com que o solo é usado influencia muito nos processos erosivos, construção de estradas, desmatamento, criação e expansão de cidades, cultivo de terras e a pecuária, onde esta última ocorre de forma que grande quantidade de animais pisoteia o solo e acabam mudando sua configuração, são exemplos do uso e ocupação do solo contribuindo para o aceleramento dos processos erosivos.

O uso e ocupação apresentado na Figura 15, no trecho correspondente ao município de Miracema, percebe-se a predominância de área de pastagem e secundariamente de áreas

destinadas à agricultura. Durante o levantamento de campo, pode-se confirmar o predomínio da agropecuária na região.

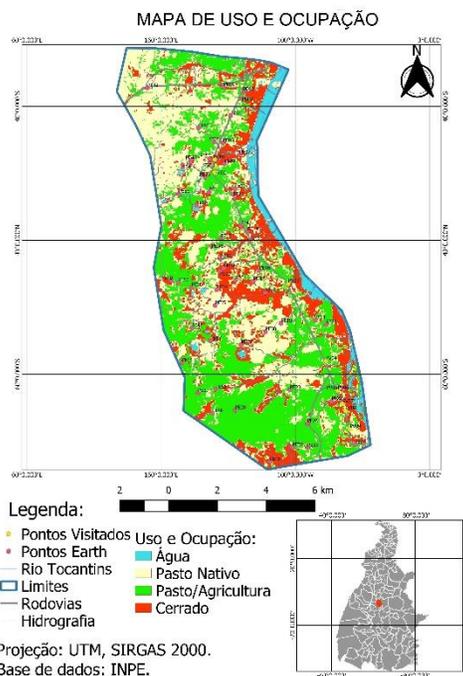


Figura 15- Mapa de Uso e ocupação. Fonte: autor (2019).

No que corresponde a rodovias, essas alterações do homem na paisagem local acabam impulsionando a velocidade dos processos erosivos, e afetando-a precipitadamente. No entanto é válido ressaltar que a própria implantação da rodovia se trata de uma das maiores alterações no panorama de uma região. Atividades como movimentação de massas de solo (corte e aterro) e desmatamentos alteram significativamente o relevo e as taxas de escoamento superficial das águas precipitadas.

O processo de construção das estradas contribui para a formação de taludes, os quais possuem inclinação, em geral, propensa a erodibilidade, de modo que esse processo deve ser feito com devida responsabilidade procurando visar os possíveis problemas futuros e utilizando o geoprocessamento como uma orientação para um estudo integrado.

Logo, por meio do mapa de uso e ocupação do solo é possível obter uma visão ampla das interferências do homem ao meio ambiente. Onde a partir desta representação, pode-se ter a concepção das causas e dimensão do desenvolvimento dos processos erosivos relacionadas a ações antrópicas e não apenas da configuração natural de um determinado local.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante o exposto, o presente trabalho se utilizou das ferramentas de Geoprocessamento como aliadas no estudo de processos erosivos e o escoamento superficial da água, além da inter-relação de diversas variáveis da paisagem de uma determinada região como agente de degradação de uma rodovia.

A partir do software Qgis, gerou-se mapas de Hipsometria, declividade, formas do terreno, geomorfologia, geologia, solos, uso e ocupação e das bacias hidrográficas da região. Esses mapas foram as variáveis de análise da região e apresentaram com êxito, informações a respeito da região, que podem auxiliar na prevenção a erosões e patologias nas rodovias.

As variáveis topográficas apresentaram dados a respeito do escoamento superficial, e da alta probabilidade de existência de erosões lineares na região estudo, fatos constatados nas duas visitas de campo e registrada com fotos na zona de estudo. Aliado ao escoamento superficial pode-se inferir também a degradação do revestimento do pavimento devido do excesso de umidade.

É necessário acrescentar a viabilidade de se trabalhar com o geoprocessamento na área da engenharia civil, no qual tornou-se possível extrair um grande número de informações de uma região pavimentada sem a necessidade de diversas visitas a campo, sendo de grande valia em qualquer anteprojeto de estradas e rodovias. Paralelo a isso, é necessário deixar claro que ainda sim a visita de campo é de grande valor, e não deve ser suprimida, pois a partir inspeção na área possibilitou-se entender como as variáveis integram-se na prática.

Por fim, a pesquisa conseguiu apresentar a viabilidade do estudo de patologias de uma rodovia associada à suscetibilidade de erosões e ao escoamento superficial da região em que a via está inserida, entendendo toda a sua configuração geomorfológica e também se possibilitou abrir um precedente para uma maior utilização do geoprocessamento como uma grande aliada na engenharia civil, pois é uma ferramenta pouco onerosa, extremamente rápida e com resultados satisfatórios.

5. REFERÊNCIAS

- AHMED, C. R. M. *Fatores que influenciam a erodibilidade nos solos do município de Campos dos Goytacazes-RJ sob uma análise multicritério*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil apresentando ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro UENF, 2009. 108p
- ALMEIDA, E. P. C.; SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. Latossolos Vermelho-Amarelos. In *Agência Embrapa De Informação Tecnológica – AGEITEC*. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.htm Acesso em: 16/05/2019.
- BRADY, N. C.; WEIL, Ray R. *Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 716p.
- CNT. Transporte Rodoviário - Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?. In *Confederação Nacional Dos Transportes - CNT*. Brasília: CNT. 2017. 160p.
- COLEN, A. G. N.; SILVA, D. S; MARTINS, A. E. K. Elaboração de mapas de geounidades do parque estadual de Lajeado-To. In: *XIII simpósio brasileiro de sensoriamento remoto*. Florianópolis - Sc, 2007. 2455-2462p.

-
- IENSEN, R. E. *Relação entre erosão e as consequências erosivas na área do Morro Cerrito em Santa Maria-RS*. Monografia apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia e Geociências da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. UFSM, 2006. 45p.
- LOPES, M. S.; SALDANHA, D. L. Análise de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao planejamento ambiental do oeste da bacia hidrográfica do Camaquã - Rs. Rbc. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, 2016 1689p.
- OLIVEIRA, J. H. M.; CHAVES, J. M. Mapeamento E Caracterização Geomorfológica: Ecorregião Raso da Catarina e Entorno NE da Bahia. *Mercator*, v. 9, n. 20. Fortaleza: 2010.
- SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE - SEPLAN. *Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial*. Palmas, Seplan, 2002. 49p.
- SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E.D.S; CORREIA, J.R; CUNHA, T. J. F. *Solos areno-quartzosos no Cerrado: problemas, características e limitações ao uso*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 50p.
- SUZUKI C. Y. ; A. M. AZEVEDO; JÚNIOR, F. I. KABBACH. *Drenagem Subsuperficial de pavimentos: Conceitos e dimensionamentos*. São Paulo 1. ed. Oficina e textos. 2013. 240 p.
- VALERIANO, M. de M. *TOPODATA: Guia para Utilização de Dados Geomorfológicos Locais*. São José dos Campos: INPE, 2008.75p.
- VALERIANO, M.M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.4, n.1, p.17-29, 2003.
- VILLELA, F. N. J.; NOGUEIRA, C. Geologia e geomorfologia da estação ecológica Serra Geral do Tocantins. *Biota Neotropica* (Edição em Português. Online), 2011, v. 11, 2011.

Recebido em: 21/10/2019

Aceito para publicação em: 19/06/2020