



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Vulnerabilidade Ambiental no Município de São Domingos (GO)

¹Kássio Samay Ribeiro Tavares, ²Patrícia de Araújo Romão, ³Ivanilton José de Oliveira

¹ Universidade Federal de Goiás – UFG, Instituto de Estudos Socioambientais - IESA, kassiosamayribeiro@gmail.com; ² Universidade Federal de Goiás – UFG, Instituto de Estudos Socioambientais - IESA; pat_iesa@yahoo.com.br ³ Universidade Federal de Goiás – UFG, Instituto de Estudos Socioambientais – IESA; ivanilton.oliveira@gmail.com .

Artigo recebido em 20/02/2020 e aceito em 20/07/2020.

RESUMO

O conhecimento do meio físico e de suas vulnerabilidades permite a investigação das limitações e aptidões de determinado local, a exemplo da investigação da vulnerabilidade ambiental à perda de solos. Esse tipo de avaliação foi testado no município de São Domingos (GO), que apresenta grande disponibilidade de recursos naturais. Para tal, fez-se uso de uma adaptação da metodologia desenvolvida por Crepani et al. (2001), que parte de informações associadas à geomorfologia, ao clima, à vegetação, aos tipos de solo e à geologia, com a finalidade de determinar áreas com maior ou menor vulnerabilidade natural à perda de solos. Dentre as adaptações, foram geradas informações quanto às alturas acima das drenagens mais próximas (Height Above the Nearest Drainage - HAND) e quanto à densidade de drenagem, para a análise da dissecação do relevo, vertical e horizontal, respectivamente. Também consideraram na análise o uso e cobertura do solo, quanto ao tema vegetação, tendo sido por isso denominada de vulnerabilidade ambiental à perda de solos. Como resultados, observou-se que a maior incoerência presente no município, principalmente no que remete ao uso e cobertura do solo, ocorreu entre a ocupação de áreas de Cerrado para atividades de agropecuária, que juntamente com as condições da litologia, do solo e do relevo, tendem a ser primordiais para a ocorrência de erosões. Assim, a maior vulnerabilidade foi encontrada principalmente em regiões com maior declividade, em solos do tipo Neossolo Litólico, utilizados para a agropecuária, tendo sido quase todo o município classificado como medianamente estável ou medianamente vulnerável. Palavras chave: Planejamento Ambiental, Agropecuária, Cerrado, Recursos Naturais

Environmental Vulnerability in the Municipality of São Domingos, Brazil

ABSTRACT

The knowledge of the physical environment and its vulnerabilities allows an investigation of the restrictions and aptitudes determined locally, an example of an investigation of the environmental vulnerability to soil loss. This type of evaluation was tested in the municipality of São Domingos, in the state of Goiás, Brazil, which has a large availability of natural resources. To this end, it used an adaptation of the methodology developed by Crepani et al. (2001), which starts from information related to geomorphology, climate, vegetation, soil types and geology, with the use of determining areas with greater or lesser natural vulnerability to soil loss. Among the adaptations, information was generated regarding the heights above the closest drains (Height Above the Nearest Drainage - HAND) and regarding the drainage density, for the analysis of the vertical and horizontal relief dissection, respectively. They also considered in the analysis the use and cover of the soil, in relation to the vegetation theme, having therefore been called environmental vulnerability to loss of soils. As a result, it was observed that the greatest inconsistency present in the municipality, mainly with regard to land use and coverage, occurred between the occupation of Cerrado areas, for agricultural activities, which together with the conditions of lithology, soil and relief, tend to be essential for the occurrence of erosions. Thus, the greatest vulnerability was found mainly in regions with greater declivity, in soils of the type Neosol Litolic, used for agriculture and livestock, with almost the entire municipality classified as moderately stable or moderately vulnerable.

Keywords: Environmental planning; Agriculture; Cerrado; Natural Resources.

Introdução

Modificações do meio natural são geralmente necessárias para garantir o

desenvolvimento socioeconômico, para dar suporte ao crescimento populacional ou, ainda, em função do aumento nos níveis de consumo dessa

população. Contudo, muitas dessas alterações do meio provocam o desequilíbrio de sistemas naturais, dando origem a fenômenos como a erosão, o assoreamento, a escassez de água etc. Na tentativa de prever, propor ações mitigatórias e monitorar esses fenômenos, fazem-se uso de ferramentas como o geoprocessamento que, por meio de dados geográficos (ambientais, estatísticos, sociais) oriundos de fontes diversas (como cadastros urbanos e rurais, censos demográficos, imagens de sensores remotos etc.), geram resultados úteis ao planejamento territorial e ambiental, em determinada área.

A exposição à ocorrência de fenômenos de consequências imprevistas torna a população que ocupa as respectivas áreas vulnerável a tais consequências. O estudo da vulnerabilidade de áreas e de pessoas é um assunto importante a ser discutido e inserido no planejamento territorial, dada a interação entre sociedade e natureza, em que ambas as partes estão sujeitas às mudanças num ambiente, que podem gerar danos para todos os seres inseridos nesse meio (Kasperson et al., 2005; Beroya-Eitner, 2016; Buffon, 2018; Zacharias; Guerra, 2019).

Áreas em constante desenvolvimento e expansão necessitam de um planejamento territorial e ambiental, tanto para a prevenção de fenômenos, como para a preservação e manutenção de recursos naturais. As análises estão relacionadas geralmente aos aspectos geomorfológicos, os quais consistem em um dos principais parâmetros, tendo em vista que tais aspectos refletem as condições do ambiente geológico, sujeito aos agentes climáticos, sobre o qual, em um tempo histórico, ocorre a apropriação por parte da sociedade.

Uma dessas análises se refere à vulnerabilidade à perda de solos, a qual fornece dados referentes a áreas mais ou menos sujeitas à perturbação das condições momentâneas do ambiente, levando em consideração processos morfogenéticos e pedogenéticos (Crepani et al., 2001; Machado et al., 2017; Santos et al., 2018).

No caso da vulnerabilidade natural à perda de solos, há diversas propostas metodológicas conhecidas, sendo uma das mais difundidas a Equação Universal da Perda de Solos, ou simplesmente USLE (Wischmeier; Smith, 1978; Alewell, 2019), como é conhecida na sigla em inglês. Como o próprio nome diz, ela se propõe a estimar a perda média de solos pela erosão em vertentes, consistindo em um modelo empírico de estimativa da erosão laminar (Nabi et al., 2017; Nabi et al., 2020). A USLE também tem sido

utilizada em trabalhos que se propõem a mapear a vulnerabilidade ambiental, a exemplo de Ribeiro et al. (2016) e Souza et al. (2019).

A proposta metodológica de Crepani et al. (2001), no entanto, deriva de uma longa trajetória de trabalhos desenvolvidos no campo da Geomorfologia, a respeito das vulnerabilidades, fragilidades e susceptibilidades dos ambientes a alterações, de origens naturais e/ou antrópicas. A matriz teórico-conceitual que ancora a proposta de Crepani et al. (2001) advém da Ecodinâmica, de Tricart (1977), que distingue três meios morfodinâmicos, em função da intensidade dos processos morfogenéticos atuais: meios estáveis, meios *intergrades* e os fortemente instáveis.

E a ecodinâmica de Tricart (1977), por sua vez, deriva de Erhart (1966), que propunha uma análise das paisagens a partir de duas condições antagônicas: a biostasia, fruto da estabilidade do sistema pedo-geomorfológico; e a resistasia, em que a retirada da vegetação promove a evolução das vertentes pela ação de processos erosivos.

A modelagem da vulnerabilidade de Crepani et al. (2001) foi pensada para a realidade da Amazônia brasileira. E, em função disso, precisou ser adaptada para outras condições ambientais, como é o caso do Cerrado, já bastante antropizado (comparativamente à Amazônia), com conversão das terras, antes cobertas pelas fitofisionomias campestres, savânicas e florestais do bioma, para lavouras e pastagens, principalmente.

O município de São Domingos, no estado de Goiás foi escolhido como área de estudo para a realização de um ensaio cartográfico desse tipo. Sua base econômica encontra-se estruturada em grande parte na pecuária bovina; na exploração de suas riquezas naturais pela atividade turística, a exemplo das cavernas, cachoeiras, lagos e das áreas ainda preservadas do bioma Cerrado, ali existentes; e ainda, em menor expressividade, na produção agrícola.

Diante do contexto apresentado, o objetivo deste trabalho foi mapear e avaliar a vulnerabilidade ambiental do município de São Domingos, tendo em vista a importância da conservação de suas paisagens naturais (Ribeiro et al., 2007) e as atividades turísticas ali realizadas. A proposta parte da hipótese de que a adaptação da metodologia de Crepani et al. (2001) seja mais condizente para fornecer resultados realistas acerca da fragilidade ambiental encontrada na área de estudo, ao substituir-se o parâmetro vegetação pelo de uso das terras.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

São Domingos (Figura 1) localiza-se na região nordeste do estado de Goiás, mais precisamente na porção conhecida como Nordeste Goiano (divisa com o estado da Bahia), fazendo parte da Região Geográfica Imediata Posse-Campos Belos (na divisão geográfica anterior a 2017, São Domingos pertencia à microrregião do Vão do Paranã).

Atualmente, São Domingos possui uma população estimada de 12.949 habitantes, de acordo com dados do IBGE (2019). Como já mencionado, as atividades econômicas exercidas no município são a agropecuária, com foco na produção bovina, e também o turismo, pelas paisagens naturais, evidenciadas principalmente por extensos afloramentos de rochas calcárias (carste) e pela configuração do vale do Paranã, do qual o rio São Domingos é afluente. Como dito anteriormente, a agropecuária é forte geradora de empregos na região, o que causa uma dependência econômica da população a esse segmento, com a utilização de pastagens plantadas e naturais, para pecuária extensiva, com agricultura incipiente, de subsistência (IBGE, 2017).

Mesmo com o destaque à existência de atividades realizadas na região associadas ao turismo, principalmente ao turismo ecológico e ao de aventura, o potencial turístico do município ainda é pouco explorado, uma vez que ele possui inúmeras grutas, cachoeiras, cavernas e rios ainda pouco visitados ou sequer divulgados (Ribeiro, 2008).

Além disso, o município possui também uma das maiores áreas ainda conservadas do bioma Cerrado. Destaque ainda deve ser dado ao fato de que no município está inserida grande parte do o Parque Estadual Terra Ronca – PETeR, considerados um dos maiores complexos de cavernas do mundo.

Para esta pesquisa, a seleção inicial de referencial teórico foi composta a partir das palavras chaves: vulnerabilidade ambiental e natural. A metodologia utilizada para realização desta pesquisa seguiu a proposta apresentada por Crepani et al. (2001), os quais, para a definição da vulnerabilidade natural à perda de solos, utilizam parâmetros morfogenéticos e pedogenéticos a partir de Tricart (1977). Crepani et al. (2001) propõem uma avaliação por meio da atribuição de

valores às classes temáticas dos mapas geológico, geomorfológico, da cobertura vegetal, pedológico e clima, atribuindo valores de 1,0 (baixa vulnerabilidade) a 3,0 (alta vulnerabilidade). Segundo essa metodologia, a vulnerabilidade de cada tema é estabelecida por meio de valores relativos e empíricos, atribuídos a cada classe dos respectivos mapas, de acordo com a relação morfogênese/pedogênese analisada em cada um.

Neste trabalho, foram utilizadas imagens de Satélite Sentinel-2 e do sensor de micro-ondas, Palsar (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), do Satélite Alos (*Advanced Land Observing Satellite*). Por meio das imagens Sentinel-2 foi gerado o mapa de uso e cobertura do solo e com a utilização das imagens Alos foram gerados os mapas e as informações referentes à hipsometria, declividade, dentre outros parâmetros morfométricos.

Procedimentos Metodológicos

Todos os dados obtidos, tanto a partir de imagens de satélite quanto os dados adquiridos no portal do SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (SIEG, 2018), foram projetados para o sistema de coordenadas UTM SIRGAS 2000. Também foi utilizada uma faixa de 15 km, além do limite municipal de São Domingos, denominado mapa de distâncias (*buffer*), em alguns dos mapas gerados a partir da imagem Alos Palsar.

Uma das principais adaptações à metodologia sugerida por Crepani et al. (2001), foi a utilização do mapa de uso e cobertura do solo, em substituição ao de vegetação, o que tornou a análise associada às condições não mais denominadas de naturais, mas agora levando em conta a atuação antrópica, por isso denominando-a de análise da vulnerabilidade ambiental à perda de solos, segundo é sugerido por Tagliani (2003), por Olímpio e Zanella (2012) e por Olímpio e Zanella (2017). Para a classificação/atribuição dos valores no mapa de vulnerabilidade, o processo de álgebra de mapas consistiu em encontrar um método adaptado a partir do que foi usado por Crepani et al. (2001), na reclassificação dos valores de vulnerabilidade, multiplicando-se por 10 cada valor atribuído por eles às classes, posteriormente dividindo-se por 10, as classes do mapa final, por causa da ferramenta utilizada no programa ArcGIS 10.3/ESRI.

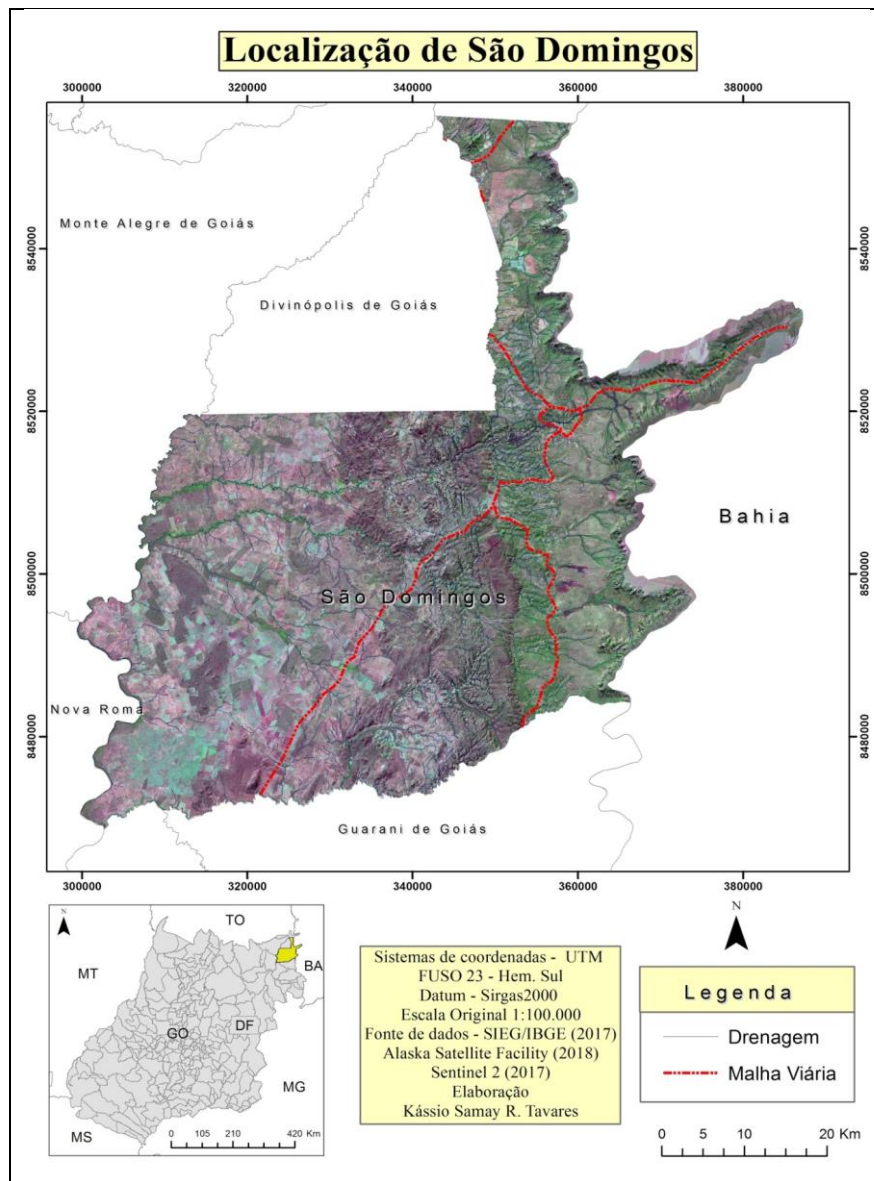


Figura 1 – Mapa de localização do município de São Domingos (GO), Drenagem e Malha Viária.

Uso e cobertura do solo

As imagens Sentinel-2, obtidas por meio do site *Earthexplorer*, foram manipuladas por meio do uso do programa ArcGIS 10.3/ESRI, modificadas suas referências cartográficas e recortadas com o mapa de distâncias (*buffer*), a partir do limite do município de São Domingos. Foi feita a composição colorida, falsa cor (RGB 843), e exportada em formato TIFF, para a manipulação no programa SPRING 5.0/INPE.

Utilizando o SPRING 5.0/INPE foi criado um banco de dados, seguido pela criação de um projeto com projeção Universal Transversa de Mercator - UTM. A imagem em formato TIFF foi importada para o programa, no qual foi utilizada a aplicação linear de contraste e assim realizada a segmentação da imagem em unidades compostas por células contíguas, com determinada uniformidade, utilizando o método de crescimento

de regiões. Nesse critério, são agrupadas células adjacentes, a partir de determinada similaridade entre elas, cujo valor escolhido na pesquisa foi de 30/2000 (similaridade/área em pixels), escolhido por meio de testes, para facilitar a identificação das informações sobre o uso e cobertura do solo, presentes na imagem. Posteriormente, foi realizada a operação de classificação supervisionada, na qual foram coletadas em torno de 100 amostras na imagem, para cada classe de uso presente.

As classes encontradas e classificadas foram: cerrado, floresta (abrangendo formações florestais como mata ciliar, mata galeria entre outros remanescentes de vegetação florestal), agropecuária, solo exposto, afloramento rochoso e corpos d'água. A imagem classificada foi exportada em formato *shapefile* e importada para o ArcGIS 10.3/ESRI para pequenas correções e

ajustes da classificação feita pelo SPRING 5.0/INPE.

Desse modo, foram atribuídos valores de vulnerabilidade para as classes de uso e cobertura do solo (Quadro 1), segundo o que foi sugerido por Crepani et al. (2001), denominado de casos especiais. Considerou-se que os maiores valores de vulnerabilidade à perda de solos referem-se ao uso pela agropecuária (Carvalho et al., 2012, Oliveira, 2015, Zhipeng et al., 2018, Silva et al., 2019), ao qual se associam, em geral, as áreas de solo exposto.

Geologia

Os dados relacionados à geologia foram adquiridos por meio da plataforma da CPRM – Serviço Geológico do Brasil, utilizando o formato

shapefile referente ao mapeamento da geodiversidade no estado de Goiás, na escala de 1:250.000 (Morais, 2014). Essas bases cartográficas têm como fonte o acervo de informações da CPRM/RADAMBRASIL, entre outros. Os dados originais, adquiridos com o sistema de coordenadas associadas ao datum SAD69, foram posteriormente modificados com referência ao datum SIRGAS 2000 e para a projeção UTM. Utilizando-se o programa ArcGIS 10.3/ESRI, esse tema também foi recortado com o mapa de distâncias (*buffer*) de 15 km. Atribuiu-se a classificação referente às unidades litológicas, as classes ponderadas segundo o que está descrito no Quadro 2.

Quadro 1. Valores de vulnerabilidade para uso e cobertura do solo.

USO E COBERTURA DO SOLO	VALORES DE VULNERABILIDADE
Floresta	1,0
Cerrado	1,5
Corpos d'água	2,0
Afloramento de rocha	3,0
Agropecuária	3,0
Solo Exposto	3,0

Adaptado pelos autores, com base em Crepani et al. (2001)

Quadro 2. Valores de vulnerabilidade para geologia.

GEOLOGIA (LITOTIPO)	VALORES DE VULNERABILIDADE
Coberturas Plataformais areno-silticas	2,4
Corpos de metacalcários	2,9
Crosta detrito-laterítica e carbonática	3,0
Depósito aluvionar	3,0
Indiferenciado	1,3
Metassedimentos arenosos	2,4
Metassedimentos siltico-argilosos	2,7
Sedimentos siltico-argilosos	2,7
Tonalito-trondhjemitó-granodiorito (TTG)	1,1

Adaptado pelos autores, com base em Crepani et al. (2001)

Geomorfologia

O tema de Geomorfologia também foi trabalhado segundo adaptações ao que foi proposto por Crepani et al. (2001). Seguindo os índices morfométricos do terreno, foram produzidos mapas de declividade, de altura acima da drenagem mais próxima (*Height Above the Nearest Drainage* – HAND) (Rennó et al., 2008; Nobre et al., 2011) e de densidade da drenagem, esses dois últimos, substituindo os temas sugeridos por Crepani et al. (2001), amplitude altimétrica e distância do interflúvio, respectivamente. Posteriormente, foram atribuídos valores para cada categoria, em cada mapa.

Os mapas dessa categoria foram gerados a partir de imagens de satélite Alos Palsar, que possui uma resolução espacial de 12,5 m. As imagens foram obtidas por meio do acesso à página da *Alaska Satellite Facility's*, tendo sido delimitada a área de estudos para posterior realização do *download* das respectivas cartas. Utilizando o programa ArcGIS 10.3/ESRI ocorreu a importação das imagens, com os seguintes passos: projeção das cartas para SIRGAS 2000, utilizando a ferramenta *raster* e *raster dataset* e feito o mosaico das cartas por meio da ferramenta *mosaic to new raster*. Em seguida, foi importado o arquivo vetorial referente ao limite do município de São Domingos e posteriormente feito o recorte no mosaico para contemplar a área de estudos, utilizando as ferramentas *extraction* e *extraction by mask*.

Após atribuído o valor de vulnerabilidade para cada índice morfométrico, foi gerado a partir da Equação 1, o mapa de vulnerabilidade geomorfológica.

$$R = \frac{D + H + Dd}{3}$$

Eq. 1

Onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade

H = Vulnerabilidade atribuída ao HAND

Dd = Vulnerabilidade atribuída à Densidade da drenagem.

A partir do MDE, foi elaborado o mapa de declividade. Para este tema, foi seguido o seguinte passo: ferramenta *slope* em porcentagem. A atribuição de pesos para a vulnerabilidade da declividade foi feita seguindo os valores propostos por Crepani et al. (2001) (Quadro 3).

Para a confecção do mapa das alturas acima das drenagens mais próximas, HAND foi utilizado o Terraview-TerraHidro/INPE (Rennó et al., 2008) e, para a classificação e finalização, o programa ArcGIS 10.3/ESRI. No Terraview 0.4.2 foram seguidos os seguintes passos: criação do banco de dados, importação da imagem em raster (DEM), manipulação da imagem DEM por meio do ícone de ferramentas hidrológicas (*Hydrological Tools*), correção do modelo digital de elevação e geração das grades de direção de fluxo, de fluxo acumulado e de drenagens extraídas, com limiar de 50 (limiar este escolhido por testes, segundo sugerido por Rennó et al., 2008). Com os dados obtidos foi gerado o mapa com valores do HAND e posteriormente salvo em formato *imagem* (TIFF), que foi levado para o programa ArcGIS 10.3/ESRI, para classificação e finalização.

O arquivo TIFF foi posteriormente classificado, seguindo a metodologia de Crepani et al. (2001) para a amplitude altimétrica. Aplicou-se a ponderação de valores correspondentes à vulnerabilidade desse tema (Quadro 4).

Quanto ao tema relativo ao tamanho de interflúvio, foi realizada uma adaptação da metodologia de Crepani et al. (2001), com a medida morfométrica de densidade da drenagem, a qual pode ser diretamente correlacionada ao à distância do interflúvio. Para elaboração do mapa de densidade de drenagens, para que os dados fossem os mais parecidos possíveis ou mais equivalentes aos reais, na ponderação se utilizou o mapa da rede de drenagem extraída do Modelo Digital de Terreno, elaborado a partir da imagem Alos Palsar. Posteriormente, utilizando a ferramenta *densidade de linha* do ArcGIS 10.3/ESRI e inserindo o valor de 12,5m para cada célula, foi elaborado o mapa de densidade de drenagem. A ponderação de valores (Quadro 5) foi feita utilizando-se a classificação sugerida por Florenzano (2008), a qual também atribui valores de vulnerabilidade de 1,0 (menos vulnerável) a 3,0 (mais vulnerável).

Solos

Para a elaboração do mapa de solos, foram utilizados *shapefiles* disponíveis no site do SIEG, da base de dados do Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Estado de Goiás - 1995 (SIEG, 2018). Essas bases cartográficas, com

escala 1:500 000, foram importadas com o datum SAD69, convertidas para o datum SIRGAS 2000 e recortadas conforme o mapa de distâncias de 15 km, a partir da divisa do município, por meio do programa ArcGIS 10.3/ESRI. Conforme as classes de solos presentes na região, os valores de vulnerabilidade foram atribuídos segundo Crepani et al. (2001), para cada classe (Quadro 6).

Clima

Utilizando dados de precipitação disponibilizados pela série histórica da Agência Nacional das Águas (ANA, 2018), foi possível a elaboração do mapa pluviométrico. Foram obtidos dados dos últimos 30 anos, de 1988 a 2018, tendo sido coletados os valores de precipitação média para cada mês e, posteriormente, somadas as médias para cada ano. Com os dados do somatório dessas médias, foi feita a média dos 30 anos.

Foram coletados dados de quatro estações meteorológicas, numeradas como 1346000, 1346001, 1346002 e 1346005, contemplando o município. Uma das estações situa-se fora do município. Porém o uso dessa estação foi necessário para que fossem interpolados dados de modo a cobrir toda a sua área.

O tratamento dos dados resultou, primeiramente, na soma da média mensal e posteriormente, média anual e, por fim, média referente aos 30 anos de análise. Os dados de média mensal/anual obtidos foram espacializados com o auxílio do programa ArcGIS 10.3/ESRI, no qual foram atribuídos os valores da respectiva vulnerabilidade (Quadro 7), segundo a proposta metodológica dos autores de referência, Crepani et al. (2001).

Quadro 3. Valores de vulnerabilidade para declividade

DECLIVIDADE (%)	VALORES DE VULN.	DECLIVIDADE (%)	VALORES DE VULN.	DECLIVIDADE (%)	VALORES DE VULN.
<3,5	1,0	17,4 - 19,8	1,7	34,6 - 37,2	2,4
3,5 - 5,8	1,1	19,8 - 22,2	1,8	37,2 - 39,8	2,5
5,8 - 8,2	1,2	22,2 - 24,5	1,9	39,8 - 42,4	2,6
8,2 - 10,3	1,3	24,5 - 27,2	2,0	42,4 - 45,3	2,7
10,3 - 12,9	1,4	27,2 - 29,6	2,1	45,3 - 48,1	2,8
12,9 - 15,1	1,5	29,6 - 32,1	2,2	48,1 - 50,0	2,9
15,1 - 17,4	1,6	32,1 - 34,6	2,3	> 50	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001)

Quadro 4. Valores de vulnerabilidade para o HAND

HAND (m)	VALORES DE VULN.	HAND (m)	VALORES DE VULN.	HAND (m)	VALORES DE VULN.
<20	1,0	77 - 84,5	1,7	141,5 - 151	2,4
20,0 - 29,5	1,1	84,5 - 94	1,8	151 - 160,5	2,5
29,5 - 39,0	1,2	94 - 103,5	1,9	160,5 - 170	2,6
39,0 - 48,5	1,3	103,5 - 113	2,0	170 - 179,5	2,7
48,5 - 58,0	1,4	113 - 122,5	2,1	179,5 - 189	2,8
58,0 - 67,5	1,5	122,5 - 132	2,2	189 - 200	2,9
67,5 - 77,0	1,6	132 - 141,5	2,3	> 200	3,0

Fonte: Metodologia adaptada pelos autores, com base em Crepani et al. (2001)

Quadro 5. Valores de vulnerabilidade para a densidade de drenagem

DENS. DE DRENAGEM (m/m ²)	VALORES DE VULN.	DENS. DE DRENAGEM (m/m ²)	VALORES DE VULN.	DENS. DE DRENAGEM (m/m ²)	VALORES DE VULN.
0 - 0,5	1,0	3,0 - 3,9	1,6	10 - 12,5	2,2
0,5 - 1,0	1,1	3,9 - 4,8	1,7	12,5 - 15,0	2,3
1,0 - 1,5	1,2	4,8 - 5,7	1,8	15,0 - 17,5	2,4
1,5 - 2,0	1,3	5,7 - 6,6	1,9	17,5 - 20,0	2,5
2,0 - 2,5	1,4	6,6 - 7,5	2,0	20,0 - 100,0	3,0
2,5 - 3,0	1,5	7,5 - 10	2,1		

Fonte: Adaptado pelos autores, a partir de Florenzano (2008)

Quadro 6. Valores de vulnerabilidade para solos

CLASSE DE SOLOS	VULNERABILIDADE
Latossolos	1,0
Argissolos	2,0
Cambissolos	2,5
Gleissolos, Afloramento Rochoso, Neossolos	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001)

Quadro 7. Valores de vulnerabilidade para clima

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerab.	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerab.	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerab.
< 50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	> 525	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001)

Vulnerabilidade ambiental

Depois de atribuídos os valores às classes dos temas, a vulnerabilidade ambiental à perda de solos resultou da média aritmética dos valores individuais das classes de cada tema, segundo a Equação 1, adaptada de Crepani et al. (2001).

$$V = \frac{(G + R + S + U + C)}{5}$$

Eq. 1

Onde:

V = Vulnerabilidade

G = Vulnerabilidade para o tema Geologia

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = Vulnerabilidade para o tema Solos

U = Vulnerabilidade para o tema Uso

C = Vulnerabilidade para o tema Clima

Sendo uma soma de cada tema, neste trabalho apresenta-se cada mapa classificado quanto a suas vulnerabilidades à perda de solos. Outras metodologias correlatas atribuem pesos associados aos mesmos temas, com exceção do tema associado à vulnerabilidade com relação ao

tema clima, como é possível citar a pesquisa desenvolvida por Nascimento et. al. (2016), que teve como base, Ross (1994).

Resultados

Uso e cobertura do solo

Com a segmentação e a classificação realizada, obteve-se o mapeamento do uso e cobertura do solo, apresentado na Figura 2. São Domingos possui uma das maiores reservas de remanescentes de Cerrado ainda conservadas do Brasil. Grande parte do município é coberta por fitofisionomias do bioma Cerrado.

O fato de ocorrer ainda no município uma cobertura de Cerrado ainda expressiva, garante a ele uma posição bastante favorecida, pois tal configuração beneficia a conservação de seus recursos hídricos, tendo em vista o fato de que a existência de vegetação favorece o processo de infiltração (Carvalho et al., 2012, Oliveira, 2015, Zhipeng et al., 2018), ressaltando-se ainda o fato de

várias nascentes serem encontradas em suas áreas (Morais, 2011), em porções correspondentes à localização da Serra Geral e do Parque Terra Ronca.

Quanto ao mapa de vulnerabilidade do uso e cobertura dos solos, na Figura 2 observa-se uma grande área referente à vulnerabilidade 3,0, correspondentes aos afloramentos rochosos, aos espaços ocupados pela agropecuária, e aos solos expostos. Áreas com menor vulnerabilidade, em maior proporção no município, são exemplificadas pelas águas, áreas florestais e savânicas.

Geologia

Quanto aos aspectos geológicos, o município de São Domingos está inserido em sua maior parte no grupo Bambuí. Na região que faz divisa com a Bahia ocorre a sequência vulcano-sedimentar e metassedimentos, pertencentes à Faixa de Dobramentos Brasília, constituída por metarenitos e metassiltitos.

Quanto à litologia, São Domingos apresenta rochas calcárias, metacalcários e, faixas dispostas aproximadamente na direção norte-sul, como rochas de baixo grau metamórfico, gnaisses e migmatitos do Complexo Basal (Teixeira, et al. 2018). O município destaca-se por possuir reservas de calcário e sua produção está restrita a lavra para correção dos solos. Outras possibilidades metalogenéticas são os dolomitos, fluorita e barita (IBGE, 2017).

A classe de maior expressão, são as crostas detrito-lateríticas, com 32 % da área. Depósitos aluvionares ocupam 0,50%. Metassedimentos, tanto arenosos quanto argilosos ocupam 40 % da área.

Por meio do mapas elaborados e evidenciados na Figura 3, é possível observar que São Domingos apresenta uma litologia correspondente aos metassedimentos arenosos aos quais foi atribuído o valor de 2,4; seguido por metassedimentos argilosos e crosta detrito laterítica, que possuem uma vulnerabilidade alta, onde foram atribuídos valores de 2,7 e 3,0, respectivamente. Em suma quanto à geologia, São Domingos possui uma vulnerabilidade alta, apresentando somente pequenas porções de geologia menos vulnerável, que são representadas pelo Tonalito-trondhjemito-granodiorito (TTG) correspondente a associações quartzo-dioríticos presentes em relevos arrasados, e indiferenciados,

que correspondem a um grupo de corpos que não se enquadram em nenhum outro descrito na localidade.

Geomorfologia

Como já descrito, os mapas utilizados para análise geomorfológica foram os de declividade, o HAND e o de densidade da drenagem, analisados nos itens a seguir.

Declividade

Por meio do mapa gerado para as declividades do município de São Domingos (Figura 4), é possível observar que a maior parte do município de São Domingos apresenta relevo plano e levemente ondulado, correspondente a aproximadamente 75 % da área; já os terrenos classificados como ondulada a montanhosa, abrangem 15 % e a área classificada como montanhosa corresponde a cerca de 10 % do município. As áreas com um declive mais acentuado correspondem à porção relativa à Serra Geral.

Crepani et al. (2001) afirmam que, quanto maior a declividade, maior é a velocidade das águas, com maior velocidade a energia potencial se transforma em energia cinética. A força da gravidade está ligada à força de transporte, gerando forças de atrito entre a massa d'água e as partículas rochosas, prevalecendo assim, a morfogênese.

Os valores mais próximos de 1,0 estão ligados à menor vulnerabilidade do relevo, com um ângulo menor de inclinação. Em situações com maior declividade, com valores próximos a 3,0 prevalecem os processos erosivos (morfogênese) (Crepani et al., 2001).

Com o mapa de vulnerabilidade da declividade gerado, é possível uma maior compreensão dos valores citados (Figura 4). A maior parte ficou entre 1,0 e 2,0 na qual prevalecem regiões planas onde a energia potencial é menor. Os valores de 2,0 a 3,0 são observados no mapa justamente nas regiões com maiores diferenças de altitude (maiores desníveis) e declividade maior. A vulnerabilidade 3,0 está exemplificada diretamente na porção situada entre a parte mais alta da encosta da Serra Geral e a mais baixa, no Vão do Paranã.

HAND

O mapa da altura acima da drenagem mais próxima (HAND) expressa as distâncias verticais acima de cada drenagem, e foi elaborado em substituição ao de amplitude altimétrica, uma das adaptações em relação à metodologia adotada (Figura 5).

Observando e analisando o mapa gerado, a área apresenta variações de 0 a pouco mais de 1.000 m de desníveis. Áreas com valores de distância vertical entre 0 e 58 m expressam a maior parte do município e os valores maiores de distância vertical (altura) expressam somente algumas frações onde o relevo é mais acentuado.

De acordo com o INPE (2010), a distância vertical em metros da drenagem mais próxima está indiretamente representada pelo nível freático, consequentemente indicando locais com maior disponibilidade de água. Também é possível concluir que os valores mais altos de distância vertical, apresentados pelo mapa, indicam áreas bem drenadas e solo pouco saturado, enquanto as de menor valor associam-se a prováveis áreas onde a profundidade do nível d'água é menor, de prováveis ocorrências de ambientes como as veredas.

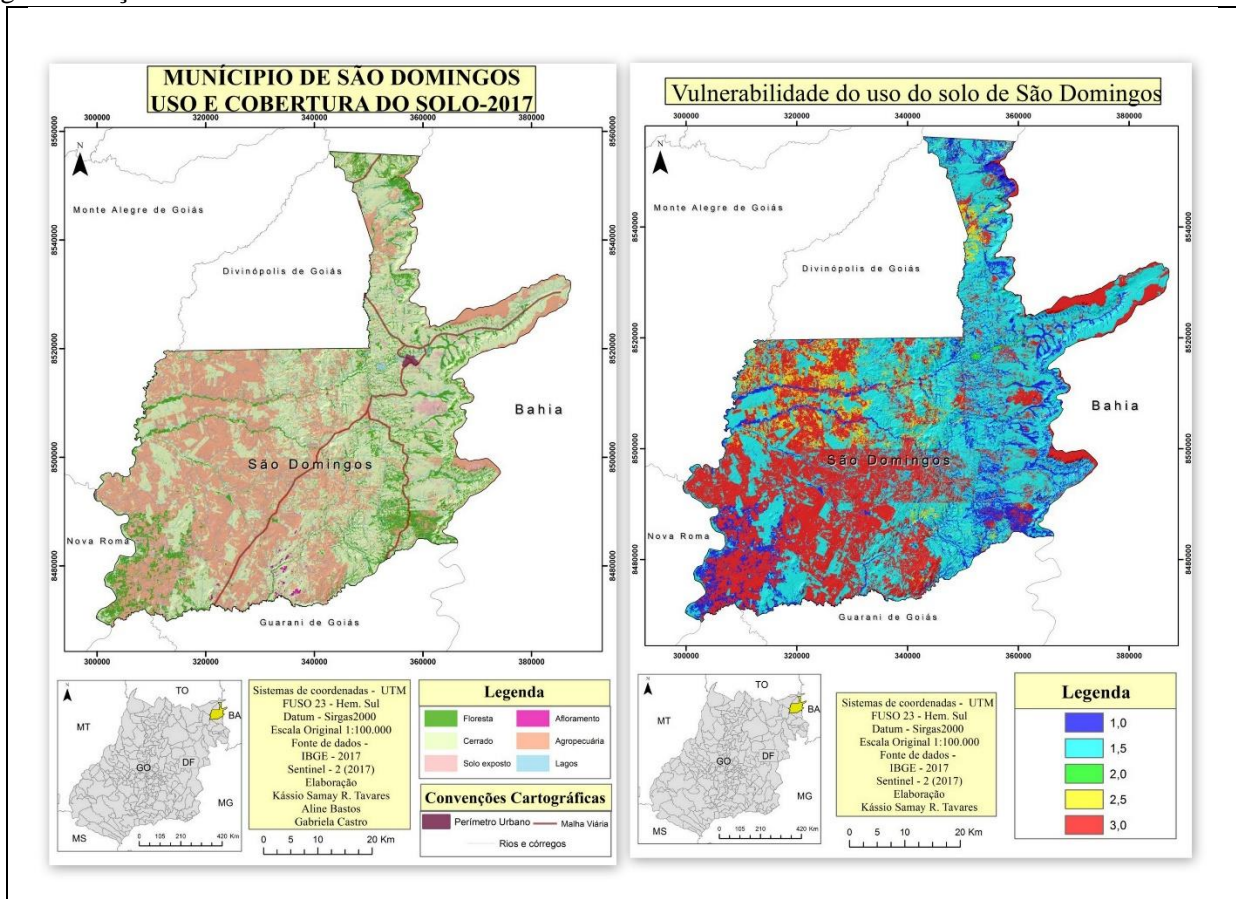


Figura 2 – Mapas de uso e cobertura do solo (esquerda) e da vulnerabilidade do uso do solo (direita)

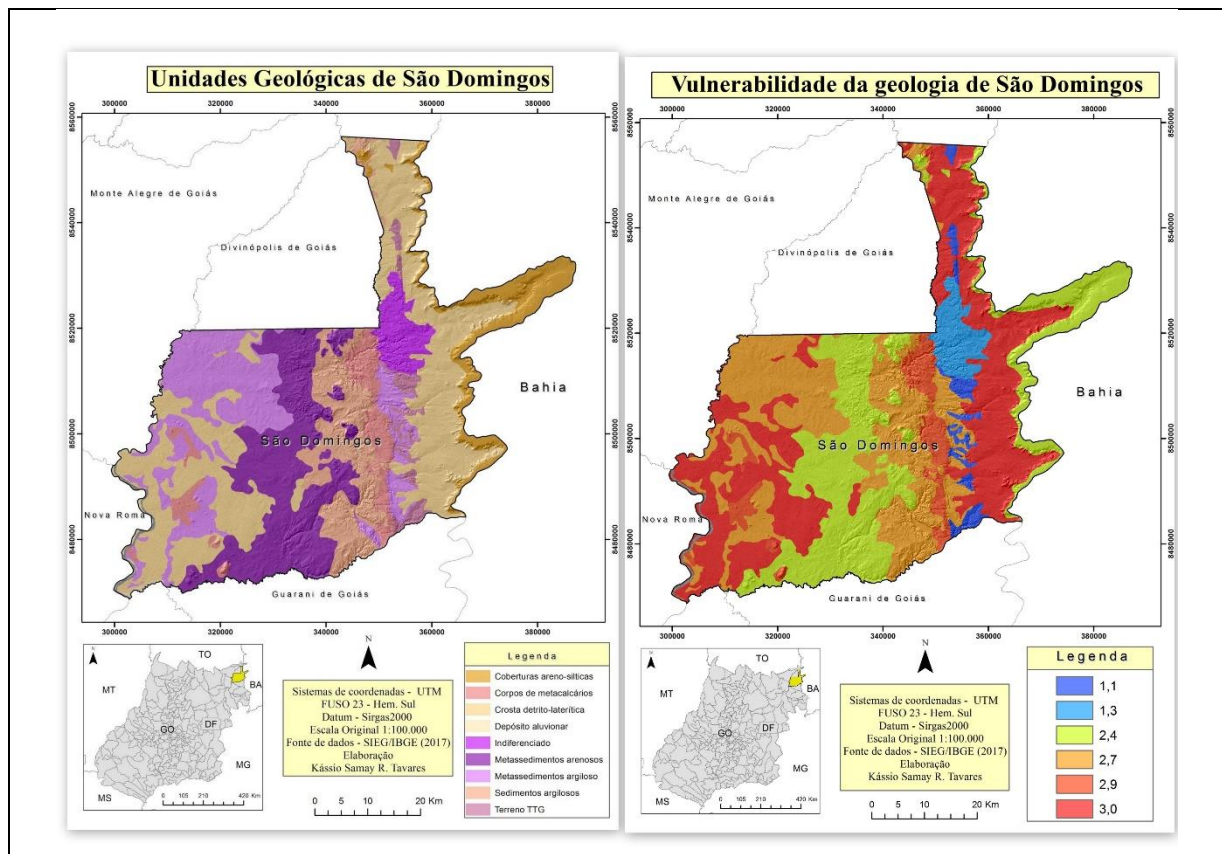


Figura 3 – Mapas geológico (esquerda) e da vulnerabilidade da geologia (direita)

A vulnerabilidade da distância vertical à drenagem mais próxima está relacionada com o aprofundamento da dissecação, ou seja, é um indicador de energia potencial do relevo (Crepani et al., 2001) para os processos morfogenéticos. Quanto maior essa distância, maior a energia potencial, resultando provavelmente na intensificação dos processos erosivos em áreas com maiores desníveis. Por exemplo, quando as águas da precipitação atingem as áreas mais altas, a energia potencial transforma-se em cinética, do

ponto mais elevado até as partes mais baixas, ou seja, nos maiores desníveis.

As regiões que possuem maior vulnerabilidade estão localizadas nos extremos do Vão (Figura 4), expressas por maiores distâncias verticais. As de maior estabilidade, acontecem com maior frequência na área e associam-se à maior probabilidade de nesses locais predominarem os processos pedogenéticos.

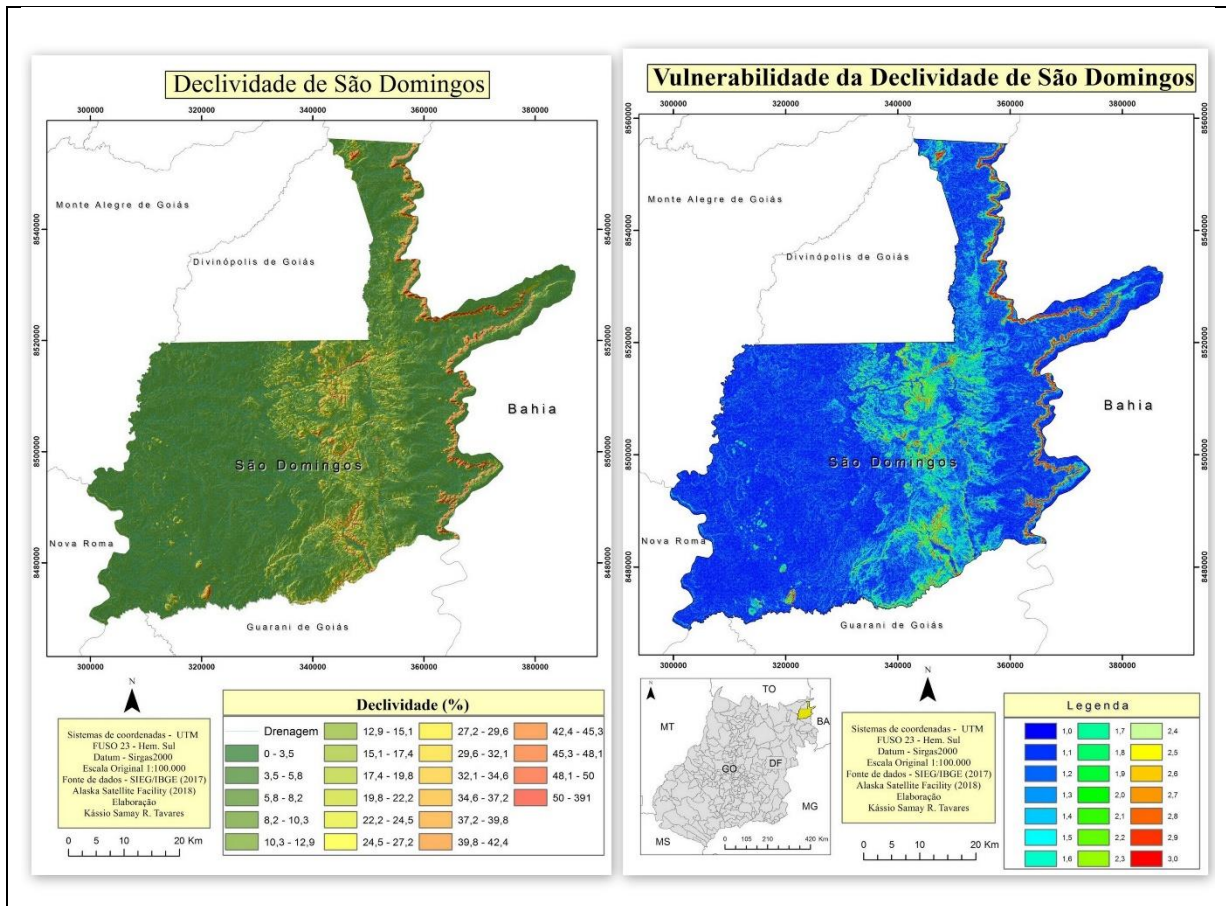


Figura 4- Mapas de declividade (esquerda) e da vulnerabilidade da declividade (direita)

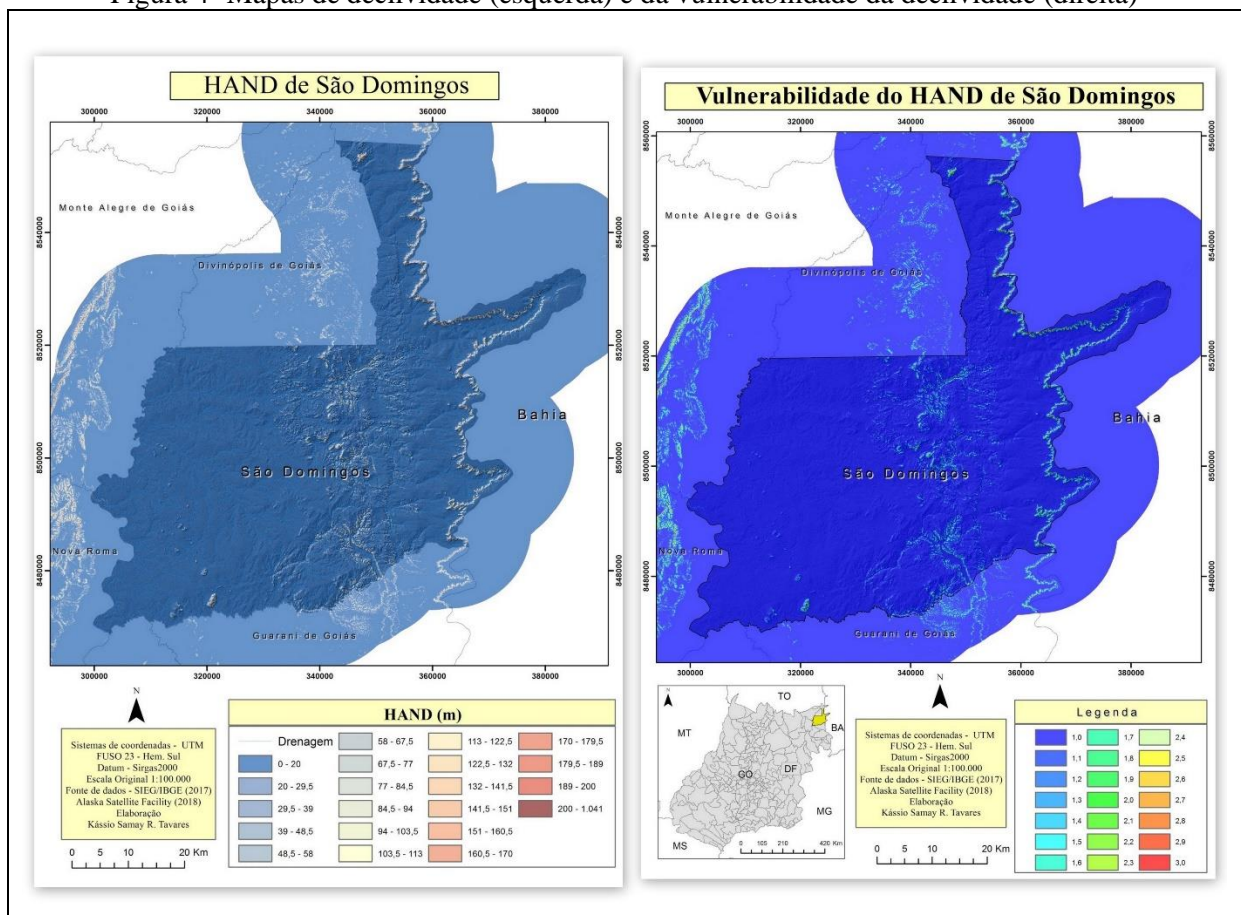


Figura 5- Mapas de HAND (esquerda) e da vulnerabilidade do HAND (direita)

Densidade de Drenagem

De acordo com a adaptação feita para o mapa de dissecação horizontal ou amplitude interfluvial, segundo já descrito, o mapa gerado para representar a densidade de drenagem seguiu valores representativos no intervalo de classes entre 0 e 11 m/m². O mapa representado pela Figura 6 mostra que quase toda a área possui uma densidade moderada e uma pequena porção nos extremos apresenta uma densidade menor, entre 0 e 1 m/m². Os valores mais altos podem ser associados a áreas onde os terrenos apresentam menor capacidade de infiltração da água e os mais baixos representam maiores probabilidades de boa drenagem, como é o caso das partes associadas à parte superior da Serra Geral.

Nas classes com uma maior densidade de drenagem, os processos erosivos estão em um estágio maior, onde prevalecem erosões e movimentos de massa. Nas classes de mais baixas densidades, as áreas de menor densidade, podem estar associadas à ocorrência de depósitos de sedimentos, de assoreamentos, em áreas mais baixas; ou de maior infiltração, associadas a áreas de recarga de mananciais hídricos, onde provavelmente prevalecem processos pedogenéticos, em geral, relativas a solos mais espessos.

A vulnerabilidade da densidade de drenagem na área consiste em valores associados à vulnerabilidade baixa a moderada à perda de solos. Segundo já comentado, com base em Florenzano (2008), os valores de vulnerabilidade em torno de 2,2, correspondentes a 12 m/m² (Figura 6), podem ser considerados valores correspondentes à moderada à alta vulnerabilidade natural à perda de solos.

Vulnerabilidade Geomorfológica

A partir dos mapas de declividade, da distância vertical à drenagem mais próxima (HAND) e de densidade de drenagem, foi gerado o mapa de vulnerabilidade da geomorfologia (Figura 7). Os dados do HAND, de densidade de drenagem e de declividade, em conjunto, delimitaram áreas correspondentes a níveis de vulnerabilidade entre 1 e 2,5, aproximadamente. Esses valores podem ser equivalentes à vulnerabilidade desde baixa até valores moderados a altos, exemplificados pela classificação 2,6 de vulnerabilidade.

Em suma, áreas de maior vulnerabilidade encontradas são representativas pela ocorrência em comum de maiores desníveis, maiores declives e maiores densidades de drenagem, correspondentes a um relevo mais dissecado, com predomínio de processos morfogenéticos, com maior vulnerabilidade natural à perda de solos (Sampaio, Cordeiro, Bastos, 2016).

Solos

Quanto aos tipos de solos que ocorrem em São Domingos (Figura 8), observa-se que os Latossolos ocorrem a leste da área, principalmente na divisa com a Bahia; mas os solos que predominam são do tipo Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico e Cambissolo. A oeste ocorrem os do tipo Argissolo, além de afloramentos de rocha e de solos do tipo Gleissolo, estes últimos ocorrendo próximo à Serra Geral.

Nesse contexto, destaca-se que em São Domingos os Neossolos Litólicos e Quartzarênicos e os Cambissolos, predominantes na região, são solos jovens e arenosos e de baixa capacidade de retenção de água, sendo interpretados como tipos de solos muito vulneráveis à erosão e com baixa aptidão agrícola. Os Argissolos que ocorrem no oeste do município também apresentam moderada a alta vulnerabilidade natural à perda de solos.

Assim, conforme é possível visualizar na Figura 8, as classes consideradas estáveis (valor de vulnerabilidade 1,0) são correspondentes aos Latossolos, os quais consistem em solos bem desenvolvidos, profundos, que apresentam textura granular, com predomínio de agregações, sendo considerados solos mais maduros, cuja porosidade é alta. Porém, o uso rural desses tipos de solo pode alterar suas propriedades, reduzindo por exemplo a sua porosidade, principalmente nas camadas superficiais, o que pode diminuir a infiltração da água e aumentar, por conseguinte, a perda de solos, conforme o que foi observado por Damame (2016). Já os solos do tipo Argissolo (valor de vulnerabilidade 2,0), são solos bastantes intemperizados e desenvolvidos, não tão profundos quanto os Latossolos, associados a relevos mais dissecados.

Os solos com classe mais vulnerável (valores entre 2,5 e 3,0) são representados pelos Cambissolos, Neossolos Litólicos e Quartzarênicos, Gleissolos e Afloramentos rochosos.

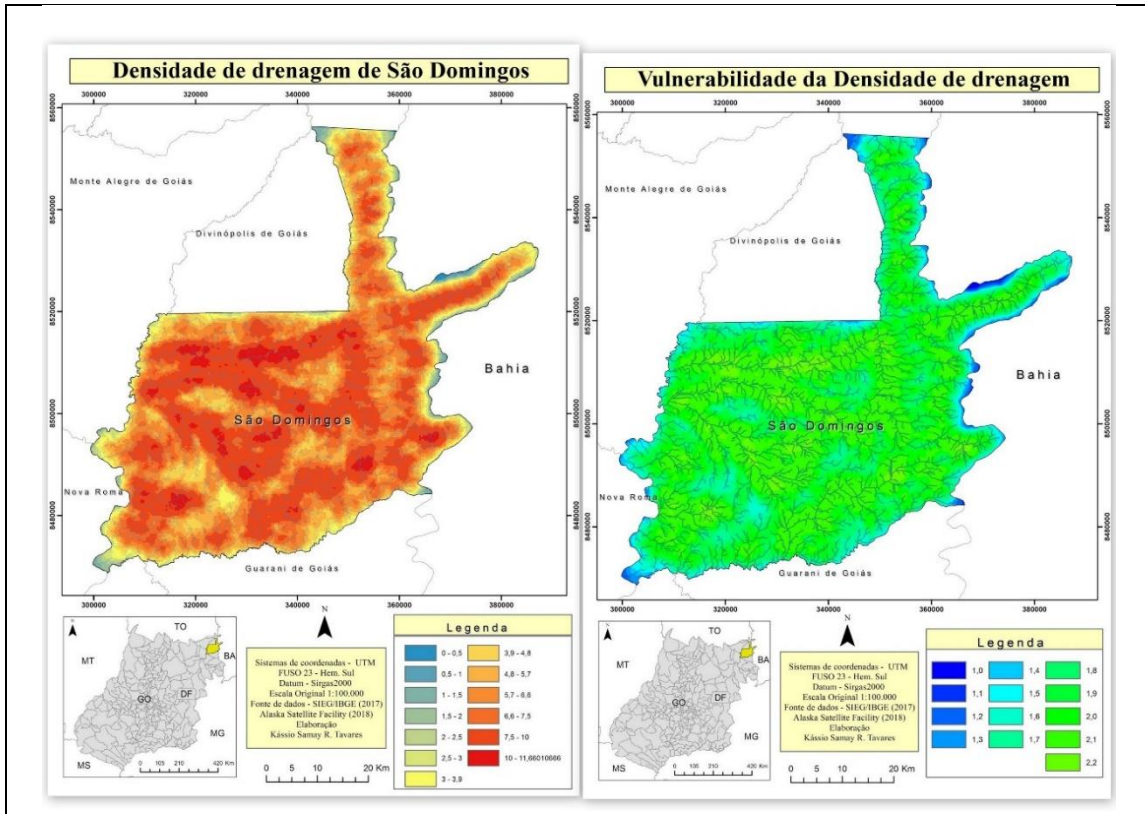


Figura 6- Mapas de densidade da drenagem (esquerda) e da vulnerabilidade da densidade da drenagem (direita)

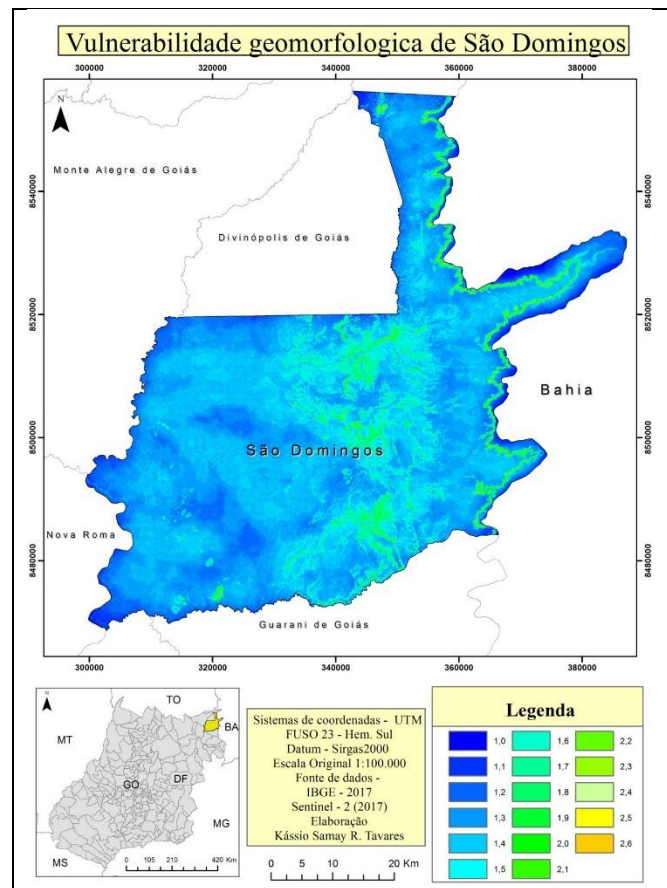


Figura 7- Mapa de vulnerabilidade geomorfológica

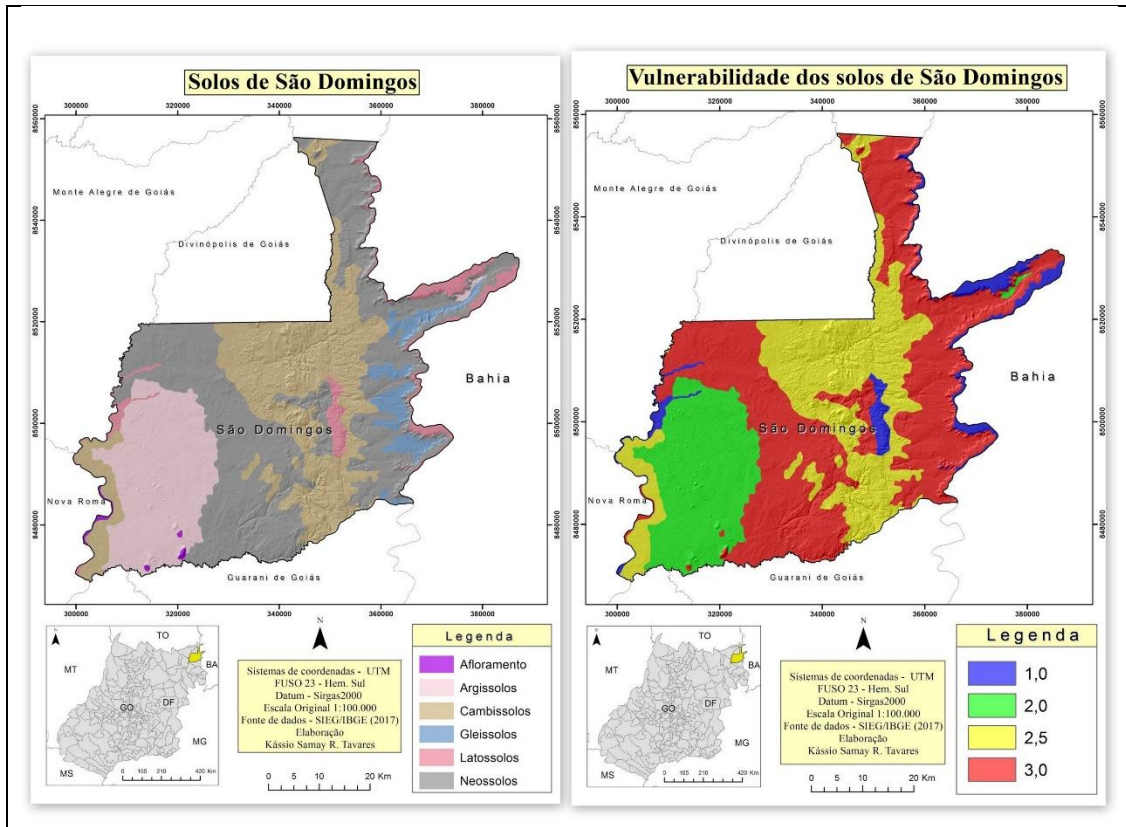


Figura 8- Mapas de solos (esquerda) e da vulnerabilidade dos solos (direita)

Clima

Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região é determinado como do tipo tropical AW, com duas estações bem definidas, sendo quente e úmida, de outubro a março, com altas temperaturas, com alguns picos de chuvas entre os meses de novembro e janeiro. A outra estação é determinada pela seca entre os meses de abril a setembro, apresentando meses com ausência de chuva entre junho e agosto.

A distribuição das chuvas tem grande importância na análise de perda de solo, principalmente em áreas ocupadas pela agricultura, isso devido à falta de cobertura vegetal, que durante boa parte do ano fica descoberta, dependendo do manejo instaurado na localidade (Crepani, et al., 2001). Com os dados obtidos, os valores da precipitação média mensal e média anual para cada uma das quatro estações são apresentados a seguir na Tabela 1 e na Tabela 2.

Seguindo a proposta de Crepani et al. (2001), foi elaborado o mapa de intensidade pluviométrica mensal referentes aos anos de análise de precipitação conforme exemplificado na Figura 9.

A intensidade média dos meses para o município ficou entre 74 mm e pouco mais de 84 mm, tendo sido considerada baixa. Entretanto, mesmo com uma intensidade pluviométrica baixa, isso não significa que exista a tendência de ocorrerem baixos índices de perda de solo, devido à intensidade das chuvas nesses meses, que tendem a ser de forte impacto, principalmente em áreas desmatadas e com pouca vegetação.

Observando-se o mapa de vulnerabilidade do clima na região de estudo (figura 9), verifica-se que o índice de intensidade pluviométrica é baixo, consequentemente a erosividade devido a chuva também é baixa, isso ocorre também devido ao pequeno período chuvoso que ocorre na região. Com isso, a vulnerabilidade da região foi classificada com valores entre 1,0 e 1,1. Atenção deve ser dada ainda ao fato de ser importante que se realize uma análise dos dados diários, para verificar a intensidade de modo o mais pormenorizado possível, tendo em vista as vulnerabilidades associadas aos outros temas em análise nesta pesquisa.

Tabela 1: Precipitação (mm) média mensal 1988-2018

Estação	Latitude	Longitude	Precipitação (mm)
1346000	-13,7519	-46,14000	85,0416
1346001	-13,6858	-46,56556	84,5514
1346002	-13,3736	-46,38417	79,5129
1346005	-13,3975	-46,31583	74,9731

(Elaborado pelo autor (2018), com base nos dados referentes à série histórica das estações climáticas, adquiridos no site da ANA (1998 a 2018).

Tabela 2: Precipitação (mm) média anual 1988-2018

Estação	Latitude	Longitude	Precipitação (mm)
1346000	-13,7519	-46,14000	1020,5
1346001	-13,6858	-46,56556	1029,8
1346002	-13,3736	-46,38417	954,1
1346005	-13,3975	-46,31583	899,6

(Elaborado pelo autor (2018), com base nos dados referentes à série histórica das estações climáticas, adquiridos no site da ANA (1998 a 2018).

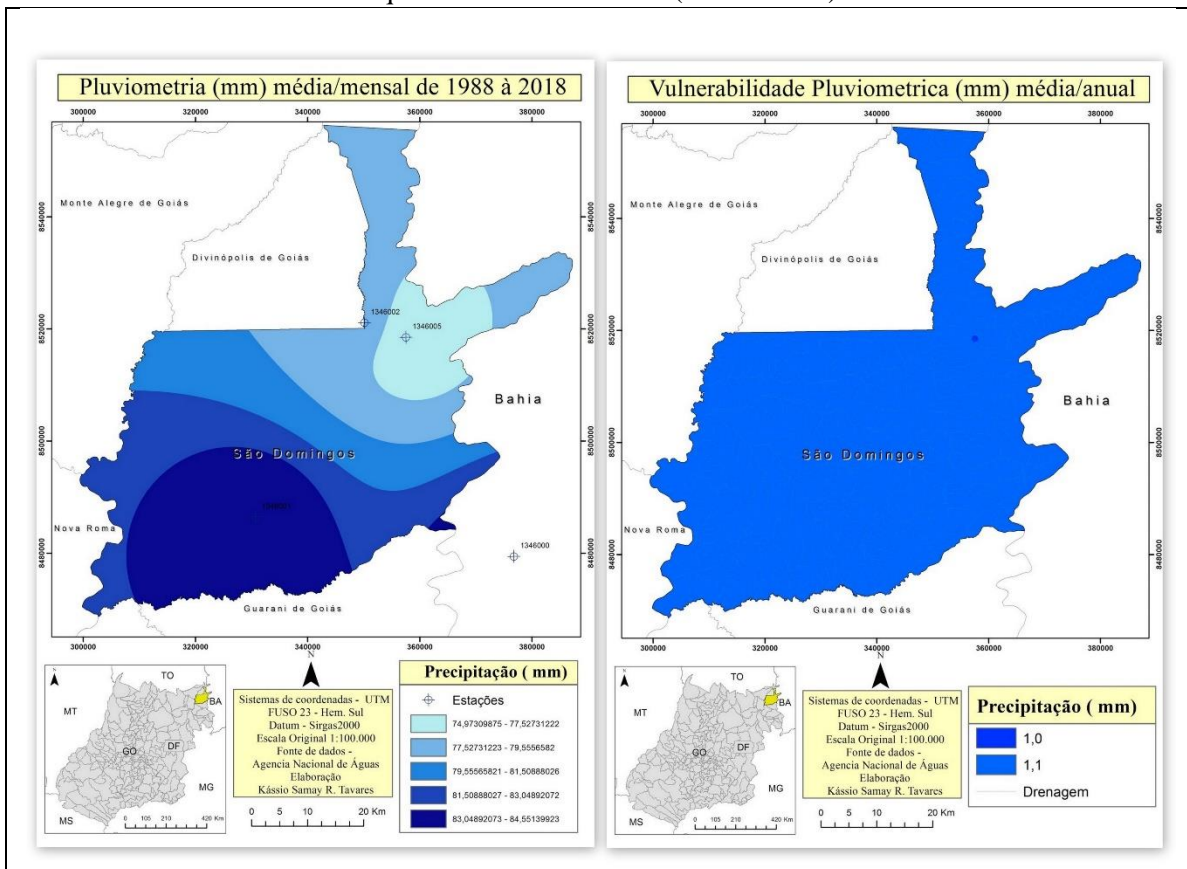


Figura 9- Mapas pluviométrico (esquerda) e da vulnerabilidade pluviométrica (direita)

Vulnerabilidade Ambiental em São Domingos

A partir da junção das temáticas produzidas, foi possível visualizar a variação da vulnerabilidade ambiental para o município de São Domingos. Isso possibilitou observar que a maior parte da área pode ser classificada como moderadamente estável e medianamente estável (Figura 10). Foram registradas poucas áreas estáveis, nas quais predominam processos morfodinâmicos mais lentos, resultando em baixos índices de erosão.

Para melhor contraste entre as áreas menos e mais vulneráveis, foi elaborado um mapa de Vulnerabilidade Ambiental com quatro classes, seguindo, de igual modo, a metodologia de Crepani et al. (2001). O mapa apresenta as classes do tipo, estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável e moderadamente vulnerável (Figura 10).

As áreas com menor vulnerabilidade compreendem as áreas com maior estabilidade quanto aos processos morfodinâmicos, as quais correspondem, em geral, à vegetação nativa, mata ciliar, mata de galeria, cerrado, predominantemente inserida em relevos moderadamente ondulados. Ou seja, o uso e a cobertura do solo associado a baixos valores de declividade estabelecem parâmetros onde os processos morfodinâmicos possuem menos intensidade.

As áreas classificadas como possuindo moderada a mediana estabilidade expressam a maior parte do município, onde, se inserem normalmente as áreas de agricultura, pastagem e solo exposto. As atividades econômicas humanas, juntamente com a vulnerabilidade natural do local, intensificam a ocorrência de processos morfodinâmicos (Medeiros e Souza, 2016; Marques, Silva e Camargo, 2017; Zhao et al., 2018). Essas áreas também são representadas como sendo locais com um relevo classificado como moderadamente vulnerável quanto aos correspondentes valores de declividade.

Uma parcela considerável do município foi classificada como moderadamente vulnerável. Isso se dá pela intensa presença de atividades humanas, principalmente próximas a áreas de fundos de vale e a áreas úmidas. As atividades exercidas na área, juntamente com a alta declividade, tendo, por

consequente, a velocidade do escoamento superficial aumentada, atuando sobre solos de textura arenosa, ocorrendo ainda atividades próximas as redes de drenagem, tornam estes locais mais vulneráveis à perda de solos. A ocupação de tais locais, que por vezes se constituem em áreas de preservação permanente, a exemplo, do que foi observado por Ferreira (2016), agrava a situação de ambientes vulneráveis como esses, gerando maior fragmentação do bioma.

Conclusão

A análise da vulnerabilidade natural, tendo por base a adaptação da metodologia de Crepani et al. (2001), mostrou-se eficiente na identificação de locais de maiores vulnerabilidades ambientais no município de São Domingos, tendo em vista a inserção do tema referente ao uso e cobertura do solo. Essa análise pode ser entendida como uma ferramenta de planejamento para a identificação de locais mais vulneráveis, possibilitando a realização de ações ligadas ao planejamento e mitigação, úteis à gestão dos recursos naturais do município.

Além disso, a partir deste tipo de análise é possível observar que a metodologia utilizada também pode contribuir para a gestão pública, auxiliando na definição de ações necessárias para a prevenção e monitoramento de possíveis desastres.

Na presente pesquisa, verificou-se, de igual modo, que o município analisado se classifica como possuindo áreas estáveis e medianamente vulneráveis, isso, devido principalmente ao avanço da agricultura em terrenos mais propensos aos processos de perdas de solo, resultando em uma maior vulnerabilidade ambiental.

Diante disto, o uso e cobertura do solo em acordo com as características morfodinâmicas e com suas vulnerabilidades à perda de solo, resultaria em usos mais adequados, permitindo a mitigação e a prevenção de processos erosivos, inclusive em áreas já alteradas por ações antrópicas. A modificação do meio natural de forma desequilibrada pode causar danos irreversíveis tanto para a natureza quanto para a própria sociedade.

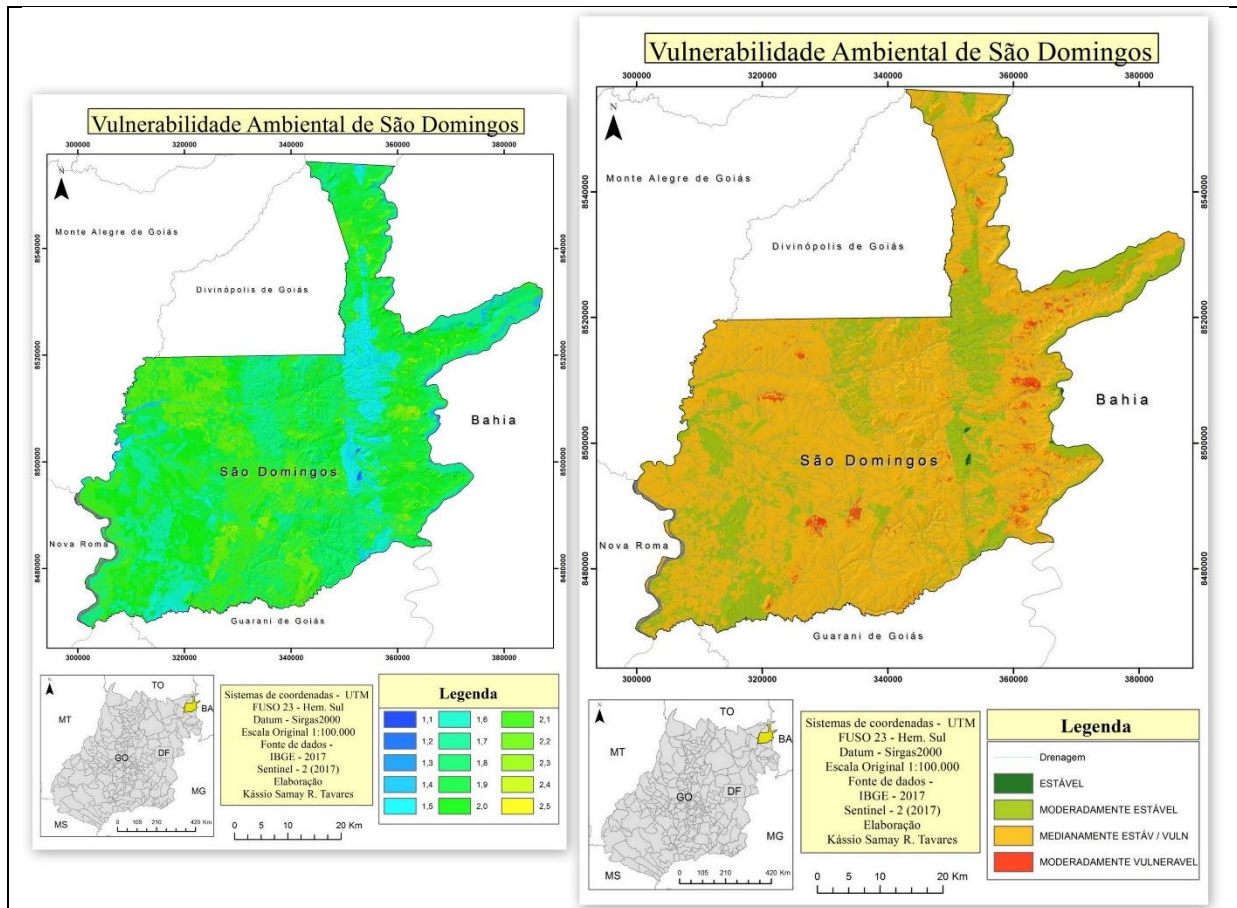


Figura 10- Mapas da vulnerabilidade ambiental quantitativa (esquerda) e qualitativa (direita)

No que diz respeito à realização de atividades turísticas, tendo em vista a observação das vulnerabilidades do terreno à perda de solos, é possível afirmar que isso consistiria em melhores condições de segurança. Além disso, traria consequências indiretas, como uma maior conservação dos recursos naturais mais vulneráveis quanto ao parâmetro analisado nesta pesquisa, o que reduziria inclusive os impactos ambientais negativos que eventualmente poderiam ocorrer com realização de atividades turísticas sem serem levadas em conta tais características.

Agradecimentos

Ao Centro Integrado de Pesquisa Territorial (CIPGEO) do Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), por subsidiar conhecimento e amparo no desenvolvimento desta pesquisa. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento do projeto ao qual esta pesquisa esteve vinculada, via Edital Universal 2016.

Referências

- Alewell, C., Borelli, P., Meusburgers, K., Panagos, P., 2019. Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 203-225. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>. Acesso: 20 jun. 2020.
- ANA - Agência Nacional de Águas, 2018. Rede Hidrometeorológica Nacional. Portal HidroWeb. Series históricas 1998-2018. Disponível: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acesso: 8 out. 2018.
- Beroya-Eitner, M.A., 2016. Ecological vulnerability indicators. *Ecological Indicators*. 60, 329-334. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.001>. Acesso: 11 set. 2019.
- Buffon, E.A.M., 2018. Vulnerabilidade socioambiental à leptospirose humana no aglomerado urbano metropolitano de Curitiba, Paraná, Brasil: proposta metodológica a partir da análise multicritério e álgebra de mapas. *Saúde Soc. São Paulo*, 27(2), 588-604.

- Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902018170096>. Acesso: 20 jun. 2020.
- Carvalho, M.A.R.; Miranda, J.H.; Duarte, S.N.; Carvalho, L.C.C., 2012. Escoamento superficial na interação: cobertura vegetal e práticas de controle de erosão. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 32(6), 1116-1125.
- Damame, D. B. 2016. Vulnerabilidade ambiental e atributos do solo nas sub Bacias do rio das Pedras de Baixo Anhumas – Campinas/SP. Dissertação (Mestrado). Campinas, PUC-Campinas.
- Moraes, J.M. (org.), 2014. Geodiversidade do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. CPRM. Disponível: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16732>. Acesso: 19 out. 2016.
- Crepani, E; Medeiros, J.S; Filho, P.H; Florenzano, T.G; Duarte, V; Barbosa, C.C.F., 2001. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos: INPE. 113 p.
- Ehrt, H., 1966. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleoecológicos. *Notícia Geomorfológica*, 11, 51-58.
- Ferreira, A. C. 2016. Análise da cobertura e uso da terra no município de Carmo do Rio Verde - GO em 2015: ocupação das áreas de preservação permanente pela cana de açúcar. Dissertação (Mestrado). Anápolis, UNIEVANGÉLICA.
- Florenzano, T.G., 2008. Cartografia, in: *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. Ed. Oficina de Textos, São Paulo, pp. 105-128.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros. Disponível: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101662.pdf>. Acesso: 17 out. 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Censo Agropecuário. Disponível: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/resultados-censo-agro-2017.html>. Acesso: 11 abr. 2020.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2010. Distância vertical à drenagem mais próxima. Divisão de Processamento de Imagens (DPI/INPE), Grupo de Modelagem para Estudos da Biodiversidade, Variáveis Ambientais para a Modelagem de Distribuição de Espécies (AmbData). Disponível: <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/hand.php>. Acesso: 24 ago. 2018.
- INPE. Fundamentos de geoprocessamento, 2005. Apostila do curso de Fundamentos de Geoprocessamento proferido pelo INPE no Ministério Público do estado de Mato Grosso. Cuiabá.
- Kasperson, RE, Dow, K., Archer, E., Caceres, D., Downing, T., Elmqvist, T., Vogel, C. 2005. Povos e lugares vulneráveis. *Ecossistemas e bem-estar humano: Estado e tendências atuais*, 1, 143-164.
- Koppen, W., 1948. Climatología: com um estúdio de los climas de La tierra. Fondo de Cultura Económica. México. 479p.
- Machado, L.N., Loss, A., Bacic, I.L.Z., Dortzbach, D., Lalane, H.C., 2017. Vulnerabilidade à perda de solo na microbacia Lajeado Pessegueiro, Brasil. *Scientia Agropecuaria [online]*, 8(2). Disponível: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.08>. Acesso: 9 jun. 2020.
- Marques, M.L., Silva, M.C., Camargo, D.M., 2017. Análise espacial da vulnerabilidade socioambiental no município de Campinas, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia* 69(9), 1711-1723.
- Medeiros, C.N., Souza, M.J.N., 2016. Metodologia para mapeamento da vulnerabilidade socioambiental: caso do município de Caucaia, estado do Ceará. *REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA*, 10(1), 54-73. Disponível: <https://doi.org/10.22411/rede2016.1001.04>. Acesso: 13 jun. 2020.
- Morais, M.A.B., 2011. No Cerrado de São Domingos-GO: a luta do camponês. *Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos*, 4(1). Disponível: <http://www.revista.fmb.edu.br/index.php/fmb/article/view/33/29>. Acesso: 10 abr. 2019.
- Nabi, G., Hussain, F., Wu, R., Nangia, V., Bibi R., 2020. Micro-Watershed Management for Erosion Control Using Soil and Water Conservation Structures and SWAT Modeling. *Water.*, 12, 1439. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w12051439>. Acesso: 20 jun. 2020.
- Nabi, G.; Hussain F.; Wu, R., Nangia V., Bibi R., Majid A., 2017. Optimizing micro watershed management for soil erosion control under various slope gradient and vegetation cover conditions using SWAT modeling. *Hydrology and Earth System Science Discussions*, 1-22. Disponível: <https://doi.org/10.5194/hess-2017-532>. Acesso: 20 jun. 2020.
- Nascimento, N.S.; Vieira, E.M.; Gonçalves, J.A.C.; Cunha, G.P.Q., 2016. Estudo da vulnerabilidade ambiental em uma micro bacia

- hidrográfica empregando hierarquia nominal e operador local. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(3), 897-916.
- Nobre, A.D.; Cuartas, L.A.; Hodnett, M.; Rennó, C.D.; Rodrigues, G.; Silveira, A.; Waterloo, M.; Saleska, S., 2011. Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model. *Journal of Hydrology*. 404, 13-29. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>. Acesso: 11 abr. 2019.
- Olímpio, J.L.; Zanella, M.E., 2017. Riscos naturais: conceitos, componentes e relações entre natureza e sociedade natural. *R. Ra'e Ga Curitiba*, 40, 94-109. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v40i0.45870>. Acesso: 11 abr. 2019.
- Olímpio, J.L.S; Zanella, M.E., 2012. Emprego das geotecnologias na determinação das vulnerabilidades natural e ambiental do município de Fortaleza/CE. *Revista Brasileira de Cartografia*, 64(1), 1-14.
- Oliveira, M.A.M., 2015. Mensuração de perdas de sedimentos por escoamento superficial em encostas, com uso de parcelas de erosão, em diferentes usos e coberturas do solo no Bioma Cerrado: bacia hidrográfica do Ribeirão do Gama/DF. UnB-GEA, Mestrado, Gestão Ambiental e Territorial. 78 p.
- Prefeitura de São Domingos-GO, 2018. História de São Domingos. 2011-2018. Disponível: <http://www.saodomingos.go.gov.br/pagina/144-historia>. Acesso: 28 ago. 2018.
- Prefeitura de São Domingos-GO, 2018. Pontos Turísticos. 2011-2018. Disponível: <http://www.saodomingos.go.gov.br/pagina/178-pontos-turisticos>. Acesso: 8 out. 2018.
- Rennó, C.D.; Nobre, A.D.; Cuarta, L.A.; Soares, J. V.; Hodnett, M. G.; Tomasella, J. & Waterloo, M. J., 2008. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3469-3481.
- Ribeiro, F.C.; Vilela, C.C.; Kowata, F.M.; Ferreira, M.E., 2007. Análise sócio-ambiental da região do corredor Parana-Pirineus – Estado de Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, 27(3), 103-124.
- Ribeiro, A.S., Mincato, R.L., Curi, N., Kawakubo, F.S., 2016. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(1), 16-31. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p016-03>. Acesso: 11 abr. 2020.
- Ribeiro, M.M., 2008. São Domingos, Tradições e conflitos. Dissertação (Mestrado em História) - Universidade Católica de Goiás, 2008. Goiânia.
- Ross, J.L.S., 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, 8, 63-73.
- Sampaio, A.C.P., Cordeiro, A.M.N., Bastos F.H., 2016. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(1), 125-143.
- Santos, A.M., Schott, E.F.C.S., Soares, D.O., 2018. Vulnerabilidade natural à perda de solos na flona Bom futuro e seu entorno próximo, estado de Rondônia. *Revista Geonorte* 32 (9), 24-44. Disponível: <https://doi.org/10.21170/geonorte.2018.V.9.N.32.24.44>. Acesso: 10 jun. 2020.
- Souza, A.R., Dupas, F.A., Drummond, I.N., Costa, C.W., 2019. Zoneamentos da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: é possível usar a USLE na determinação de vulnerabilidade ambiental? *Geociências* 38(4), 1105-1119. Disponível: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEO-SP/article/view/13630>. Acesso: 11 abr. 2020.
- SIEG. Sistema Estadual de Geoinformação, 2018. Downloads. Disponível: <http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>. Acesso: 11 abr. 2018.
- Silva, J.R.I.; Souza, E. S., Souza, R.S.E.S.; Antonino, A.C.D., 2019. Efeito de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida. *Revista Engenharia na Agricultura*, 27(3), 272-283, Viçosa. Disponível: <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i3.867>. Acesso: 15 abr. 2020.
- Tagliani, C.R.A., 2003. Técnicas para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 11, Belo Horizonte. Belo Horizonte: INPE. p. 1657-1664.
- Teixeira, N. A., Poli, A.J.C., Ferreira, M.C.B., 2018. Contribuição à Geologia e Petrologia da Região de São Domingos, GO. *Revista Brasileira de Geociências*, 12(4), 562-571.
- Tricart, J., 1977. *Ecodinâmica. Recursos Naturais e meio ambiente*. Rio de Janeiro. IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1.
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. United States Department of Agriculture, Washington. 19. 58 p.

Zacharias, A.A.; Guerra, F.C.A., 2019. Cartografia de paisagens em áreas com vulnerabilidades aos riscos ambientais: reflexões e estudo de caso. In: DIAS, L. S; CHÁVEZ, E.S. (org.). Cartografia biogeográfica e da paisagem. 1. Ed. Tupã: ANAP. pp. 55-88.

Zhipeng, L., Donghao, M., Wei, H., Xuelin, L., 2018. Land use dependent variation of soil water infiltration characteristics and their scale-specific controls. *Soil & Tillage Research*, 178, 139-149. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.001>. Acesso: 15 jun. 2020.

Zhao, L., Hou, R., Wu, F., Keesstra S. 2018. Effect of soil surface roughness on infiltration water, ponding and runoff on tilled soils under rainfall simulation experiments. *Soil & Tillage Research*, 179, 47-53. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.009>. Acesso: 13 jun. 2020.