USO DO VANT NO ATERRO DO JANGURUSSU (FORTALEZA, CE) PARA FINS DE ANÁLISE DE RISCO POTENCIAL À EROSÃO

Rayssa Magdyelli Nogueira da Silva [1], Linara Ivina de Castro Rodrigues [2], José Antonio Beltrão Sabadia†, Daniel Dantas Moreira Gomes [3] e Cynthia Romariz Duarte [4]

[1, 2, e 4]Laboratório de Geoprocessamento do Ceará (GEOCE) – Departamento de Geologia – Campus do Pici – Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hull, s/n – Pici, Fortaleza – CE. CEP 60455-760, Brasil; [3] Laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Ambiental (LaGMA), Universidade de Pernambuco, Campus Garanhuns, R. Pedro Rodrigues, n 105 – São José, Garanhuns – PE. CEP 55294-902, Brasil.

[1]rayssa_magdy@hotmail.com; [2]linara.rodrigues@yahoo.com; [3]daniel.gomes@upe.br; [4]cynthia.duarte@ufc.br e †*in memoriam*

RESUMO

Na busca por ferramentas de sensoriamento remoto mais eficientes, os veículos aéreos não tripulados (VANT) destacam-se na precisão, qualidade do dado, rapidez e baixo custo de levantamento. Neste trabalho, utilizou-se técnicas de processamento digital de imagens e geoprocessamento para analisar as variáveis geomorfométricas (declividade, orientação de vertentes e curvaturas vertical e horizontal) do aterro sanitário do Jangurussu, Fortaleza, CE. Confeccionou-se uma carta de avaliação do risco morfológico à erosão (CARMOE). A interpretação das variáveis auxiliou na elaboração da CARMOE, possibilitando classificar áreas em graus de risco potencial à erosão. Analisando-se a CARMOE, as vertentes nordeste a sudeste apresentaram graus de risco alto e muito alto, coincidindo com áreas residenciais dentro dos limites do aterro e onde, a aproximadamente 25 m, encontram-se as margens do rio Cocó.

Palavras-chave — Geoprocessamento, aterro, VANT, variáveis geomorfométricas, risco de erosão.

ABSTRACT

Searching for more efficient remote sensing tools, unmanned aerial vehicles (UAV), stand out in the precision, data quality, speed and low cost of surveying. In this work digital image processing and geoprocessing techniques were used to analyze the geomorphometric variables (slope, slope orientation and vertical and horizontal curvatures) of Jangurussu landfill, Fortaleza, CE. An evaluation of the morphological risk to erosion map (EMREM) was prepared. The interpretation of the variables helped in the elaboration of EMREM, making it possible to classify areas in degrees of potential risk for erosion. Analyzing EMREM, the northeast-southeast slopes presented high and very high risk, coinciding with residential areas within the limits of the landfill and where, at approximately 25 m, are the banks of the Cocó river.

Key words — *Geoprocessing, landfill, UAV, geomorphometric variables, erosion risk.*

1. INTRODUÇÃO

Projetado para uma vida útil de 10 anos e criado em 1978, o antigo aterro do Jangurussu, que funcionou por mais de 20 anos, era o responsável por receber os resíduos domésticos e até hospitalares da região de Fortaleza, no Estado do Ceará (Figura 1). Esses resíduos foram dispostos sem nenhum controle técnico, gerando chorume e gases tóxicos e inflamáveis que até hoje contaminam o lençol freático e põem em risco a população do entorno [1].

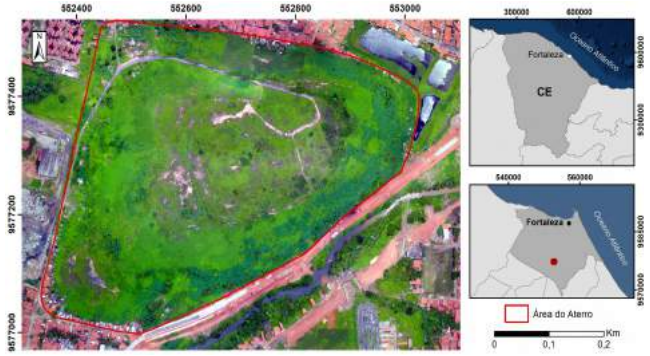

Figura 1. Mapa de Localização do Aterro de Resíduos Sólidos do Jangurussu.

O aterro, com área aproximada de 21,6 hectares, possui permeabilidade elevada e cobertura formada de uma fina camada de sedimentos e sulcos de drenagem. O chorume produzido pode atuar ainda como fluido lubrificante. Essas propriedades, quando aliadas a precipitações intensas e concentradas, podem gerar problemas de instabilidade geotécnica [2]. Por essa razão, torna-se necessário o monitoramento frequente dessas áreas, que pode ser realizado por técnicas de sensoriamento remoto.

Nesse contexto, o uso dos veículos aéreos não tripulados (VANT) destaca-se principalmente pela segurança, tempo e custo na execução de um aerolevantamento, além de gerar produtos com elevada acurácia [3].

Para o estudo dos processos de evolução e formas do terreno, as variáveis geomorfométricas tornam-se importantes instrumentos de análise geomorfológica [4]. Estas podem ser

geradas pela geomorfometria moderna que extrai parâmetros de medida e feições espaciais da topografia digital, analisando a superfície de modo quantitativo [5] [6]. A integração dos dados desses parâmetros pode ser realizada em ambiente SIG [4].

As variáveis escolhidas para esse estudo foram a declividade, orientação de vertentes, curvatura vertical e curvatura horizontal.

A geomorfometria moderna aplicada à análise de risco pode auxiliar na elaboração de mapas de susceptibilidade. Nesse estudo, utiliza-se um modelo baseado em conhecimento, com operadores ponderados, que é a técnica mais utilizada em projetos de análise espacial [7]. Nesse método, cada mapa de entrada é utilizado como uma evidência, que receberá um peso diferente dependendo da importância da hipótese sobre consideração. Cada plano de informação recebe notas diferentes, bem como as respectivas classes dos planos de informação [7]. O resultado é uma carta de avaliação do risco morfológico à erosão (CARMOE) [4] com áreas que expressam o grau de importância relativa por valores numéricos de saída.

O presente trabalho pretende utilizar técnicas de geoprocessamento para analisar variáveis geomorfométricas derivadas de um Modelo Digital de Elevação (MDE) produzido a partir das imagens aéreas obtidas com o VANT e, com isso, auxiliar na prevenção de riscos potenciais à erosão por meio de uma Carta de Avaliação do Risco Morfológico à Erosão (CARMOE) do Aterro do Jangurussu.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia envolveu três etapas: pré-voo, execução do voo e processamento dos dados.

No pré-voo, o planejamento incluiu a definição do alvo a ser sobrevoado, monitoramento dos fatores meteorológicos e requerimento de autorização do voo.

A execução do voo ocorreu na área da diretoria do aterro pela falta de segurança urbana aos envolvidos. Utilizou-se o VANT Phantom 4 da marca Dji. O voo foi executado a 210 m de altura, recobrindo 0,757 km^2 com resolução de 7,93 cm/pix, obtendo 661 imagens. Justifica-se essa altura de voo pela falta de segurança, já que o local onde se localiza o aterro é uma área de risco dominada por facções criminosas.

Inicialmente, o processamento dos dados contou com o *software* Agisoft PhotoScan para geração de dados 3D a partir das imagens aéreas obtidas pelo VANT. Nesse estágio, fez-se uma avaliação dos dados coletados observando a qualidade das imagens, se toda a trilha do voo foi gravada e se houve perda no recobrimento lateral das fotografias. Então, seguiu-se as etapas da ferramenta *Fluxo de Trabalho* do *software*.

Com o MDE em mãos, utilizou-se a ferramenta *Spatial Analysis* do ArcGis 10.3.1 para geração das variáveis geomorfométricas.

O próximo passo foi reclassificar as variáveis através da ferramenta *Reclassify* com o intuito de atribuir notas relacionadas a maior ou menor probabilidade destas promoverem a erosão do terreno.

Por último, a Álgebra de Mapas, executada pela ferramenta *Raster Calculator*, permitiu recalcular as variáveis com pesos que variaram de acordo com o grau de importância e correlação com o fenômeno estudado. Esses pesos precisam somar 100% e o dado de saída é gerado em formato *raster*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processamento das fotografias obtidas pelo VANT permitiu gerar um ortomosaico com alta resolução espacial de 7,93 cm/pix e um MDE com 63,5 cm/pix.

Para a variável de declividade, adotou-se a classifcação do relevo segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) [8].

Observando a declividade da área (Figura 2A), percebe-se que os taludes em geral têm declividade maior que 20% (>16°), variando de forte ondulado a montanhoso. Os maiores declives (>45% ou >35°) são observados nas vertentes NE, onde encontram-se residências no sopé da encosta, e SE do aterro, localizada próxima do rio Cocó. Essas superfícies com declividades acentuadas podem exercer maior influência sobre movimentos de massa relacionados à ação gravitacional, do que sobre a erosão propagada pela componente hidráulica [9].

Analisando a orientação de vertentes (Figura 2B), fica explícito a conformidade das orientações com o formato do aterro, que justifica orientações em todas as direções, como esperado. Mesmo com o nível de detalhe, visualmente os resultados mostram-se homogêneos nos taludes indicando uma maior regularidade no sentido do escoamento.

Os dados de curvaturas vertical e horizontal (Figuras 2C e D) geraram informações quantitativamente exageradas, de difícil interpretação, o que foi atribuído à alta resolução do MDE. Esse nível de detalhe foi importante para a geração da carta final.

Para confecção da CARMOE, os valores das notas e dos pesos (Tabela 1) para o cálculo final a partir da álgebra de mapas foram definidos com base em publicações prévias [4] e [9], e em seus conhecimentos em relação as variáveis avaliadas e como elas se comportam na área estudada.

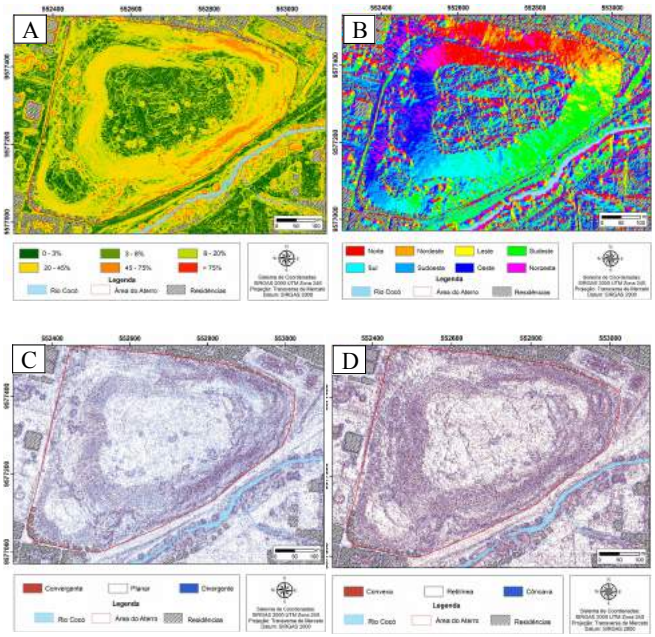

Figura 2. Variáveis geomorfométricas da área. A: Declividade; B: Orientação de Vertentes; C: Curvatura Vertical; D: Curvatura Horizontal.

Variável	Atributo	Nota	Peso de Influência
Declividade	0 – 3%	0	40%
	3 - 8%	2	
	8 – 20%	4	
	20 – 45%	6	
	45 – 75%	8	
	> 75%	10	
Curvatura Vertical	Convexa	3	25%
	Retilínea	6	
	Côncava	9	
Curvatura Horizontal	Divergente	3	20%
	Planar	6	
	Convergente	9	
Orientação de Vertentes	Noroeste	1	15%
	Oeste	1	
	Norte	2	
	Sudoeste	4	
	Nordeste	5	
	Sul	7	
	Sudeste	8	
	Leste	10	

Tabela 1. Notas e Pesos de Influência de cada variável.

Foi atribuída a maior influência para a declividade, pois, dependendo do nível de inclinação do terreno, a probabilidade de processos de transporte gravitacional ocorrerem é maior, quando comparada às outras variáveis analisadas. A orientação de vertentes veio em segundo após considerar a incidência das chuvas principalmente na vertente leste, variando ocasionalmente de sul a sudeste [10]. As menores influências foram para as curvaturas pela dificuldade de interpretação visual.

A carta final foi classificada em graus de risco muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto (Figura 3). É possível observar a grande quantidade de setores marcados com os graus de risco alto e muito alto nas vertentes sul, sudeste, leste e em parte da vertente norte. Os graus médios a baixo são observados nas vertentes oeste, sudoeste e na fração restante da vertente norte. No topo do aterro, onde a forma de relevo apresenta um topo plano, os riscos variam de baixo a muito baixo, salvo em algumas porções onde a presença de árvores com copas altas apresentou alguns resultados com um grau de risco falseado.

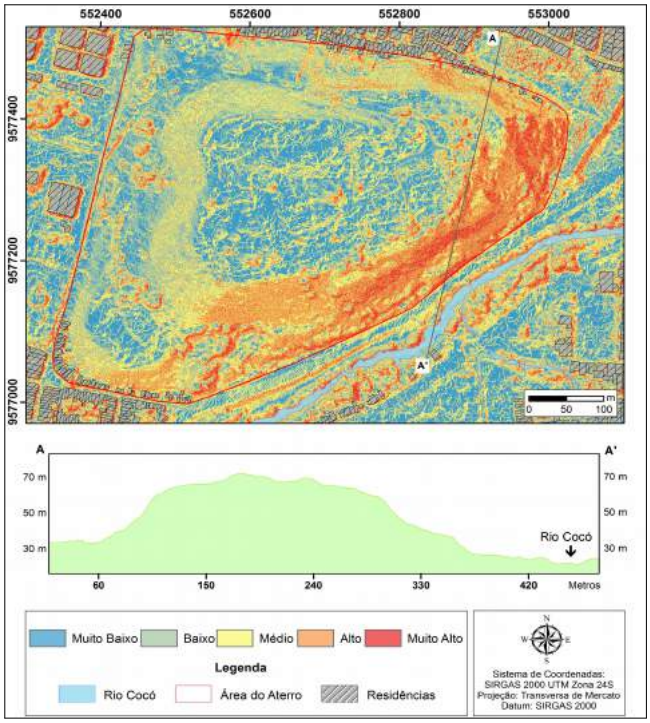

Figura 3. CARMOE.

É possível perceber que as declividades mais acentuadas possuem uma forte correlação com os graus de risco muito alto – perceptível no perfil A-A' da Figura 3 – sendo assim um fator preponderante na deflagração de movimentos de massa. As vertentes onde a incidência da chuva é mais direta também coincidiram com os graus de risco elevado e as curvaturas vertical e horizontal contribuíram, de forma geral, na adição de informações relacionadas ao risco à erosão no mapa final pela grande quantidade de dados do terreno gerados devido à alta resolução do MDE.

Áreas de maior risco não mostram feições de movimentos de massa nas imagens do VANT, e também não registram deslizamentos anteriores no domínio do aterro. Isto pode ser devido à ampla cobertura vegetal dessa área. Porém, um agente deflagrador futuro, como a construção de casas riscos ou estradas cada vez mais próximas ao aterro, bem como o cultivo de plantações variadas, pode desencadear riscos para as comunidades locais e para o rio Cocó.

Mesmo que não haja histórico de deslizamento e a área encontre-se teoricamente estabilizada, os valores de declividade representam um valor muito elevado para pilhas de rejeitos em aterros de lixo, principalmente quando se considera que o mesmo está em um contexto densamente urbanizado, dentro da capital do estado.

4. CONCLUSÕES

O processamento das imagens possibilitou uma ortofoto com resolução de 7,93 cm/pix e um MDE com um pixel de 63,5 cm, o que denota a alta resolução espacial condicionada pelo uso do VANT, além da facilidade, rapidez e baixo custo da aquisição dos dados.

Sobre a geração das variáveis geomorfométricas, é possível expor algumas conclusões. A declividade permitiu a visualização das vertentes mais íngremes a NE e SE do aterro – com proximidade de residências e do rio Cocó, respectivamente – exibindo declives maiores que 45% (>35°). As orientações das vertentes, que influem no sentido de escoamento de sedimentos e fluidos, variam em todas as direções seguindo o formato característico do aterro. As variáveis de curvatura vertical e horizontal exibiram grande quantidade de informações. Isso se deve à alta resolução do MDE, que impossibilitou intrepretações dos dados. Porém as mesmas mostraram-se essenciais na geração do produto final quando integrada às outras variáveis, adicionando dados ao modelo matemático.

A CARMOE possibilitou visualizar áreas com diferentes graus de risco à erosão. As vertentes sul, sudeste, leste e parte da vertente norte apresentaram graus de risco alto e muito alto, enquanto o risco variou de baixo a médio nas demais vertentes. Todos esses graus foram influenciados em maior peso pela declividade e pela orientação dos ventos e chuvas nas vertentes.

Mesmo não havendo registro de movimentos de massa, não se pode descartar a influência das vertentes de maior risco nas residências instaladas no limite NE e nas margens do rio Cocó que passa em torno de 25 m a sudeste do aterro. Além disso, existe possibilidade de deflagração de eventos de riscos nesse aterro, dado os altos valores de declividade nessa área de forte influência antrópica.

Recomenda-se estudos futuros de coleta de informações relativas ao solo, vegetação, mecânica de resíduos sólidos, que possam ser integradas aos dados aqui apresentados para melhor avaliação de riscos na área de estudo.

5. REFERÊNCIAS

[1] Teixeira, C. P. B.; Silva Neto, T. A.; Teodoro Filho, N. C.; Sabadia, J. A. B.; Souto, M. V. S.; Duarte, C. R. Levantamento e Análise da Contaminação Produzida por Metais pelo Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais do Jangurussu nos Recursos Hídricos da Cidade de Fortaleza no período de 2001 a 2015. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 2016, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2016.

[2] Sabadia, J. A. B.; Duarte, C. R.; Souto, M. V. S.; Silva Neto, T. A.; Teodoro Filho, N. C. Evolução da Contaminação Produzida pelo Aterro do Jangurussu nos Recursos Hídricos da Cidade de Fortaleza (2001 a 2015) e Considerações de Estabilidade Geotécnica. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 2016, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2016.

[3] Silva, C. A. **Avaliação da acurácia dos ortomosaicos e modelos digitais do terreno gerados por VANT e sua aplicação no cálculo do volume de pilhas de rejeito da Pedra Cariri.** 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

[4] Carmo, A. M. **Utilização do geoprocessamento como subsidio para análise morfométrica e de risco geológico das serras da porção sul do Maciço Central do Ceará.** 2014. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

[5] Wilson, J. P., "Digital terrain modeling". *Geomorphology***,** Amsterdam, pp. 107-121. jan. 2012.

[6] Vasconselos, V.; Júnior, O. A. C.; Martins, E. S.; Junior, A. F. C.; Guimarães, R. F.; Gomes, R. A. T., "Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional Serra da Canastra", *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [s. l.], v. 13, n. 2, pp.171-186, 2012.

[7] Eastman, J. R.; Jin, W.; Kyem, P. A. K.; Toledano, J., "Raster Procedures for Multi-Criteria/Multi-Objective Decisions", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, New York, v. 5, n. 61, pp.539-547, 1995.

[8] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). "Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos", Rio de Janeiro, 1979. pp.83.

[9] Batista, C. T. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento geotécnico em escala regional – o caso da serra de Baturité, CE.** 2014. 218 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

[10] Plataforma de Coleta de Dados (PCD). FUNCEME. Disponível em: <http://www.funceme.br/app/pcd/>.