

## Modelo digital de curvatura côncava para determinação de unidades geotécnicas de aptidão à urbanização

Raquel Alfieri Galera<sup>1</sup>  
Camila de Oliveira Brito<sup>1</sup>  
Fábio de Santis Campos<sup>1</sup>  
Juliana de Souza Antunes<sup>1</sup>  
Katia Canil<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do ABC – UFABC

Av. dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP, Brasil  
raquelalfieri@gmail.com; camila.oliveira@aluno.ufabc.edu.br; fsantiz@gmail.com;  
ju.antunes02@gmail.com; katia.canil@ufabc.edu.br

**Abstract.** The uncontrolled urban growth increases the occupation of areas that are environmentally inadequate and intensifies the processes of occurrence of landslides and floodings of great impact. The understanding of the physical environment in the perspective of the integrated management of environmental and urban hazards presupposes the planning and management of preventive measures. The use of tools that provide the proper support to associate databases to spatialized thematic graphic data allows the quantification of phenomena by spatial data collection, systematization, processing and storage in multi-scale and assists on sharing the information about the hazard and related measures to the society. Therefore, this article's main point is based on the development of cartographic processes applied to the representation of the geomorphologic structures on the association of the aspects related to the dynamics of the processes that occur in the space in relation to time. As the main object of this research, it was analyzed the mapping of the city of Santo André's landforms for the identification of its concave strands. The GRASS software was utilized for modeling through the interpolation of quoted points and contour lines on the study area. Then it was done a 3D analysis and the validation through field tests. The results were associated with other aspects of the physical environment to determinate geomorphological units of urbanization fitness.

**Palavras-chave:** geomorphological cartography, concave profile, landforms, cartografia geomorfológica, vertente côncava, formas de relevo.

### 1. Introdução

O crescimento urbano descontrolado torna mais frequente o aumento da ocupação de áreas em condições ambientalmente desfavoráveis. Com espaços ocupados de forma cada vez mais intensa, ampliam-se as perturbações geológicas e intensificam-se os fenômenos de risco. As ocupações caracterizadas por construções precárias e pela falta infra-estrutura urbana, tornam áreas vulneráveis a processos de deslizamentos de encostas e inundações que implicam em acidentes envolvendo danos materiais e perdas humanas (TOMINAGA, 2009). Para controlar os efeitos adversos destes fenômenos sobre a população, os bens, serviços e o meio ambiente, torna-se necessário à adoção de medidas que minimizem os impactos por meio do planejamento e da aplicação de políticas estratégicas, na criação de instrumentos e medidas que orientem a melhor regulamentação do uso e ocupação do solo, através da gestão de riscos de desastres (NOGUEIRA, 2008).

As cidades brasileiras têm registrado ocorrências de deslizamentos e inundações de grande impacto, tornando cada vez mais necessário o conhecimento do espaço geográfico. O mapeamento dos aspectos do meio físico, utilizando de sistemas de informações geográficas, viabiliza a análise de eventos, fenômenos e as dinâmicas relativas ao uso e ocupação do solo com a construção de representações computacionais do espaço (CÂMARA et al, 2003).

Neste contexto, a compreensão da fisiologia da paisagem relaciona a análise dos processos morfodinâmicos, as modificações ocasionadas pela ocupação do solo e as derivações resultantes a partir de representações gráficas. A espacialização dos elementos geomorfológicos permite caracterizar a forma do relevo, relacionando cartograficamente os

processos intrínsecos de cada elemento e associando os principais aspectos morfométricos no processo de formação das paisagens (CASSETI, 2005).

A modelagem de geometria das encostas/vertentes é um instrumento que auxilia na interpretação e compreensão dos processos erosivos e hidrológicos (naturais ou antrópicos) atuantes nas orientações das vertentes. As geometrias de encostas indicam os direcionamentos de fluxos em caminhos preferenciais de acordo com a sua orientação e são sintetizadas em: côncavos, convexos e retilíneos. As encostas de morfologia côncava são objetos de estudos deste trabalho, pois remetem a zonas de convergência dos fluxos d'águas que fluem em direção aos eixos de drenagem da bacia (GUERRA, 2001).

## 2. Procedimentos Metodológicos

Para fins da análise metodológica, foi selecionado uma área do município de Santo André, mais especificamente a Zona de Recuperação Urbana, em que a presença de concavidades se mostrou problemática na região por apresentar potencial risco geotécnico em casos de ocupação antrópica (Figura 1). O município está associado a uma parceria entre o Ministério das Cidades, o Consórcio Intermunicipal Grande ABC e o grupo de pesquisa em gestão de riscos da Universidade Federal do ABC no desenvolvimento metodológico de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização, relacionando diferentes aspectos do meio físico e ambientais da região como um todo. A delimitação das vertentes côncavas relaciona áreas com altas declividade, potencial de concentração de água e lençol freático aflorante, caracterizando zonas de alta fragilidade do ponto de vista geotécnico e ambiental.

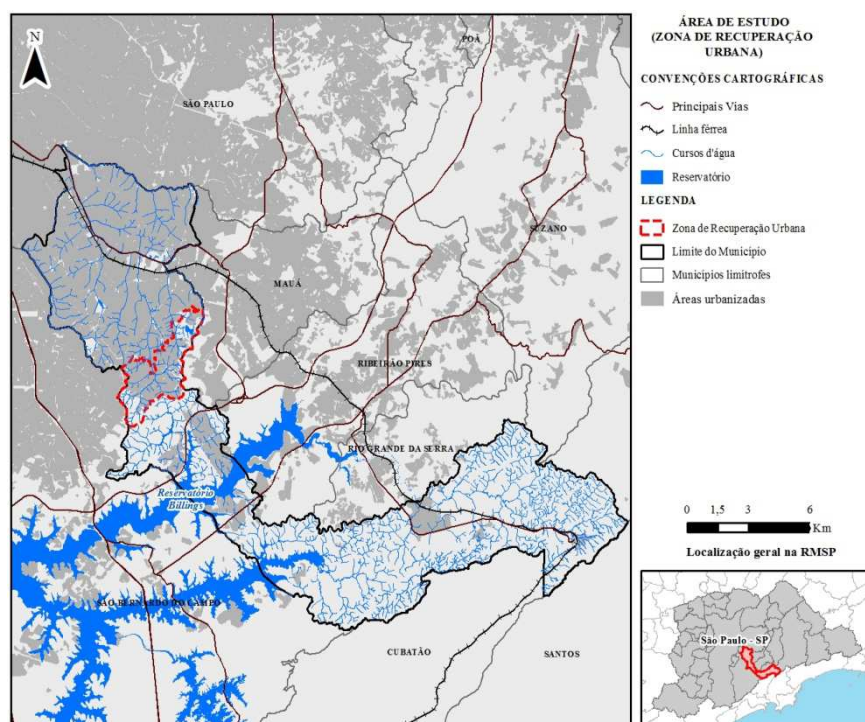


Figura 1. Área de estudo - Zona de Recuperação Urbana do Município de Santo André - SP

Para o mapeamento geotécnico dos aspectos morfométricos do modelo de terreno foram utilizadas como principais fontes de dados espaciais curvas de nível e pontos cotados, obtidos por sondagem a laser, com intervalos de 1 metro, disponibilizadas pelo município. A primeira etapa consistiu em converter toda a base de dados espaciais em arquivo vetorial no formato de pontos em ambiente de sistemas de informação geográfica. A etapa seguinte utilizou o software livre QGIS e o módulo GRASS no processo de interpolação dos pontos

por meio da definição de parâmetros como tensão, quantidade e contiguidade desses pontos que permitiram a definição da escala de análise do arquivo de saída matricial.

O resultado do processamento define o modelo topográfico e o perfil de curvatura do terreno definidos pelo algoritmo, caracterizados pelos seguintes perfis de vertente: côncavo com valores inferior a  $-0,001$ ; retilíneo com valores entre  $-0,001$  e  $0,001$ ; e convexo com valores maiores que  $0,001$ , Figura 2.

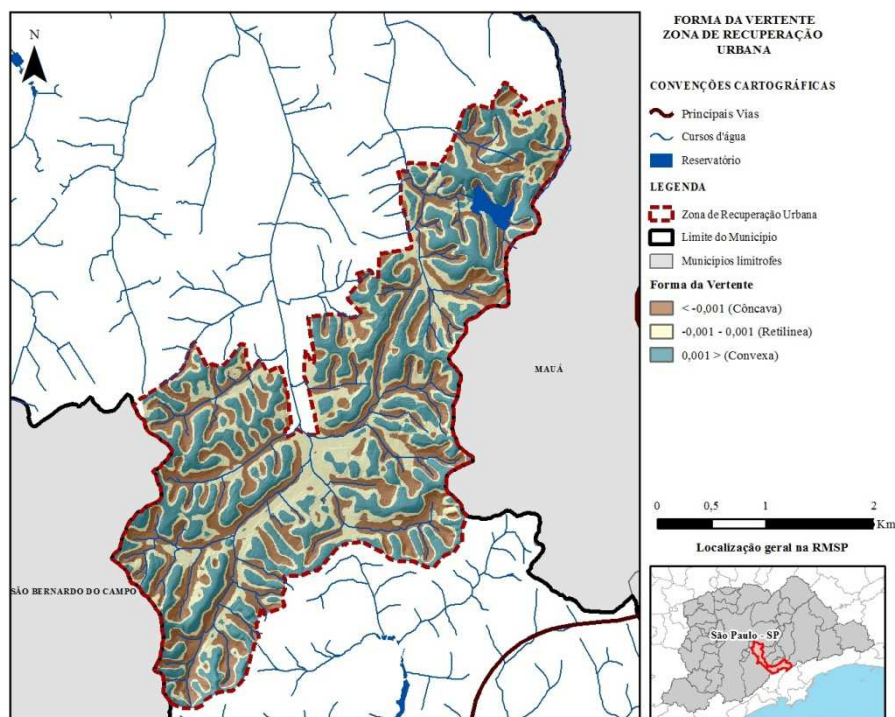


Figura 2. Forma da vertente

Com interesse em mapear e analisar apenas as curvaturas côncavas, realiza-se a redefinição dos parâmetros para a obtenção do grau de concavidade apresentado no terreno. Com base em análises de validação em campo, adotou-se, portanto, limiares de representação com valores inferiores de  $-0,002$  caracterizando áreas de vertente com diferentes níveis de concavidade, definindo áreas potenciais de escoamento de águas das chuvas. Este mapeamento permite identificar áreas com maiores entalhamentos e concentração de água, caracterizando áreas de cabeceiras/nascentes (Figura 3).

Para validação da representatividade dos limiares foram realizadas análises com auxílio de modelagem em 3D nos softwares ArcGlobe e Infracore, correlacionando pontos de ocorrências disponibilizados pela Defesa Civil municipal, de deslizamento gravitacional de massa e solapamentos, com formas de relevo marcadas por vertentes côncavas como pontos de análise (Figura 4, 5 e 6) e verificação em campo na área de estudo, Figura 7.

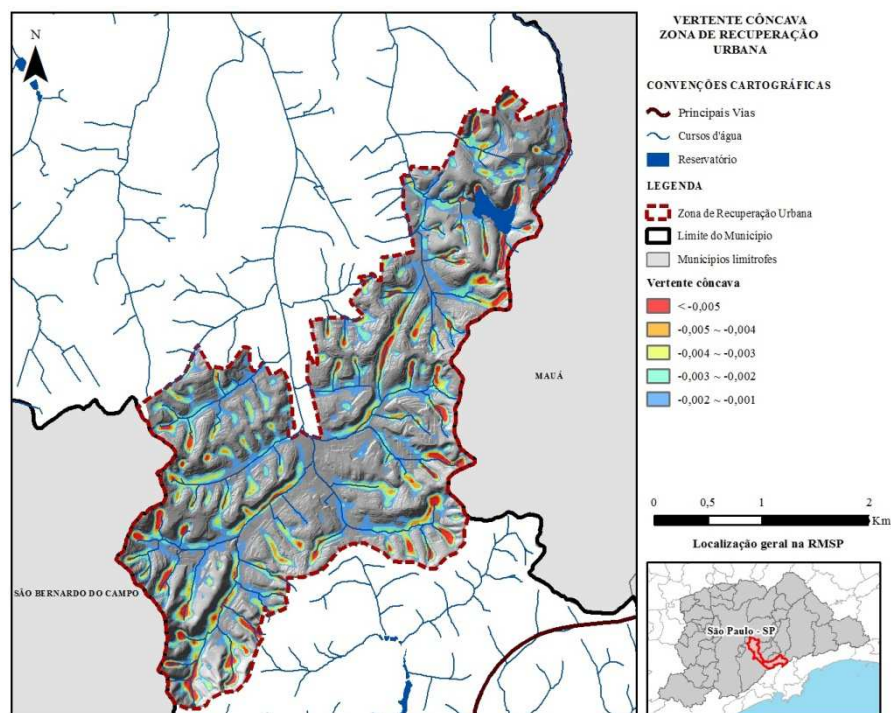


Figura 3. Limiar de análise da vertente côncava

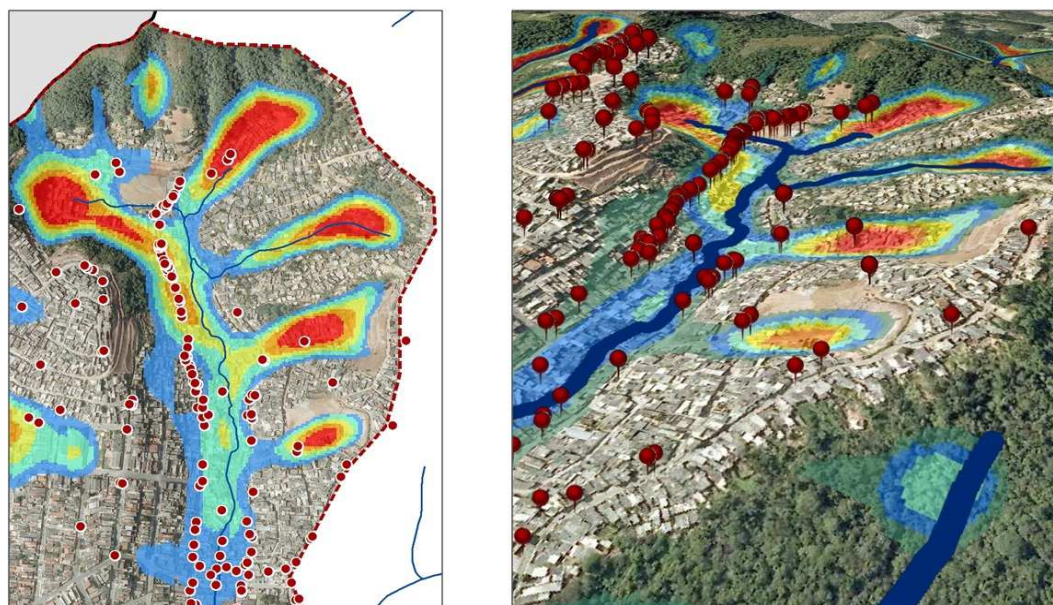


Figura 4. Ponto de verificação 1 - Rua dos Missionários, Jardim Santo André

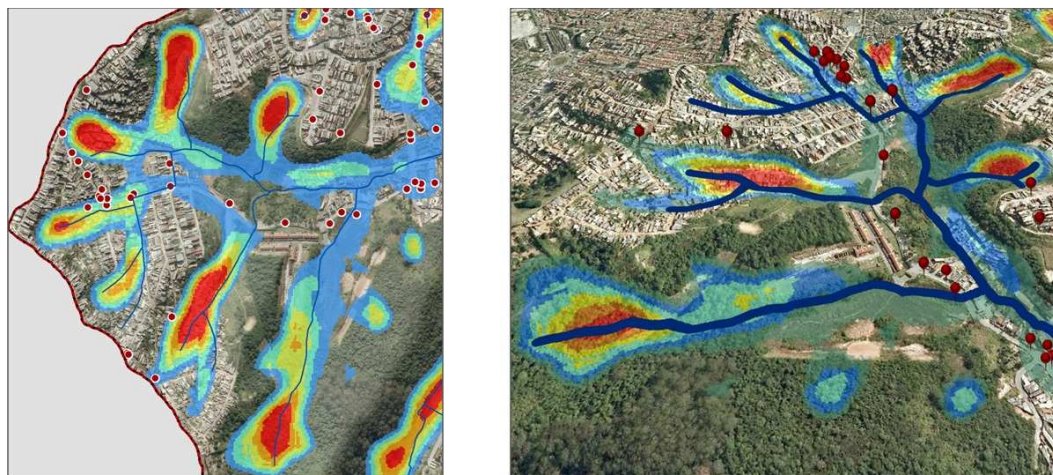


Figura 5. Ponto de verificação 2 - Estrada dos Vianas, Sítio dos Vianas

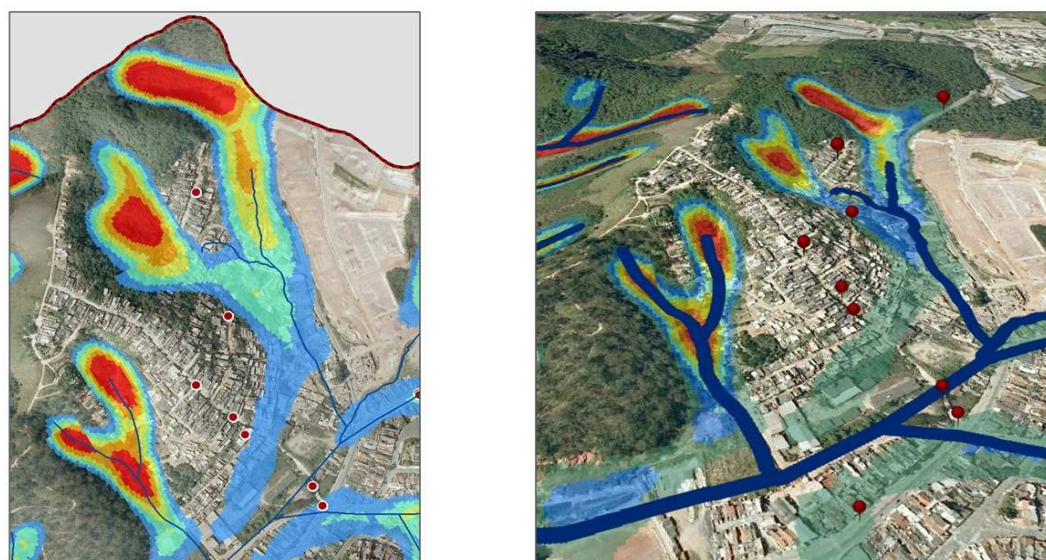


Figura 6. Ponto de verificação 3 - Bairro Cassaquera



Validação - Ponto 1

Validação - Ponto 2

Validação - Ponto 3

Figura 7 . Campo de validação dos limiares da modelagem

### 3. Resultados e Discussão

Com a modelagem do terreno e a identificação das vertentes de perfil côncavo, foi possível identificar relações entre as dinâmicas naturais e o processo de ocupação urbana nas áreas em análise. Com a definição dos perfis de vertente, identificou-se a presença e os principais aspectos da concavidade do relevo. Representadas em cinco limiares, os intervalos de  $-0,003$  a  $-0,001$ , variados pela tonalidade em azul, correspondem aos menores graus de

concauidade, marcadas por menores declividades; o intervalo de -0,004 a -0,003 em amarelo corresponde ao grau de médias concauidades; e o intervalo entre os valores  $<-0,004$  determinam as áreas em que a concauidade ocorre de forma mais acentuada, caracterizada por altas declividades e vales mais encaixados.

De maneira geral, observamos que as áreas classificadas como vertente cônica, em sua maioria, não sofreram com o processo intenso de urbanização. Os pontos verificados em campo apresentam considerável cobertura vegetal ainda preservada, uma vez que as próprias características físicas e ambientais presentes condicionam a não ocupação dessas áreas. As áreas de vertentes côncavas com maior adensamento de ocupação, como exemplo o bairro Jardim Santo André na Rua dos Missionários, apresentaram maior quantidade de processos de ocorrência relacionados à movimentos gravitacionais de massa. Neste caso, embora os processos estão todos concentrados ao longo da rua dos missionários de fato eles ocorreram de forma não homogênea ao longo das áreas ocupadas, côncavas ou não, pois no ato do registro das ocorrências opta-se pela escolha de uma rua ou avenida principal como orientação.

Como objeto final de análise do projeto de pesquisa proposto para elaboração de cartas geotécnicas de aptidão à urbanização, foi adotada a faixa de valores inferiores a -0,004 para o cruzamento com outras variáveis para determinação de unidades geotécnicas aplicada a urbanização. Para áreas caracterizadas como de vertente cônica, foi recomendada para áreas já **ocupadas**, intervenções geotécnicas de alta complexidade ou o reassentamento das habitações de baixo grau construtivo; para áreas ainda **não ocupadas**, é necessária a adoção de medidas estruturais e não estruturais para manutenção e conservação da cobertura vegetal nestes pontos evitando a instalação de edificações permanentes. Sendo assim, estas áreas podem ser classificadas como **inaptas** à consolidação urbana ou à urbanização no ponto de vista geotécnico e ambiental (NOGUEIRA & CANIL, 2016).

#### 4. Conclusões

Os modelos de gestão de risco incorporam a idéia da integração das informações relacionadas ao manejo dos riscos e a adoção de ações intersetoriais. Nesta perspectiva, é preciso criar pontes entre o conhecimento teórico, definido pelos processos relacionados à instauração dos riscos e ameaças em potencial, e uma perspectiva sistêmica que permita a identificação e espacialização dos elementos sob risco. Desta maneira, é possível correlacioná-los aos aspectos do meio físico, ambiental, econômico e social, no desenvolvimento de modelos e cenários representacionais. A sistematização de um banco de dados espaciais permite o aperfeiçoamento de mapeamentos temáticos e conseqüente maior nível de entendimento quanto às dinâmicas e os fenômenos que se reproduzem no espaço com o suporte dos sistemas de informação geográfica.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Consórcio Intermunicipal Grande ABC pelas bolsas de pesquisa, à Universidade Federal do ABC pelo apoio logístico e à Prefeitura de Santo André pela participação e acompanhamento dos trabalhos.

#### Referências Bibliográficas

- CÂMARA, G., MONTEIRO, A. M., MEDEIROS, J. S. **Representações computacionais do espaço: Um diálogo entre a Geografia e a Ciência da Geoinformação.** Revista Geografia UNESP, 28(1):83-96, jan/abril 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Gilberto\\_Camara2/publication/242763509\\_Representaes\\_Computacionais\\_do\\_Espao\\_Um\\_Dialogo\\_entre\\_a\\_Geografia\\_e\\_a\\_Ciencia\\_da\\_Geoinformao/links/00b7d5377a8d220725000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Gilberto_Camara2/publication/242763509_Representaes_Computacionais_do_Espao_Um_Dialogo_entre_a_Geografia_e_a_Ciencia_da_Geoinformao/links/00b7d5377a8d220725000000.pdf)
- CASSETI, V. Geomorfologia. [S.l.]: 2005. Disponível em: <https://geografiaambiental.files.wordpress.com/2010/12/geomorfologia.pdf>

- GUERRA, A. J. T.. **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Bertrand Brasil, 4ª Ed. 2001.
- NOGUEIRA, F. R. A curta história da gestão de riscos ambientais urbanos. São Paulo, UNESP, Geociências, v.27, n.1, p.125-126, 2008.
- NOGUEIRA, F. R.; CANIL, K. (Coord.) **Elaboração de Cartas Geotécnicas de Aptidão à Urbanização Frente aos Desastres Naturais no(s) Município(s) de Santo André e Ribeirão Pires, Estado de São Paulo – Relatório Final**. UFABC/Consórcio Intermunicipal Grande ABC, Santo André. 2016.
- TOMINAGA, L. K. **Desastres Naturais: por que ocorrem ?**. IN: Instituto Geológico. TOMINAGA, L. K. SANTORO, J.; AMARAL, R. (orgs.) Desastres naturais: conhecer para prevenir . São Paulo, 2009.