

## ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À DEGRADAÇÃO DOS SOLOS DA VERTENTE ÚMIDA DO MACIÇO DE URUBURETAMA/CE

Eduardo Viana Freires<sup>1</sup>, Cláudio Ângelo da Silva Neto<sup>2</sup>, Dominick Sávio Rocha Cunha<sup>3</sup>, Cynthia Romariz Duarte<sup>4</sup>, César Ulisses Vieira Veríssimo<sup>5</sup>, Daniel Dantas Moreira Gomes<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza - CE, Brasil, eduardovgeo@gmail.com; <sup>2</sup> Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza - CE, Brasil, claudioasn@gmail.com; <sup>3</sup> Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza - CE, Brasil dsgeologo@gmail.com; <sup>4</sup> Departamento de Geologia - Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza - CE, Brasil, cynthia.duarte@ufc.br; <sup>5</sup> Departamento de Geologia - Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza - CE, Brasil, cesarulisses85@gmail.com; <sup>6</sup> Universidade de Pernambuco (UPE), Campus Garanhuns, Rua Cap. Pedro Rodrigues, 105, Garanhuns, PE – Brasil, daniel.gomes@upe.br.

### RESUMO

As diversas intervenções antrópicas na vertente úmida do Maciço de Uruburetama/CE, associadas às características ambientais locais, têm levado a um quadro de degradação dos solos que pode se tornar irreversível. Com objetivo de analisar a vulnerabilidade à degradação dos solos da área foi realizada a integração de variáveis morfométricas (declividade, curvatura vertical, curvatura horizontal, orientação das vertentes) extraídas do MDE Alos Palsar, do mapeamento de uso e cobertura do solo - resultado da classificação da imagem Sentinel 2 - e do mapa de tipos climáticos de Silva (2007). Os resultados mostraram que em todo o entorno da vertente úmida predominam as classes de vulnerabilidade alta e muito alta. A porção oriental da vertente úmida foi a área que apresentou maior distribuição das classes alta e muito alta. As áreas de menor vulnerabilidade ocorrem nas áreas mais elevadas do maciço, e de difícil acesso, com cotas altimétricas entre 600 e 1000m.

**Palavras-chave** — Maciço de Uruburetama, degradação dos solos, erosão, movimento de massa, vulnerabilidade.

### ABSTRACT

*The various anthropogenic interventions in terms of wet slope of the Uruburetama Massif - CE, associated with the local environmental features led to soil degradation that can become irreversible. In order to analyze the vulnerability to soil degradation of the area the integration of morphometric variables was carried out (slope, vertical curvature, curvature, horizontal orientation of strands), extracted from the Alos Palsar MOU, mapping of use and land cover image classification, resulting of the Sentinel 2, and a map of climatic types of Silva (2007). The results showed that in the entire area surrounding the wet slope classes was of high and very high vulnerability. The eastern portion of the wet part was the area that showed the highest distribution of high and very high classes. Lower vulnerability areas occur in the higher areas of the massif and with difficult access, with altitudes between 600 and 1000 m.*

**Keywords** — *Uruburetama massif, soil degradation, erosion, mass movement, vulnerability.*

### 1. INTRODUÇÃO

A intervenção humana sobre o relevo terrestre quer em áreas urbanas ou rurais demanda a ocupação e a transformação da superfície do terreno. Dependendo do tamanho dessa intervenção, das práticas conservacionistas e dos riscos geomorfológicos envolvidos, os impactos ambientais associados poderão causar grandes prejuízos ao meio físico e aos seres humanos [1].

Localizado na região norte do estado do Ceará, o Maciço de Uruburetama é um exemplo de espaço marcado por forte intervenção antrópica. Apoiada sobretudo nas atividades do setor primário a população local vem contribuindo para um quadro de degradação dos solos que pode se tornar irreversível. Sem respeitar as características ambientais da área e sem a aplicação de técnicas adequadas de cultivo a sustentabilidade agrícola do maciço está comprometida.

Associadas a essas atividades existem diferentes graus de comprometimento dos solos, seja porque não se leva em consideração as condições edafoclimáticas exigidas para o cultivo (bananicultura); porque algumas culturas (cajucultura) ocupam áreas onde a declividade é superior a 45°, favorecendo o ravinamento e o voçoracamento dos solos; ou devido ao cultivo de culturas temporárias, que após a colheita expõe os solos ao clima semiárido por longos meses [2].

Assim como os processos erosivos, podem ser observados movimentos de massa nas encostas do maciço que colocam em risco os habitantes locais. Muitas vertentes estão expostas a partir da retirada da cobertura vegetal nativa para a prática agrícola, favorecendo a mobilização de material. Além disso, os cortes nas vertentes para construção de estradas intensificam o desencadeamento desses fenômenos. A situação se torna mais grave quando se observa que muitas habitações foram construídas no sopé da serra e em suas vertentes, que além de desestabiliza-la ainda se encontram em rota de colisão a partir de quedas de blocos e rolamento de matacões.

Diante do fato exposto, o presente trabalho busca analisar a vulnerabilidade à degradação dos solos da vertente úmida da Serra de Uruburetama e adjacências, a partir do levantamento das variáveis geomorfométricas, obtidas a através do MDE Alos Palsar, e do mapeamento de uso e cobertura do solo, realizado a partir da imagem Sentinel 2.

Pelo fato do clima ser um componente relevante na deflagração dos processos erosivos e movimentos de massa no maciço, sobretudo na estação chuvosa, será integrado às variáveis obtidas no processamento das imagens o mapeamento de Tipos Climáticos da área de estudo de Silva (2007).

A porção úmida/subúmida da Serra corresponde às encostas norte-oriental e à superfície de cimeira, ou ao platô da serra [3].

A área de estudo totaliza 1.342,73 Km<sup>2</sup> e localiza-se entre as coordenadas UTM (zona 24 Sul) 9.619.380 m e 9.577.181 m Northing; 424.667 m e 456.494, m Easting. Como pode ser observado na figura 01, está inserida, em diferentes proporções, dentro do limite administrativo de nove municípios do estado do Ceará, que são: Irauçuba, Itapajé, Itapipoca, Pentecoste, Tejuçuoca, Trairi, Tururu, Umirim e Uruburetama.

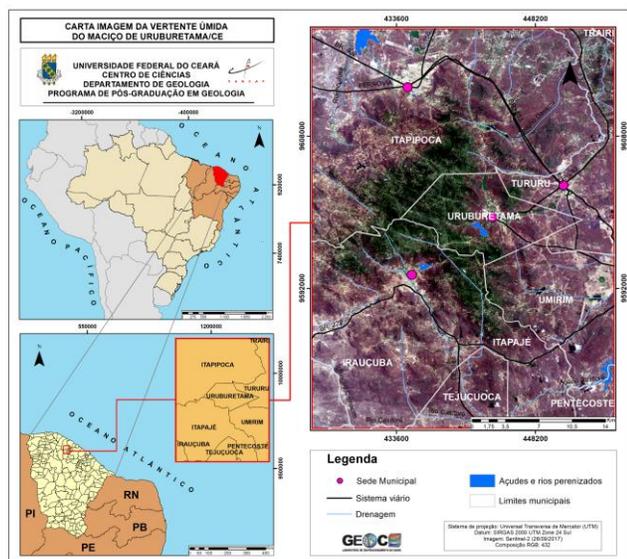


Figura 01. Mapa de localização da área de estudo

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Para análise da vulnerabilidade à perda de solos foram utilizados como suporte de avaliação um MDE Alos Palsar, com resolução espacial de 12,5m, do ano de 2011 e uma imagem Sentinel-2, com resolução espacial de até 10m, de 2017 da área de estudo; os softwares utilizados no processamento das imagens foram o ArcGIS 10.3.1, ENVI 5.0 e SPRING 5.5.3. Subsidiariamente foram utilizados os Shapefiles de municípios, unidades federativas, hidrografia,

rodovias e sedes municipais, obtidos em sites de órgãos oficiais.

### 2.2 Métodos

O MDE Alos Palsar foi utilizado na geração das variáveis morfométricas (declividade, curvatura vertical, curvatura horizontal e orientação das vertentes) a partir da ferramenta *Spatial Analyst* do software ArcGis 10.3.1. Enquanto a imagem Sentinel 2 subsidiou a classificação supervisionada a partir do cálculo e geração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), através das bandas do vermelho (4) e infravermelho (8), no software ENVI 5.0, conforme pode ser observado na equação 1.

Anteriormente a essa etapa, a imagem Sentinel 2 foi submetida a correção atmosférica. Conforme Sanches *et al.* (2011), a correção atmosférica de imagens de satélite é feita com a intenção de minimizar os efeitos atmosféricos na radiação de uma cena, visto que a atmosfera afeta a radiação refletida pela superfície que é captada pelo sensor [4].

$$\text{Equação 1: NDVI} = (IVP - V) / (IVP + V)$$

O uso de imagens NDVI visa realçar a vegetação em relação aos instrumentos urbanos, água e ao solo exposto [5].

Os índices de vegetação ressaltam as diferenças entre o solo e a vegetação, como também reduzem a informação espectral de duas bandas em apenas uma, relacionada às características da vegetação (área foliar, biomassa, produtividade, atividade fotossintética e percentagem de cobertura) [6].

A imagem NDVI foi segmentada no software SPRING 5.5.3, com valores de área 8 e similaridade 10. Em seguida foi realizado o treinamento visando recolher amostras representativas de sete unidades temáticas para uso e cobertura do solo (Mata Úmida, Mata Seca, Caatinga Densa, Caatinga Aberta, Cultivos, Urbano/Solo Exposto, Corpos D'água). Posteriormente foi realizada a classificação com o Algoritmo de Distância Euclidiana Bhattacharya, que resultou no mapa de uso e cobertura do solo da área de estudo.

De posse dos mapas das variáveis morfométricas, de uso e cobertura do solo e de tipos climáticos (Tropical Quente Semiárido - 7 a 8 meses secos; Tropical Quente Semiárido - 6 meses secos; Tropical Quente Semiúmido - 5 meses secos) de Silva (2007) foi realizada a álgebra de mapas a partir da equação 2, no software ArcGis 10.3.1.

$$\text{Equação 2: Vulnerabilidade} = (\text{uso e cobertura do solo} * 0,30) + (\text{clima} * 0,20) + (\text{declividade} * 0,20) + (\text{curvatura vertical} * 0,15) + (\text{curvatura horizontal} * 0,10) + (\text{orientação de vertente} * 0,05)$$

Para cada variável analisada foram estabelecidos pesos em percentuais conforme o grau de importância para o fenômeno analisado (erosão e movimento de massa), totalizando 100%. Para as classes de cada variável mapeada

foram definidas notas de 0 a 10, conforme a relevância de cada uma no evento deflagrado (Tabela 01).

Tabela 01. Variáveis e classes temáticas

Uso e cobertura do solo		Curvatura vertical	
Peso (30%)	Notas	Peso (15%)	Notas
Corpos d'água	0	Muito Convexa	2
Mata Úmida	1	Convexa	4
Mata Seca	3	Retilínea	6
Caatinga Arbustiva Densa	5	Côncava	8
Caatinga Arbustiva Aberta	6	Muito Côncava	10
Cultivos	8	Curvatura horizontal	
Urbano/Solo Exposto	10	Peso (10%)	Notas
<b>Clima</b>		Muito Divergente	2
Peso (20%)	Notas	Divergente	4
Tropical Quente Semiárido (7 a 8 meses secos)	3	Planar	6
Tropical Quente Semiárido (6 meses secos)	7	Convergente	8
Tropical Quente Semiúmido (5 meses secos)	10	Muito Convergente	10
<b>Declividade</b>		Orientação das vertentes	
Peso (20%)	Notas	Peso (5%)	Notas
0 - 3%	0	Noroeste	1
3 - 8%	2	Oeste	2
8 - 20%	4	Sudeste	4
20 - 45%	6	Sul	5
45 - 75%	8	Sudoeste	6
>75%	10	Norte	8
		Leste	9
		Nordeste	10

### 3. RESULTADOS

A figura 02 traz todas as variáveis mapeadas e que foram integradas no procedimento de álgebra, com intuito de gerar o mapa de vulnerabilidade à degradação dos solos da vertente úmida do Maciço de Uruburetama.

Foram integrados os mapas de Uso e cobertura do solo (2a), gerado a partir da imagem Sentinel 2, o de Tipos Climáticos (2b), de Silva (2007), e os das variáveis morfométricas (Declividade – 2c, Curvatura vertical – 2d, Curvatura horizontal – 2e, Orientação das vertentes – 2f), obtidos por meio do MDE Alos Palsar, com seus respectivos pesos e notas.

Como resultado desse processo foi gerado o mapa de vulnerabilidade (figura 03), onde foram definidas as seguintes classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (Tabela 02).

Na figura 03 pode ser observada a distribuição espacial das classes de vulnerabilidade à degradação dos solos na área de pesquisa.

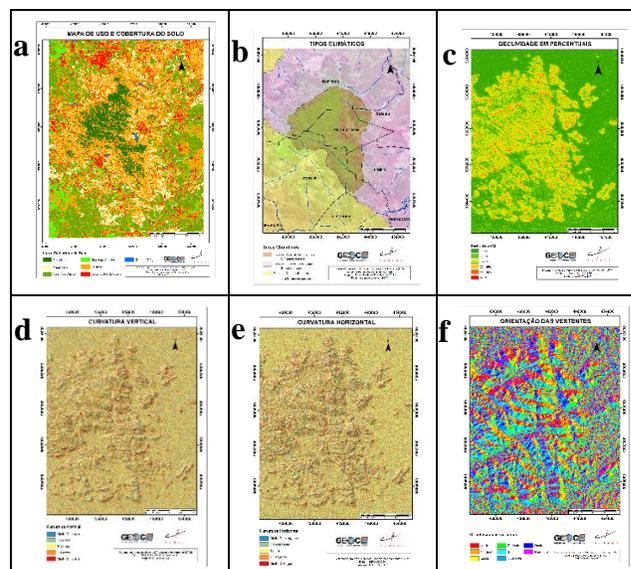


Figura 02. Variáveis mapeadas: (a) Uso e cobertura do solo; (b) Tipos climáticos; (c) Declividade; (d) Curvatura vertical; (e) Curvatura horizontal; (f) Orientação das vertentes

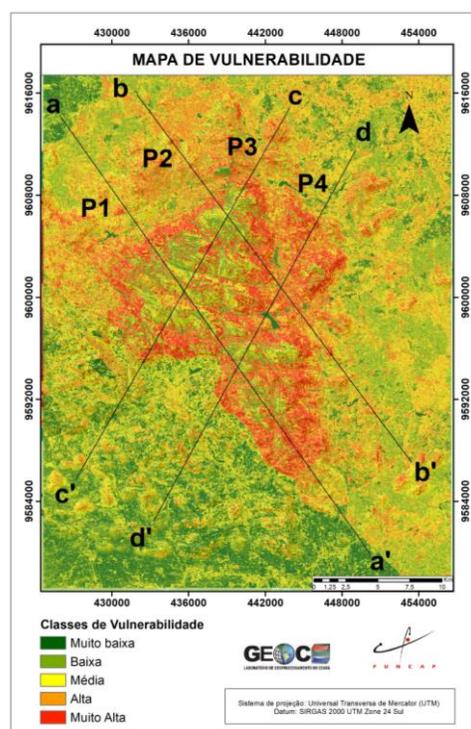


Figura 03. Mapa de vulnerabilidade a degradação dos solos.

Tabela 02. Intervalos das classes de vulnerabilidade

Classes de Vulnerabilidade	
Muito Baixa	1,35 - 4,13
Baixa	4,14 - 4,87
Média	4,88 - 5,69
Alta	5,70 - 6,57
Muito Alta	6,58 - 10,0

#### 4. DISCUSSÃO

Os resultados mostram que a maior parte das encostas da vertente úmida do Maciço de Uruburetama apresentam vulnerabilidade alta e muito alta a degradação dos solos (erosão e movimento de massa).

Essa tendência é verificada sobretudo em áreas de ocorrências de cultivos, de solo exposto ou com ocupação urbana, e que apresentam maior declividade.

Ao se analisar o mapa de vulnerabilidade (figura 03) em conjunto com os perfis topográficos na figura 04, verifica-se que as áreas da vertente úmida com menor grau de vulnerabilidade correspondem as áreas mais elevadas, com cotas altimétricas entre 600 e 1000m. Essas áreas sofrem menor pressão por estarem mais afastadas dos núcleos urbanos e por apresentarem acessos difíceis, com estradas não pavimentadas, com declividades acentuadas, e que não recebem a manutenção devida por parte do poder público, se tornando quase impossível o tráfego na estação chuvosa, agravado ainda mais por quedas de blocos nas estradas.

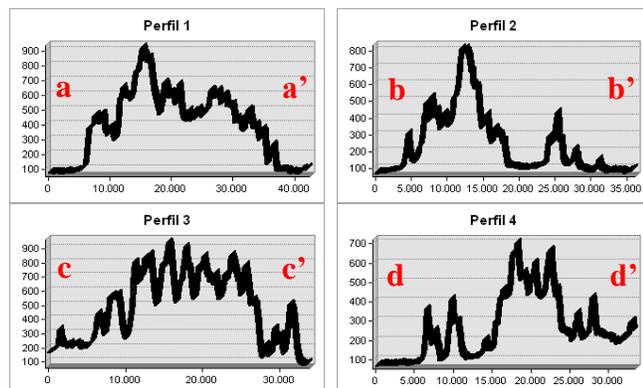


Figura 04. Perfis topográficos da vertente úmida.

Pode ser verificado que a maior vulnerabilidade ocorre em todo o entorno da vertente úmida, onde se processa o chamado efeito borda. Gradativamente se verifica o avanço das atividades agrícolas em direção das áreas mais elevadas e a região central do maciço.

O avanço urbano também compromete a estabilidade das vertentes, sobretudo a partir dos cortes para abertura de estradas. As diversas estradas, que conectam as sedes municipais às pequenas localidades, intensificam os processos erosivos e os movimentos gravitacionais a partir da exposição das vertentes aos agentes intempéricos. Essas estradas também estimulam as ocupações, que por sua vez suprimem a vegetação estabilizadora das encostas. Em outros casos é possível verificar cortes de vertentes para ampliar a área edificável de algumas habitações.

A porção oriental da vertente úmida foi a área que apresentou maior distribuição das classes de vulnerabilidade alta e muito alta. Essa tendência pode ser explicada pelo fato desse setor ser fortemente fraturado, o que não só favorece os

processos de intemperização e os fenômenos analisados, como contribuiu para disseminação das intervenções.

#### 5. CONCLUSÕES

O mapa de vulnerabilidade à degradação dos solos da vertente úmida da Serra de Uruburetama, mostrou que em todo o entorno da área predominam as classes de vulnerabilidade alta e muito alta.

A porção oriental da vertente úmida foi a área que apresentou maior distribuição das classes alta e muito alta. Fato que estar relacionado ao relevo fortemente fraturado, que não só expõe o maior número de encostas aos processos intempéricos, e consequentemente a erosão e movimento de massa, como também favorece a disseminação das intervenções humanas através dos vales entalhados.

As áreas de menor vulnerabilidade ocorrem nas áreas mais elevadas do maciço, e de difícil acesso, com cotas altimétricas entre 600 e 1000m.

As imagens Sentinel 2, com resolução espacial de 10m, e Alos Palsar, com resolução de 12,5m integradas, demonstraram ser excelentes instrumentos para análise de vulnerabilidade. A compatibilidade de suas resoluções espaciais garante maior confiabilidade dos dados gerados.

#### 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pelo incentivo a esta pesquisa, e ao Programa de Pós-graduação em Geologia da UFC.

#### 7. REFERÊNCIAS

- [1] Guerra, A.J.T. **Encostas urbanas**. In: Guerra, A.J.T. Geomorfologia Urbana.: Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, p. 13-42. 2011.
- [2] Silva, M.V.C. **Análise geoambiental: subsídios ao planejamento agrícola da Serra de Uruburetama – CE**. dissertação (Mestrado Acadêmico de Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, p.191, 2007.
- [3] Souza, M.J.N; Oliveira, V.P.V. **Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do Nordeste Brasileiro**. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, ano 05, número 09, p. 85-102, 2006.
- [4] Sanches, I. DA.; Andrade, R. G.; Quartaroli, C. F.; Rodrigues, C.A.G. **Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. p 7564-7571.
- [5] Rosembach, R.; França, A.M.S.; Florenzano, T.G. **Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/Landsat-5 em área urbana**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. , p.1075-1082.
- [6] Verona, J.D; Shimabukuro, Y.E; Santos, J.R. **Potencialidade das imagens-fração multitemporais TM/Landsat na caracterização de variações fenológicas em área de floresta tropical na Amazônia**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. p 713-720.