

Emprego de dados geomorfométricos na análise da suscetibilidade erosiva

Diego Tarley F. Nascimento

da Universidade Federal de Goiás – Goiânia - Brasil
diego.tarley@gmail.com

Patrícia de Araújo Romão

da Universidade Federal de Goiás – Goiânia - Brasil
pat_iesa@yahoo.com.br

Maurício Martines Sales

da Universidade Federal de Goiás – Goiânia - Brasil
sales.mauricio@gmail.com

Resumo: O grau de incerteza quanto às avaliações dos terrenos associadas à ocorrência de processos erosivos, por metodologias consagradas, como é o caso equação Universal de Perda do Solo, é a principal motivação deste trabalho, que tem por objetivo descrever o emprego de dados geomorfométricos no mapeamento da suscetibilidade a processos erosivos, tendo como estudo de caso a faixa do duto OSBRA da Petrobras. Foram empregadas imagens SRTM (1 *ArcSecond* ~ 30 m) para processamento de dados secundários (densidade de drenagem, comprimento de fluxo e diversidade altimétrica) capazes de refletir o controle das estruturas geológicas e o comportamento hidrológico dos terrenos, ao avaliar a resistência a erosões. Conforme os mapeamentos e discussões realizadas, o emprego de dados geomorfométricos é capaz de subsidiar a delimitação e análise de áreas com maior ou menor suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos. Esta análise oferece subsídios à compreensão do comportamento dos terrenos frente à desagregação e transporte do solo, principalmente quanto ao aumento da velocidade e à concentração do escoamento superficial, em oposição à capacidade de infiltração da água.

Palavras chave: Erosão. Suscetibilidade. Geomorfométrico.

Introdução

Coexiste na bibliografia internacional e nacional uma diversidade de metodologias de mapeamento de suscetibilidade aos processos erosivos, nas quais são considerados diversos atributos do terreno e computados pesos diferenciados para cada um deles (SALOMÃO, 1999; CASTRO; SALOMÃO, 2000; SPÖRL; ROSS, 2004).

Diversos autores, como Fernández (1996), Prado e Nóbrega (2005), Albuquerque et al. (2005), Cabral et al. (2005) e Bertoni e Lombardi Neto (2010), empregaram a Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation– USLE*), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1978), em que são avaliados fatores de erosividade (R), erodibilidade (K), comprimento de rampa (L), declividade (S), uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P). Contudo, há certo grau de incerteza da predição de perdas de solo por essa metodologia, conforme citado por Weill e Sparovek (2008) e por Oliveira *et al.* (2011). Os principais

problemas do emprego da USLE decorrem da “aplicação da equação em situações em que os fatores não podem ser determinados de forma segura” (CHAVES, 2010, p. 2022).

Com diversas adaptações visando a melhoria na estimativa das perdas de solo, concebeu-se à Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE), com a mesma estrutura da USLE, mas com a incorporação de vários conceitos de modelagem baseados nos processos físicos de seus componentes. Pruski (2006) destaca que, apesar das consideráveis melhorias com relação à USLE, ela também apresenta as mesmas limitações na estimativa de perdas de solo.

Para esse mesmo fim, também são elaboradas cartas geotécnicas, que se baseiam no produto da cartografia de síntese da suscetibilidade dos terrenos aos processos erosivos e aos riscos geológicos. Essa cartografia de síntese baseia-se nos condicionantes do meio físico, associados à ocorrência de feições erosivas, onde são identificadas as áreas com maior suscetibilidade de ocorrerem tais processos (ZUQUETE, 1993; CANIL, 2000; ARCAYA, 2007; SILVA, 2009; ALMEIDA, et al. 2013).

Os procedimentos metodológicos para o mapeamento da predisposição dos terrenos à deflagração de processos erosivos, em suma, abordam a delimitação de áreas homogêneas quanto à maior ou menor fragilidade do meio físico frente à resistência desses processos. As condicionantes climáticas, pedológicas e topográficas (essas últimas aqui entendidas como geomorfométricas) muito auxiliam no entendimento do comportamento dos fenômenos associados aos processos erosivos, tais como: 1) a ação da energia cinética liberada a partir do impacto das gotas das chuvas (erosividade); 2) as características de textura, composição, porosidade, permeabilidade (etc.) do solos, que refletem a resistência à desagregação e ao seu transporte (erodibilidade) e, por último; 3) a condição da morfologia do terreno, sob o qual atuará a infiltração e/ou o escoamento superficial, ora mais ora menos acelerado e/ou concentrado (relevo).

Tendo em vistas esses pressupostos, em um estudo anterior, Nascimento, Romão e Sales (2018) descreveram e empregaram metodologias de mapeamento da erosividade e erodibilidade, para o caso de bacias hidrográficas delimitadas no trecho do Oleoduto São Paulo/Brasília (OSBRA), entre Minas Gerais e Goiás. Para esse fim, os autores aplicaram o índice de erosão (EI) para determinação da erosividade, calculado a partir do coeficiente de regressão entre o coeficiente de chuva (Cc) e o índice médio mensal de erosão (EI₃₀), e agruparam e classificaram os tipos de solos existentes na área em estudo para determinação da erodibilidade, conforme as propriedades dos solos associadas à resistência, à desagregação e ao transporte desses materiais. No presente trabalho, chama-se a atenção para a retratação da condição do relevo para diagnósticos dos locais propícios à ocorrência de processos erosivos, valendo-se de Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Em suma, o MDE, obtido a partir de modelos digitais de superfície (MDS), baseia-se numa representação digital de uma seção da superfície, dada por uma matriz estruturada em linhas e colunas, com pixels georreferenciados, que possuem um valor de intensidade do pixel correspondente à elevação da superfície. Contudo, os MDEs também registram objetos não topográficos sobre a superfície do terreno, como prédios, casas e, principalmente, árvores – chamado “efeito dossel”. Portanto, os MDEs diferem dos Modelos Digitais de Terreno (MDT), sendo que esses últimos se valem de imageamento remoto penetrante e/ou do processamento digital para remoção da interferência dos obstáculos, capazes, assim, de retratarem a topografia real ou hidrologicamente relevante do solo (CORREA et al., 2017).

Para a elaboração de MDE, geralmente são empregadas imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM – acrônimo que pode ser traduzido para o português Missão Topográfica Radar Shuttle). As imagens SRTM foram registradas em fevereiro de 2000 por um radar interferométrico de abertura sintética acoplado no ônibus espacial norte-americano *Endeavour* (RABUS et al., 2003). Inicialmente disponibilizadas com resolução espacial de 90m (banda C), a partir de 2014 o acesso passou a ser também às imagens com resolução espacial de 30m (banda X). Desse modo, apresenta-se a seguir o principal objetivo deste estudo, tendo em vista os resultados almejados, por meio do processamento e análise de dados geomorfométricos do terreno quanto a sua suscetibilidade à erosão.

Objetivo

O objetivo do trabalho está centrado na descrição metodológica do emprego de dados geomorfométricos para o mapeamento da suscetibilidade erosiva. Para tanto, é demonstrada a aplicação dessa metodologia para o mapeamento da suscetibilidade a erosões ao longo da faixa do duto OSBRA da Petrobras, que foi desenvolvida no âmbito de um projeto de pesquisa de apoio técnico firmado entre a Universidade Federal de Goiás e a Petrobras.

Localização e breve caracterização da área em estudo

O acrônimo OSBRA representa o Oleoduto São Paulo/Brasília, responsável pelo transporte de produtos claros, álcool e gás liquefeito de petróleo (GLP) que atravessa os estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás, além do Distrito Federal, com 970 km de extensão. O segmento do OSBRA é dividido em quadrantes, conforme designação e denominação interna da Petrobras. O trecho sobre responsabilidade do projeto referido no trabalho e utilizado como

área em estudo abrange os quadrantes 3 a 7, que parte de Minas Gerais, passa por Goiás e alcança o Distrito Federal totalizando uma extensão de 635 km – Figura 1.

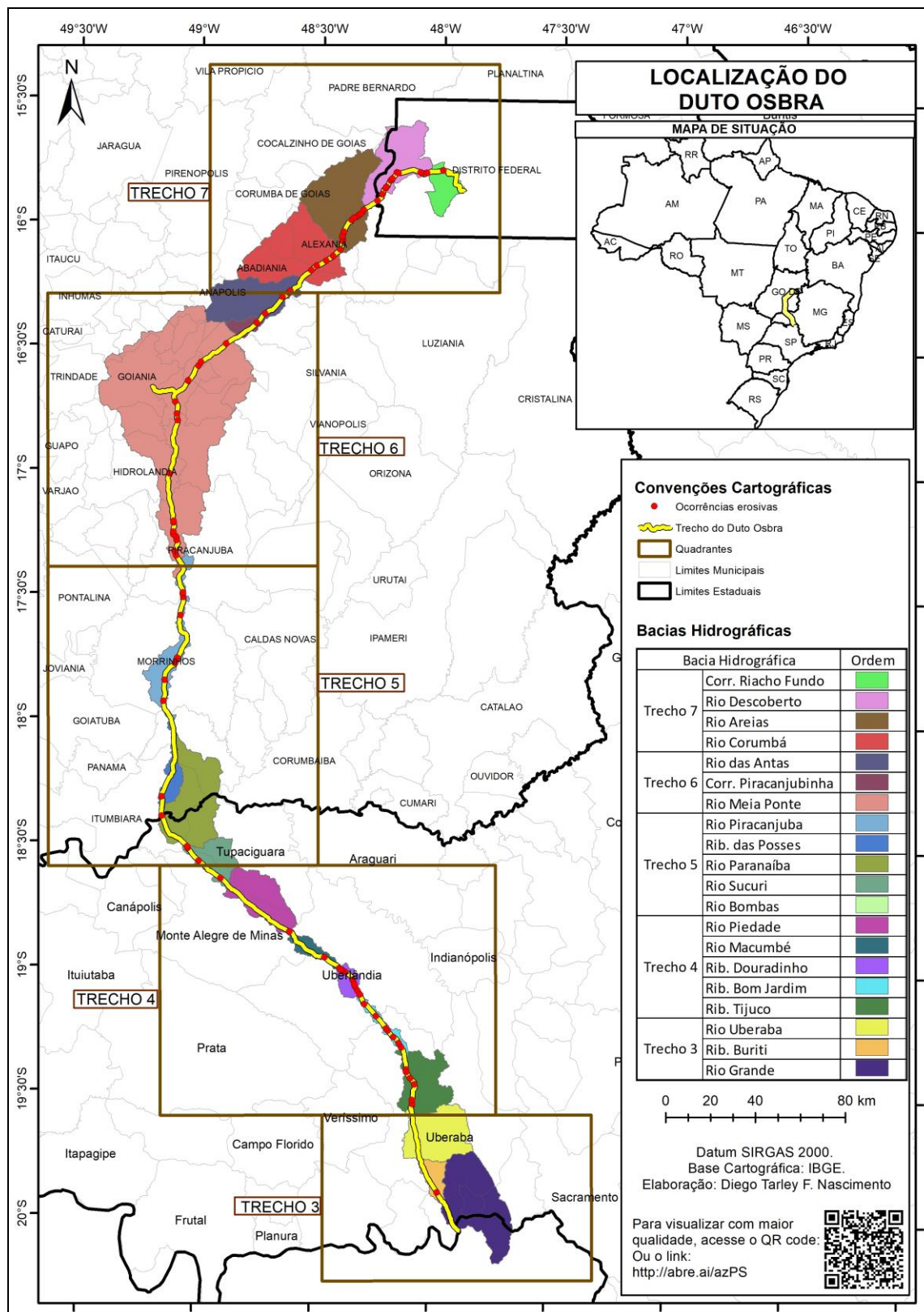


Figura 01 – Localização do trecho do Oleoduto São Paulo/Brasília (OSBRA), considerado como área em estudo, segmentado pelos quadrantes 3 a 7. Fonte: próprios autores.

Conforme visto na Figura 02, que mostra o perfil altimétrico ao longo do trecho analisado do duto OSBRA, as maiores altitudes são observadas no Trecho 7, entre Brasília-DF e Anápolis-GO. Tais altitudes correspondem às regiões de superfícies mais aplainadas, formadas por planaltos e chapadões, pertencentes ao Planalto Central Brasileiro, principalmente sobre rochas metamórficas da Faixa de Dobramentos Brasília (UHLEIN et al., 2013).

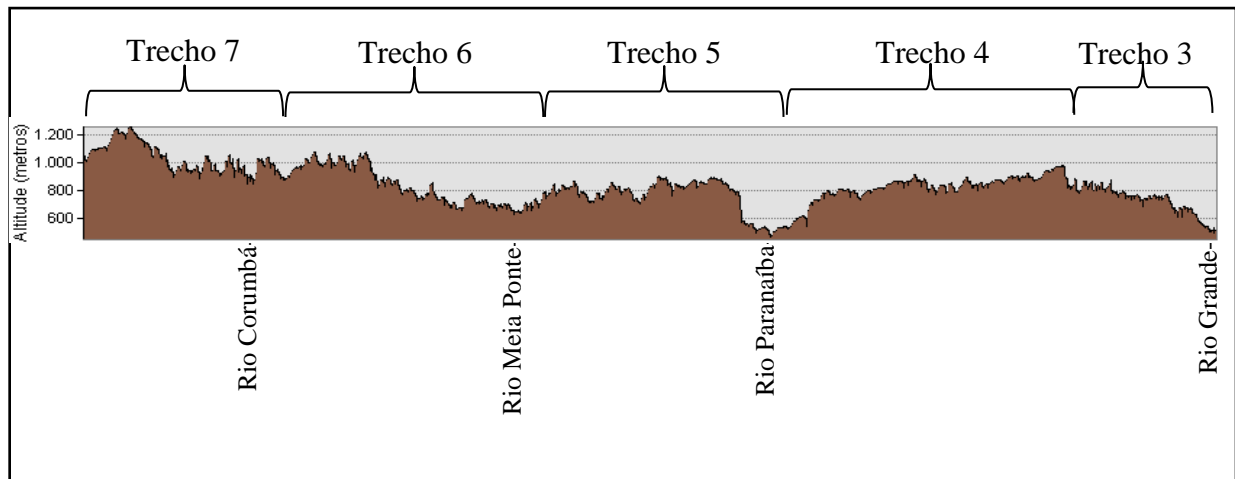


Figura 02 – Perfil de altitude ao longo do duto OSBRA.

Fonte: próprios autores.

Ao longo do referido duto, no sentido sul, após essa região, as altitudes tendem a diminuir, alcançando os menores valores na planície do rio Meia Ponte (em torno de 620 m), em Piracanjuba-GO; do rio Paranaíba (em torno de 420 m), em Itumbiara-GO; e do rio Grande (em torno de 500 m), em Uberaba-MG. Nesse contexto, os dois últimos cursos d'água entalharam-se principalmente sobre rochas sedimentares, localizadas no Planalto Central da Bacia do Paraná.

Procedimentos metodológicos

A etapa inicial dos procedimentos metodológicos consistiu na aquisição das imagens SRTM, com 30 m de resolução espacial (banda X), a partir da plataforma *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), administrada pela *United States Geological Survey (USGS)*.

Em seguida, as imagens SRTM foram processadas de forma a serem extraídas as drenagens em escala adequada para o propósito do mapeamento (1:100.000), sendo posteriormente hierarquizadas conforme metodologia de Strahler (1952), segundo a qual os rios que não recebem nenhum afluente são considerados como de 1º ordem, a confluência de dois rios de 1º ordem define um de 2º ordem e assim por diante.

As drenagens extraídas automaticamente a partir das imagens foram também utilizadas para delimitação de bacias hidrográficas que atravessam o duto. Assim, foram delimitadas 20 bacias hidrográficas, na maior parte de quinta ordem; partindo de bacias de primeira ordem a bacias maiores, de sétima ordem; conforme visto no mapa da Figura 01.

Ressalta-se que a bacia hidrográfica foi definida como unidade espacial de análise ambiental por ser defendida por Botelho (1999) como um recorte passível de identificar e representar as inter-relações existentes entre os distintos elementos da paisagem, e processos nela atuantes – condizente com a retratação da suscetibilidade a processos erosivos.

Assim, a partir do MDE recortado para os limites das bacias hidrográficas, foram gerados diversos índices morfométricos (SCHMIDT; DIKAU, 1999) elementares, a exemplo da declividade (gradiente), da curvatura vertical e da curvatura horizontal; além de índices complexos, tais como: densidade de drenagem, diversidade altimétrica e comprimento de fluxo, esses últimos melhor detalhados na sequência.

A densidade de drenagem (D_d) é dada pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais de drenagem, dividido pela área da bacia de drenagem. Trata-se de uma variável condicionada pelo grau de dissecação do relevo produzido pela atuação fluvial e capaz de refletir a quantidade de canais para o escoamento (CHRISTOFOLETTI, 1981). A densidade de drenagem é capaz ainda de indicar a condição de infiltração da água, uma vez que quanto menor a densidade de drenagem, maior será a superfície de contribuição, o que resulta numa maior capacidade de infiltração (VILELLA; MATTOS, 1975). Em suma, uma baixa densidade é representada por um relevo suave, com menor quantidade de canais e drenagens pouco extensas, que responde hidrológicamente a um escoamento mais lento quando comparada a áreas com alta densidade, que predominam em áreas mais dissecadas, com rápido escoamento das águas superficiais. Sob o aporte do *software* de geoprocessamento (ArcGIS 10.1), a densidade de drenagem foi levantada com base na densidade de *kernel* da rede de drenagem (escala 1:100.000).

Já a diversidade altimétrica (D_a) indica a distribuição dos desníveis de altitudes existentes em cada raio de área, fornecendo indícios sobre a rugosidade desse terreno. Essa variável foi calculada com base na densidade de *kernel* das curvas de nível de 20 m, extraídas das imagens altimétricas, valendo-se do raio de busca de 3 km².

Por sua vez, o comprimento de fluxo (C_f) reflete a extensão da atuação do escoamento superficial sobre a vertente. Esse componente pode ser quantificado pela ferramenta de análise espacial hidrológica denominada de comprimento de fluxo, calculada de cima para baixo, na vertente (*downstream*), a partir do divisor de águas, em sentido aos canais de drenagem (que se situam no fundo de vale mais próximo, perpendicular a essa medida de comprimento). A

diferença entre os comprimentos, o da vertente e o de fluxo, refere-se ao fato de que no primeiro caso, a vertente toda, desde o topo até a drenagem, é medida, perpendicularmente à drenagem, enquanto no segundo caso, vertente abaixo, o comprimento do fluxo é medido, desde a sua formação, incluindo o fluxo da própria drenagem (NUNES, 2015).

Com vistas a verificar a adequação do emprego das variáveis geomorfológicas para o mapeamento da suscetibilidade à erosão, registros de 113 ocorrências erosivas, repassados pela própria Petrobras, cadastrados em visitas de campo e identificados pelo *Google Earth* – conforme metodologia discriminada por Nascimento e colaboradores (2015), foram plotados às representações cartográficas e interseccionados pelos arquivos matriciais. Ainda, com o intuito de possibilitar a visualização dos dados geomorfológicos levantados e subsidiar a análise local, as representações cartográficas foram concebidas detalhando o trecho 7 do OSBRA, em pequenas áreas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto (GO).

Resultados e discussões

As declividades e as curvaturas vertical e horizontal podem ser correlacionadas aos processos erosivos considerando a velocidade, a aceleração e a concentração do fluxo nas vertentes. De maneira geral, as maiores declividades, condizentes com relevos mais íngremes, associam-se às maiores velocidades de fluxo – Figura 03.

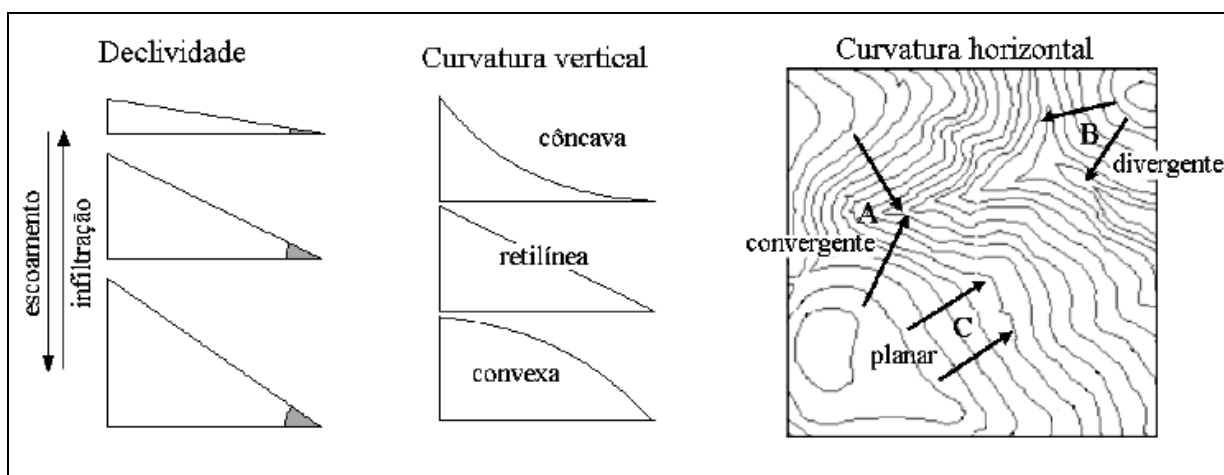


Figura 03 – Esquema da variação das declividades, curvatura vertical e curvatura horizontal.
Fonte: Valeriano (2008).

No caso da curvatura vertical, também denominada curvatura do perfil, observa-se que em vertentes convexas, nas quais a inclinação inicia-se baixa, aumentando vertente abaixo, o fluxo tende a iniciar com menores velocidades, acelerando-se vertente abaixo, até ter velocidade máxima no sopé. Nesse caso, no sopé de vertentes convexas, desde que outras condições no terreno sejam favoráveis, como é o caso, por exemplo, de solos de alta erodibilidade, podem-se formar as denominadas alcovas de regressão, ocasionando erosões ditas regressivas e conectadas em geral ao curso d'água.

Quando a curvatura vertical da vertente é côncava, de modo inverso, o fluxo tende a ter velocidade maior, logo no início, pois as inclinações na parte mais alta da vertente são maiores, diminuindo vertente abaixo, tendendo, por isso, ao fluxo a ser desacelerado até o sopé – por isso é comum na base de vertentes côncavas a formação dos denominados depósito de tálus. Desse modo, a porção mais alta de uma vertente côncava coincide com as inclinações maiores e, em geral, com as bordas das chapadas, dos chapadões e dos planaltos, onde se verifica maior incidência de processos erosivos – conforme visto no detalhe do mapa da Figura 04 para a curvatura vertical.

Já a curvatura horizontal pode ser entendida como a variação da orientação das vertentes, expressa na forma das curvas de nível. Curvas de nível configurando um “V” em planta, cujos vértices apontam para as áreas mais altas, correspondem à convergência de fluxo. Quando a forma das linhas das curvas de nível não forma curvas, isso indica nenhuma mudança na orientação, correspondendo às partes ditas planares nas vertentes. No caso das linhas configurarem um “V”, apontando para a parte mais baixa da vertente, isso equivale às vertentes divergentes e conseqüentemente, às áreas de divergência de fluxo. A convergência de fluxo, em geral, tende a deflagrar erosões, como também pode ser observado no detalhe do mapa da Figura 04 na página a seguir.

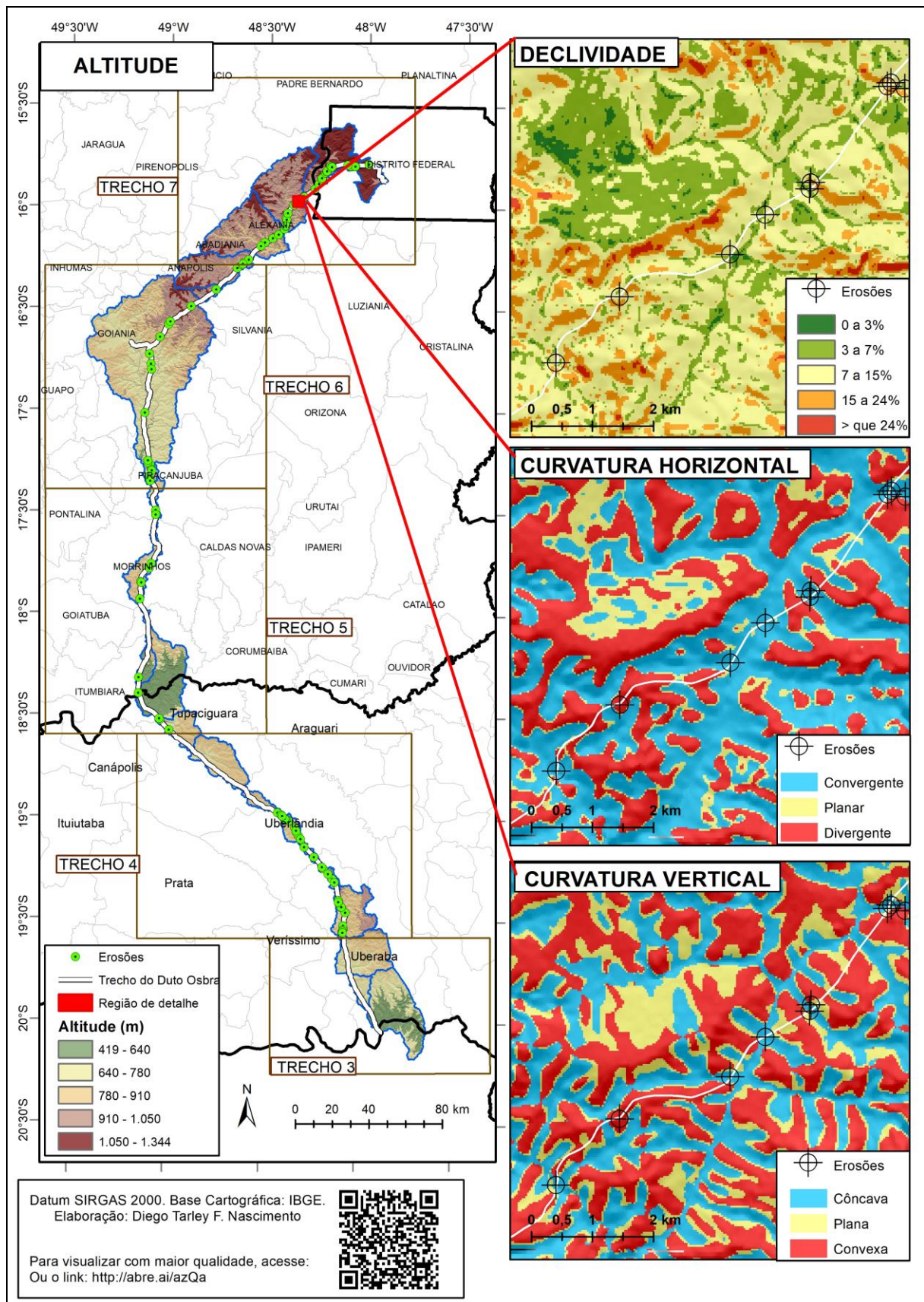


Figura 04 – Altitude ao longo do OSBRA e detalhe para as declividades e curvaturas verticais e horizontais.
Fonte: próprios autores.

Dentre as 113 ocorrências de erosões, 98 (86,7%) se encontraram associadas a declividades variando entre 3 e 15%, representativas de relevo suave ondulado (3 a 7%) e ondulado (7 a 15%), (Figura 05) – possivelmente associadas a outras condições do terreno que favorecem a deflagração de processos erosivos, como é o caso da erodibilidade dos solos, conforme já comentado. No tocante às curvaturas verticais, maior proporção (61, equivalente a 54%) se encontra em vertentes côncavas – mas com expressiva quantidade (36, 31,9%) em vertentes convexas. Ao passo que dentre as curvaturas horizontais, a maior incidência de erosões (53, 46,9%) se dá nas áreas de convergência de fluxo, mas também com evidente ocorrência sobre vertentes divergentes (34, 30,1%).

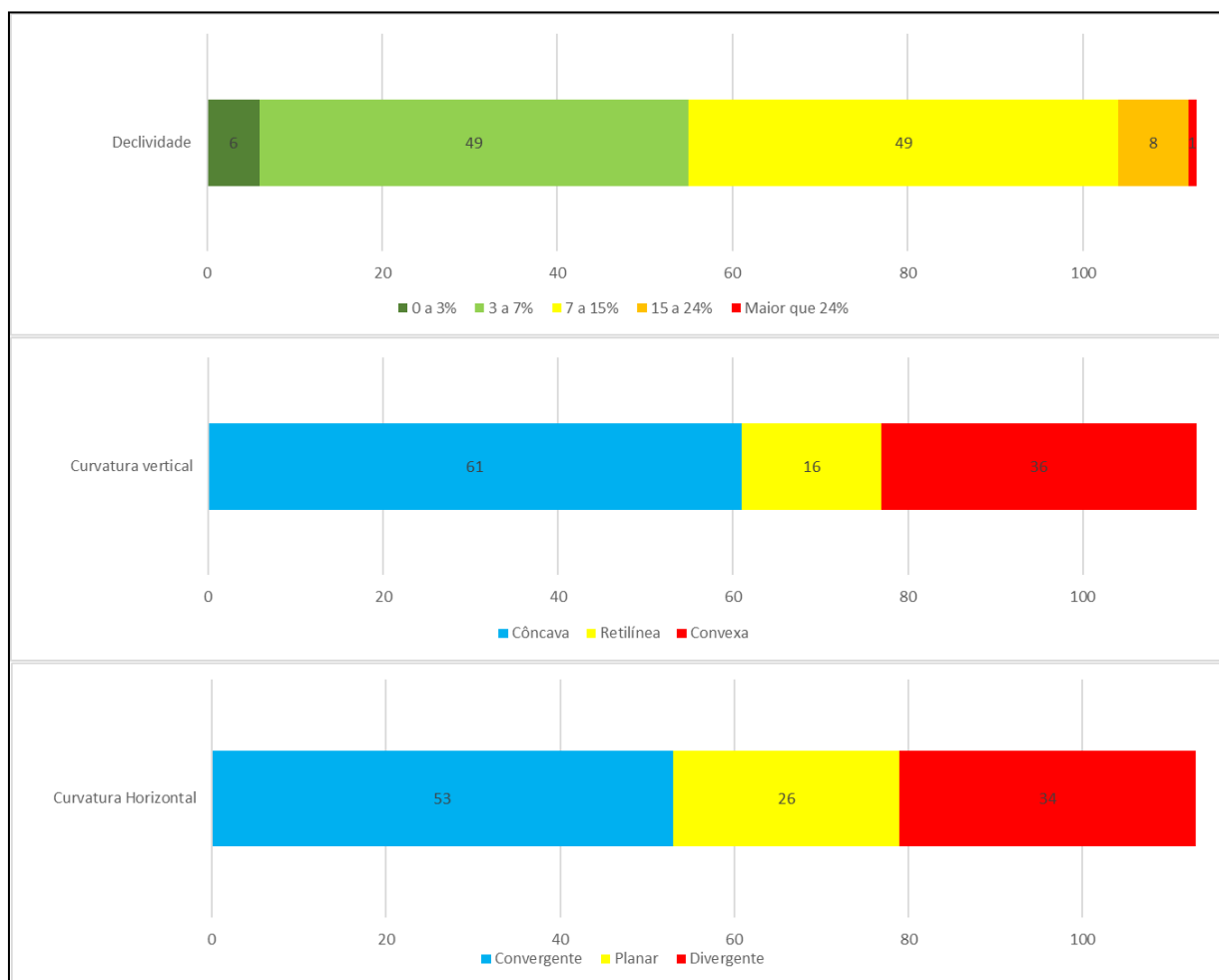


Figura 05 – Interseção da localização de ocorrências erosivas com classes de declividade, curvatura vertical e curvatura horizontal.

Fonte: próprios autores.

Por sua vez, a densidade de drenagem é capaz de refletir a existência de áreas de diferentes dissecações, além da provável correlação com a permeabilidade dos terrenos subjacentes. As maiores densidades de drenagens correlacionam-se, em sua maioria, às áreas mais dissecadas. Ainda é possível indicar a maior ou menor suscetibilidade dos terrenos quanto

à deflagração e/ou intensificação de processos erosivos. De mesma forma, a hierarquia (ordem) da drenagem também pode indicar a suscetibilidade à ocorrência de erosão dos terrenos situados próximos aos cursos d'água. Em geral, quanto maior a ordem das drenagens, maior a probabilidade de formação de depósitos fluviais, correspondentes a solos mais suscetíveis à deflagração de erosões de borda de canal, em travessias do duto. Conforme observado a partir do detalhe da Figura 06, as erosões nas áreas de estudo são conectadas e tendem a ocorrer associadas a canais de maior ordem, de segunda ordem em diante.

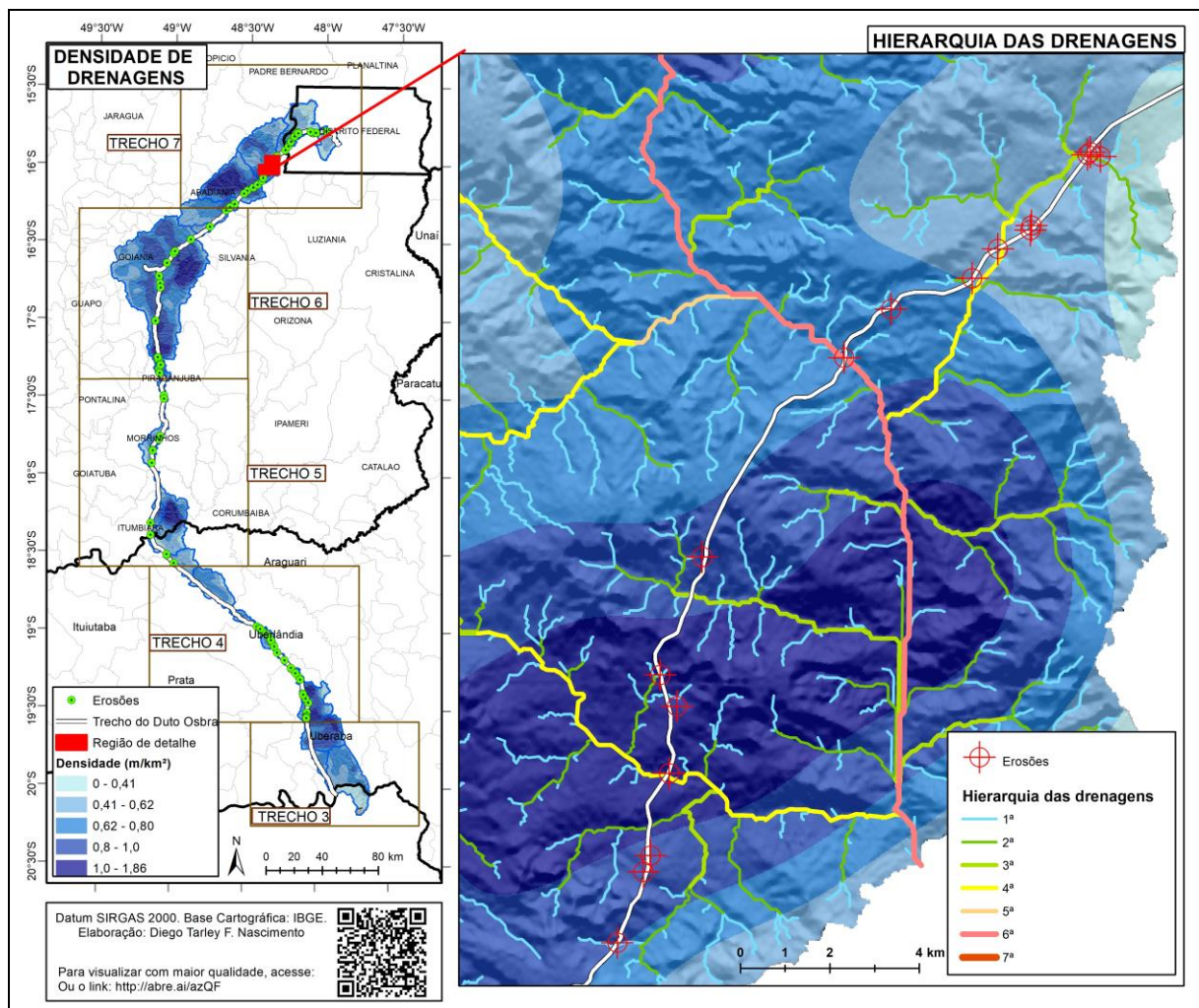


Figura 06 – Mapa de densidade e hierarquia de drenagem.
Fonte: próprios autores.

As áreas com maiores diversidades altimétricas coincidem com as regiões mais dissecadas, as quais podem ser entendidas como a medida da rugosidade da superfície do terreno. Ou seja, quanto mais frequentes são os desníveis, mais rugoso é o terreno. As dimensões dos desníveis associam-se à existência de maior ou menor energia potencial gravitacional. Quanto maior a diversidade altimétrica, maiores os desníveis e,

consequentemente, maior o gradiente hidráulico, com correspondente disponibilidade de energia potencial para a ocorrência de um processo erosivo. Exceto no alinhamento equivalente à própria drenagem, os maiores valores de comprimento de fluxo correspondem às regiões mais propícias à intensificação dos processos erosivos. Isso porque uma vertente maior, correspondente a um maior caminho para o fluxo, permite a atuação mais intensa do escoamento superficial sobre essa rampa, o que favorece a deflagração e intensificação dos processos erosivos, conforme visto pelo detalhe da Figura 07.

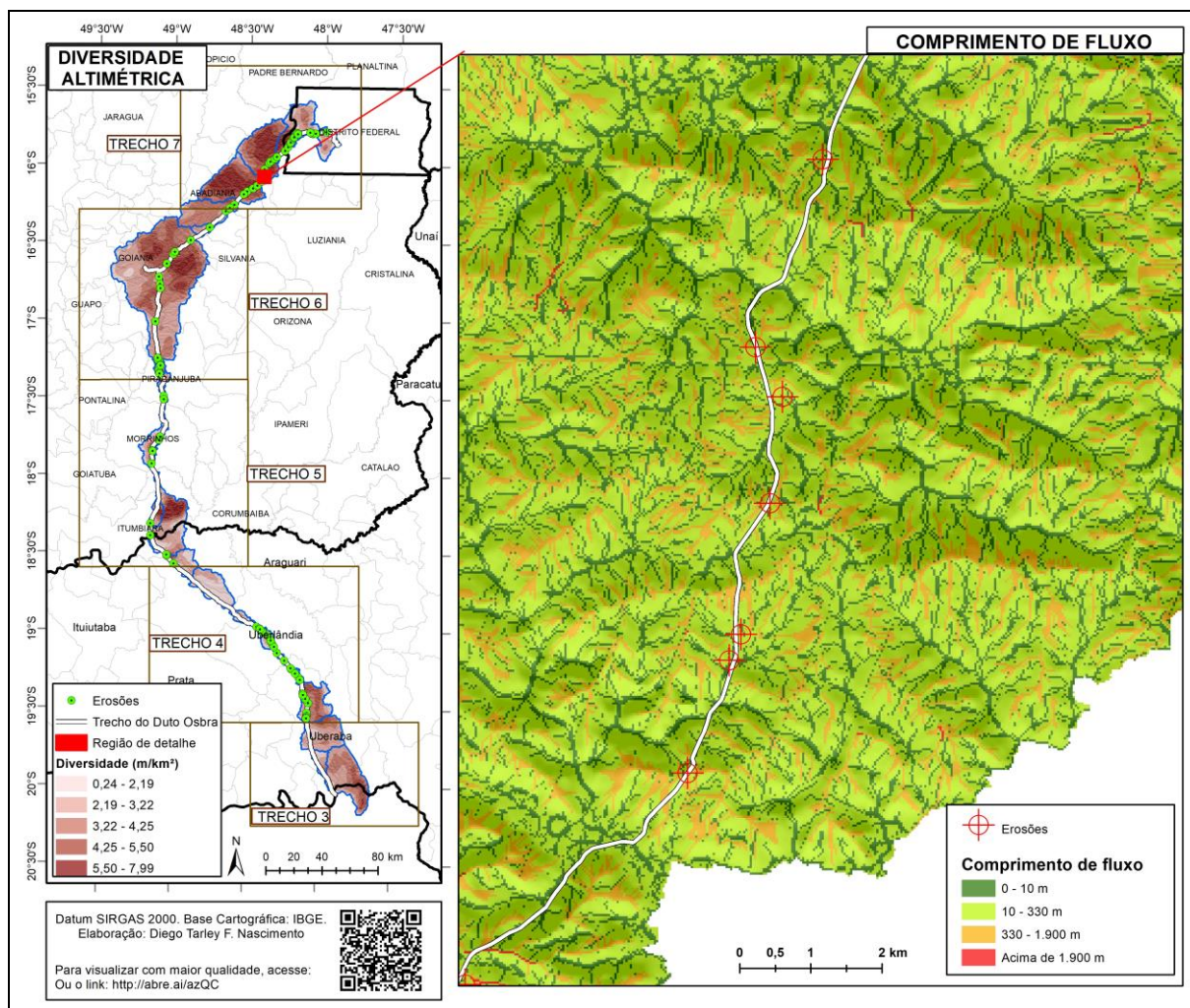


Figura 07 – Mapa de diversidade altimétrica com comprimento de fluxo.
Fonte: próprios autores

Pela intersecção entre a localização dos processos erosivos com os índices geomorfométricos complexos anteriormente descritos, percebe-se que há uma distribuição equilibrada das erosões entre as diferentes classes de densidade de drenagem e de diversidade altimétrica (Figura 08). A não correspondência da maior ocorrência de erosões em terrenos com maior densidade de drenagem e de diversidade altimétrica, consequentemente, de relevo mais dissecado, pode ser justificada pela atuação de outros fatores responsáveis pela deflagração e/ou

intensificação dos processos erosivos, como, por exemplo, o fluxo acelerado e/ou concentrado ao longo da própria vertente ou a erodibilidade dos solos.

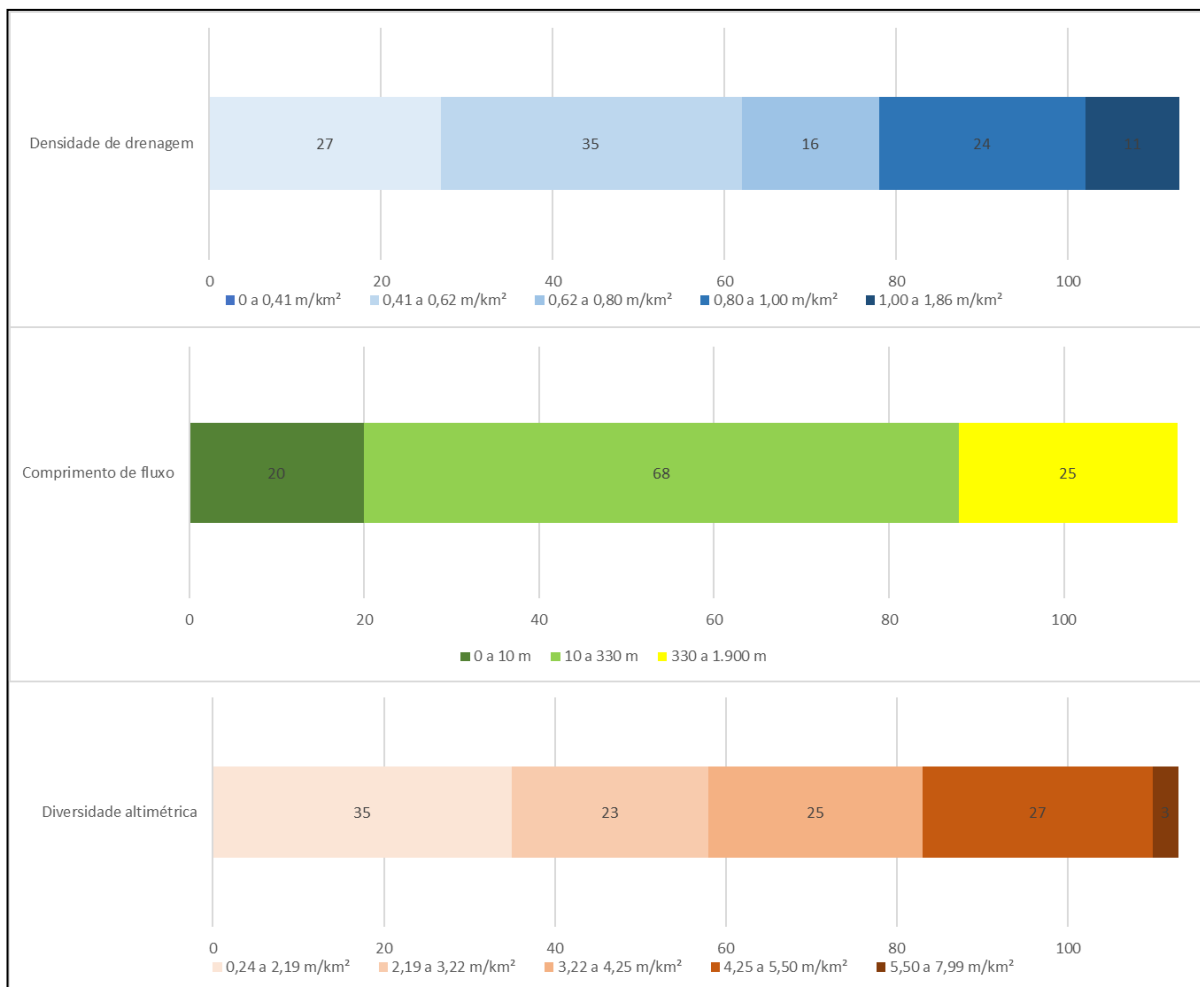


Figura 08 – Interseção da localização de ocorrências erosivas com classes de densidade de drenagem, comprimento de fluxo e diversidade altimétrica.

Fonte: próprios autores.

No que diz respeito ao comprimento de fluxo, a maior incidência (68, ou 60,2%) foi correlacionada a comprimentos entre 10 e 330m, capazes de proporcionar maior tempo de atuação do fluxo sobre a vertente, exceto para o caso daqueles valores referentes ao próprio curso d'água e, conseqüentemente, de deflagrar e/ou intensificar o processo erosivo.

Considerações finais

Conforme os mapeamentos apresentados e discussões realizadas, em muito a abordagem morfométrica tem a contribuir na delimitação e análise de áreas com suscetibilidade à

ocorrência de processos erosivos. Além da consideração da erodibilidade e erosividade, tal abordagem é capaz de oferecer importantes subsídios à compreensão do comportamento dos terrenos frente à desagregação e ao transporte do solo, principalmente no que concerne ao aumento da velocidade e à concentração do fluxo de escoamento superficial em oposição à capacidade de infiltração da água.

Assim, a disponibilização gratuita de imagens SRTM com resolução espacial de 30m responde à carência de dados topográficos para tratamento em meio digital, capazes de suprir mapeamentos em escalas regionais variando entre 1:100.000 e 1:250.000 para todo globo terrestre. A partir de Modelos Digitais de Elevação, além das derivações geomorfométricas dos índices elementares levantados, como é o caso da altitude, declividade, curvaturas vertical e horizontal, outros índices complexos podem ser elaborados, com vistas à viabilização de análises mais completas para mapeamentos de suscetibilidade erosiva, como realizado no presente trabalho, por meio do levantamento de densidade e de hierarquia da drenagem, de diversidade altimétrica e de comprimento de fluxo.

Using geomorphometric data in the analysis of erosive susceptibility

Abstract: The uncertainty degree when studying the susceptibility for erosion processes by established methodologies, such as the Universal Soil Loss Equation (USLE), is the main motivation of this study, which aims to describe the use of geomorphometric data to map susceptibility to erosion processes, presenting the case study of the area close to the Pipeline OSBRA of Petrobras. Were employed SRTM images (30 m) for the secondary data processing (drainage density, length of the slopes and altimetry diversity) able to reflect the control of the geological structures and the hydrological behavior of areas when evaluating the resistance to erosion process. As the mappings and the discussions held, the use of geomorphometric data is able to support the delimitation and analysis of areas of susceptibility to the occurrence of erosion processes. This analysis provide important information for understanding the terrain behavior in terms of breakdown and soil transport, particularly with respect to increased velocity and the concentration of runoff flow in opposition to the ability of water infiltration.

Key words: Erosion. Susceptibility. Geomorphometric.

Empleo de datos geomorfométricos en el análisis de la susceptibilidad erosiva

Resumen: El grado de incertidumbre con respecto a las evaluaciones de la tierra asociadas con la ocurrencia de procesos erosivos, por metodologías establecidas, como la ecuación de pérdida de suelo universal, es la principal motivación de este trabajo, cuyo objetivo es describir el uso de datos geomorfométricos en el mapeo de la susceptibilidad a procesos erosivos, tomando como caso de estudio el gasoducto OSBRA de Petrobras. Las imágenes SRTM (1 ArcSecond ~ 30 m) se utilizaron para el procesamiento de datos secundarios (densidad de drenaje, longitud de flujo y diversidad altimétrica) capaces de reflejar el control de las estructuras geológicas y el comportamiento hidrológico del terreno al evaluar la resistencia a la erosión. Según los mapeos y las discusiones, el uso de datos geomorfométricos puede apoyar la delimitación y análisis de áreas con mayor o menor susceptibilidad a la ocurrencia de procesos erosivos. Este análisis proporciona información sobre el comportamiento de la tierra en relación con la desintegración y el transporte del suelo, especialmente en términos de mayor velocidad y concentración de escorrentía, en oposición a la capacidad de infiltración de agua.

Palabras clave: Erosión. Susceptibilidad. Geomorfometría.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobras pelo apoio técnico e financeiro no desenvolvimento do projeto de pesquisa titulado “Mapeamento e Caracterização Geológica Geotécnica Aplicados na Avaliação da Erodibilidade dos Materiais Inconsolidados ao Longo da Faixa do Duto OSBRA da PETROBRAS”, do qual resultou, além de outros, o presente trabalho.

Referências

ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 153-160, 2005.

ALMEIDA, W. S.; SOUZA, N. M.; REIS JÚNIOR, D. S.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 135-149, 2013.

ARCAYA, S. G. C. **Avaliação dos fatores condicionantes dos processos erosivos no Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade de Brasília, 2007. 189p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. L. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2010.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1999. p. 173-215.

CABRAL, J. B.; BECEGATO, V. A.; SCOPEL, I.; LOPES, R. M. Uso de técnicas de geoprocessamento para mapear o potencial natural de erosão da chuva na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG. **Revista RA'E GA**, n. 10, p. 107-116, 2005.

CANIL, K. **Processos erosivos e planejamento urbano: carta de risco de erosão das áreas urbana e periurbana do município de Franca, SP**. São Paulo. 2000. 96 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CHAVES, H. M. L. Incertezas na predição da erosão com a USLE: impactos e mitigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 2021-2029, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Ed. Blucher, 1981.

CORREA, N. F.; RIBEIRO, V. O.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Obtenção de MDE corrigido para delimitação de bacia hidrográfica com auxílio de geotecnologias. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. v. 40-1, p. 217-225, 2017.

FERNÁNDEZ, G. Á. V. **Análise da erosão do solo usando a EUPS, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. 143 p.

NASCIMENTO, D. T. F.; ROMÃO, P. de A.; SALES, M. M. Erosividade e erodibilidade ao longo de dutovia cortando os estados de Minas Gerais e Goiás – Brasil. **Ateliê Geográfico**, v. 12, n. 1, p. 97-117, 2018.

_____; _____.; SILVA, S. B.; SALES, M. M.; VARGAS, C. A. L.; LUZ, M. P. Emprego do Google Earth no cadastramento de processos erosivos lineares e laminares. *In*: ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 15, 2015, Cuba. **Anais [...]**. Cuba, 2015.

NUNES, E. D. **Modelagem de processos erosivos lineares no município de Mineiros – GO**. Tese (Doutorado), – Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

OLIVEIRA, P. T. S.; ALVES SOBRINHO, T.; RODRIGUES, D. B. B.; PANACHUKI, E. Zoneamento ambiental aplicado à conservação do solo e da água. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, n. 35, p. 1723-1734, 2011.

PRADO, J. P. B. NÓBREGA, M. T. Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). **Acta Scientiarum Technology**, v. 27, n. 1, p. 33-42, 2005.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, R.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topography Mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. *In*: GUERRA et. al. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 1999. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, Cap. 7, p.229-267.

SCHMIDT, J.; DIKAU, R. Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models – Semantics, methods, future needs. *In*: DIKAU, R.; SAURER, H. (eds.). **GIS for Earth Surface Systems – Analysis and Modeling of the Natural Environment**. Gebrüder Borntraeger: Stuttgart, 1999. pp. 153-173. 197 pp.

SILVA, E. C. S. **Estudo regional para avaliação da erosão laminar potencial na bacia hidrográfica do reservatório Corumbá IV**. Dissertação de Mestrado. UnB/FT. 2009. 129 p.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, n.15, p. 39-49, 2004.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

UHLEIN, A.; FONSECA, M.A.; SEER, H.J.; DARDENNE, M.A. Tectônica da faixa de dobramentos Brasília – setores setentrional e meridional. **Geonomos**, v. 20, n. 2, pp. 1-14, 2013.

VALERIANO, M. de M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. INPE: São José dos Campos, 2008. 75 p.

VILELLA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WEILL, M. A. M; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I – Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, 32, p. 801-814, 2008.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses** – A guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p

ZUQUETE, L. V. **A importância do mapeamento geotécnico no uso e na ocupação do meio físico**: fundamentos e guia para elaboração. 1993. 369p. Tese de Livre Docência, – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

Sobre os autores

Diego Tarley F. Nascimento – Docente do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, atuando na área de Geografia Física e Geomática, com ênfase em Cartografia, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Climatologia. Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás - Câmpus Cora Coralina

Patrícia de Araújo Romão – Docente do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, atuando na área de Engenharia Civil, com ênfase em Cartografia Geotécnica, atuando principalmente nos temas: caracterização geoambiental, geoprocessamento, cartografia geotécnica, bacia hidrográfica e erosão. Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás - Câmpus Cora Coralina

Maurício Martines Sales – Docente na Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, atua no Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil/UFG. Tem experiência na área de Geotecnia, atuando principalmente nas áreas de Fundações, Erosões, Solos tropicais, Ensaio In-situ e Análise Numérica.

Recebido para avaliação em novembro de 2019

Aceito para publicação em fevereiro de 2020