



# AUTOMATIZAÇÃO DA GERAÇÃO DO ÍNDICE DE DISSECAÇÃO DO RELEVO: UMA FERRAMENTA PARA MODELAGEM AMBIENTAL<sup>1</sup>

Alex da Silva Sousa <sup>2</sup>  
Jurandyr Luciano Sanches Ross <sup>3</sup>

## RESUMO

A utilização de modelos ambientais tem se mostrado fundamental para estudos geomorfológicos contemporâneos, particularmente no que diz respeito ao zoneamento territorial e planejamento ambiental integrado. Este trabalho apresenta um modelo inovador para geração automatizada do Índice de Dissecação do Relevo aplicado ao Estado de São Paulo, utilizando dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 metros e ferramentas avançadas de geoprocessamento no ambiente *ArcGIS 10.3*. O método desenvolvido baseia-se no conceito de *workflow* científico, permitindo a padronização completa do processo de cálculo do índice, o que garante comparabilidade temporal e espacial entre diferentes áreas de estudo. Os resultados incluem mapas temáticos detalhados de Entalhamento do Relevo e Dimensão Interfluvial Média, que combinados permitem calcular o Índice de Dissecação conforme as matrizes propostas por Ross (1994) e Crepani et al. (1996). A ferramenta demonstrou elevada eficácia na padronização de processos geomorfológicos quantitativos e na sua aplicação em modelos ambientais complexos, oferecendo significativas contribuições para a gestão territorial sustentável. A metodologia desenvolvida apresenta potencial para aplicação em outras regiões do território nacional, desde que adequadamente parametrizada.

## INTRODUÇÃO

Os avanços recentes nas técnicas de mapeamento geomorfológico, particularmente com a utilização de Modelos Digitais de Terreno (MDT) de alta resolução, revolucionaram os processos de análise do relevo, permitindo a automação de procedimentos que antes demandavam extenso trabalho manual (CIGNETTI et al., 2025). Neste contexto, o Índice de Dissecação do Relevo emerge como uma variável morfométrica crucial para análises ambientais integradas, servindo como base para a elaboração de Mapas de Fragilidade Ambiental (ROSS, 1994, 2012) e Vulnerabilidade Ambiental (CREPANI et al., 1996, 2001).

O Estado de São Paulo, com sua complexa diversidade geomorfológica que inclui desde o Planalto Atlântico até áreas de depressões periféricas (AB'SÁBER,

---

<sup>1</sup> Este artigo é resultado parcial de pesquisa de doutorado financiada pela CAPES

<sup>2</sup> Doutor pelo Curso de Geografia Física da Universidade de São Paulo – USP, [alexss86@gmail.com](mailto:alexss86@gmail.com);

<sup>3</sup> Professor Orientador: Doutor, Universidade de São Paulo – USP, [juraross@usp.br](mailto:juraross@usp.br);



1954), apresenta particular interesse para este tipo de estudo. A crescente pressão antrópica sobre os sistemas naturais paulistas demanda ferramentas precisas e ágeis de avaliação ambiental, capazes de subsidiar decisões de planejamento territorial (ROSS, 2006).

Este trabalho propõe um modelo padronizado para geração automatizada do Índice de Dissecação, utilizando dados SRTM e ferramentas de SIG, com os seguintes objetivos específicos: (1) desenvolver um *workflow* científico reprodutível para cálculo do índice; (2) aplicar a metodologia em escala estadual; (3) validar os resultados com base em trabalhos de campo pré-existentes; e (4) discutir as potencialidades e limitações da abordagem automatizada.

## **METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)**

A metodologia desenvolvida neste trabalho foi implementada no ambiente *ArcGIS 10.3*, utilizando principalmente a ferramenta *ModelBuilder* para criação de um *workflow* científico completo. Os dados de entrada consistiram em:

1. Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado dos dados SRTM (FARR et al., 2007), com resolução espacial de 30 metros, pré-processado;
2. Limites oficiais das sub-bacias hidrográficas do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2013), na escala 1:50.000;
3. Dados auxiliares de hidrografia obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017).

O processo metodológico foi estruturado em quatro etapas principais:

### **Preparação dos Dados de Entrada**

Incluiu: reprojeção para SIRGAS 2000; correção de depressões no MDE utilizando a ferramenta *Fill*; criação de *buffer* de 2 km ao redor da área de estudo para garantir margem de segurança nos cálculos; e conversão dos limites de bacias para formato *raster* compatível.

### **Cálculo do Entalhamento do Relevo**

Seguiu o algoritmo proposto por Guimarães et al. (2017), com adaptações:

1. Inversão do MDE para cálculo de direção de fluxo (*Flow Direction*);
2. Identificação de áreas de acumulação (*Sink*);
3. Cálculo da diferença altimétrica entre interflúvios e talvegues;



4. Reclassificação conforme classes estabelecidas por Ross (1994).

### **Cálculo da Dimensão Interfluvial Média**

Implementou-se uma abordagem inovadora que:

1. Calcula distâncias euclidianas a partir dos divisores de água;
2. Identifica matematicamente os centros dos interflúvios;
3. Determina a amplitude média por bacia hidrográfica;
4. Classifica os resultados conforme parâmetros estabelecidos.

### **Geração do Índice de Dissecação**

Combinação linear dos resultados das etapas anteriores, conforme as matrizes de classificação propostas por Ross (1994) para Fragilidade Ambiental e Crepani et al. (1996) para Vulnerabilidade Ambiental. A validação dos resultados foi realizada através de comparação com trabalhos de campo pré-existentes em áreas-teste.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

O estudo do Índice de Dissecação do Relevo está fundamentado em três eixos teóricos principais:

### **1. Geomorfologia Clássica**

Baseia-se nas contribuições de Ross (1992, 1994, 2012) e Tricart (1977) sobre a relação entre formas de relevo e processos erosivos, com ênfase na compartimentação topográfica como indicador de fragilidade ambiental.

### **2. Geoprocessamento Aplicado**

Segue as proposições de Guimarães et al. (2017), Ross (1992, 1994, 2012) e Crepani et al. (1996, 2001) quanto à automatização de índices morfométricos, incorporando técnicas de análise espacial por SIG.

### **3. Modelagem Ambiental**

Alinha-se ao conceito de workflow científico, adaptando os princípios sistêmicos de Huggett (1975, 2007) para a geomorfologia aplicada. A abordagem permite a integração entre:

- Análises tradicionais de relevo
- Técnicas quantitativas de geoprocessamento
- Demandas contemporâneas de planejamento territorial



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da metodologia resultou em uma série de produtos cartográficos para todo o Estado de São Paulo (Figura 1), que revelam:

### **Padrões Espaciais de Entalhamento**

As áreas com maior entalhamento (valores  $>160$  m) concentram-se principalmente na Serra do Mar e em trechos da Serra da Mantiqueira, refletindo a atuação de processos erosivos intensos nestes setores. Valores intermediários (40-80 m) predominam nos planaltos cristalinos, enquanto as áreas com menor entalhamento ( $<20$  m) ocorrem principalmente nas depressões periféricas.

### **Distribuição da Dimensão Interfluvial**

Os maiores interflúvios ( $>3.750$  m) são característicos das áreas de planalto, enquanto valores reduzidos ( $<750$  m) predominam em setores dissecados próximos aos vales fluviais principais. Esta variável mostrou forte correlação com a densidade de drenagem (HORTON, 1945).

### **Índice de Dissecação Final**

A combinação das variáveis permitiu classificar o território paulista em cinco categorias de fragilidade/vulnerabilidade ambiental, variando de muito alta a muita baixa. Os resultados mostram boa correspondência com estudos anteriores (ROSS, 1994; CREPANI et al., 1996), validando a metodologia proposta.

### **Limitações e Potencialidades**

A abordagem mostrou-se particularmente eficaz para escalas regionais (1:100.000), com as seguintes vantagens:

- Padronização completa do processo
- Reprodutibilidade para outras áreas
- Redução significativa de tempo de processamento

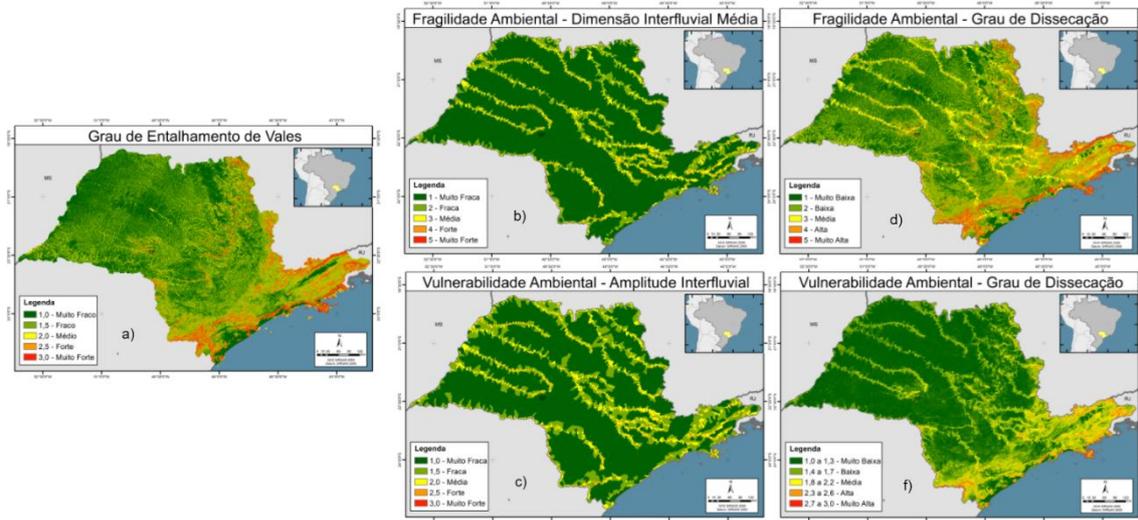
As principais limitações identificadas foram:

- Dependência da qualidade dos dados SRTM



## 15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

- Necessidade de ajustes para aplicação em escalas mais detalhadas
- Restrições na delimitação automática de bacias hidrográficas



**Figura 6:** (a) Entalhamento do Relevo; (b) Dimensão Interfluvial Fragilidade; (c) Amplitude Interfluvial Vulnerabilidade; (d) Grau de Dissecação do Relevo Fragilidade; (e) Grau de Dissecação do Relevo Vulnerabilidade. Elaborado pelo autor.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste modelo automatizado representa um avanço significativo para os estudos geomorfológicos aplicados, oferecendo:

1. Agilidade no processamento de grandes volumes de dados
2. Padronização metodológica para comparações temporais
3. Reprodutibilidade para outras regiões do país

Os resultados obtidos demonstram o potencial de integração entre:

- Geomorfologia clássica
- Geotecnologias avançadas
- Demandas de planejamento territorial

Como perspectivas futuras, destacam-se:

- Integração com técnicas de inteligência artificial
- Aplicação em outras unidades federativas
- Desenvolvimento de módulos para cálculo de outros índices morfométricos

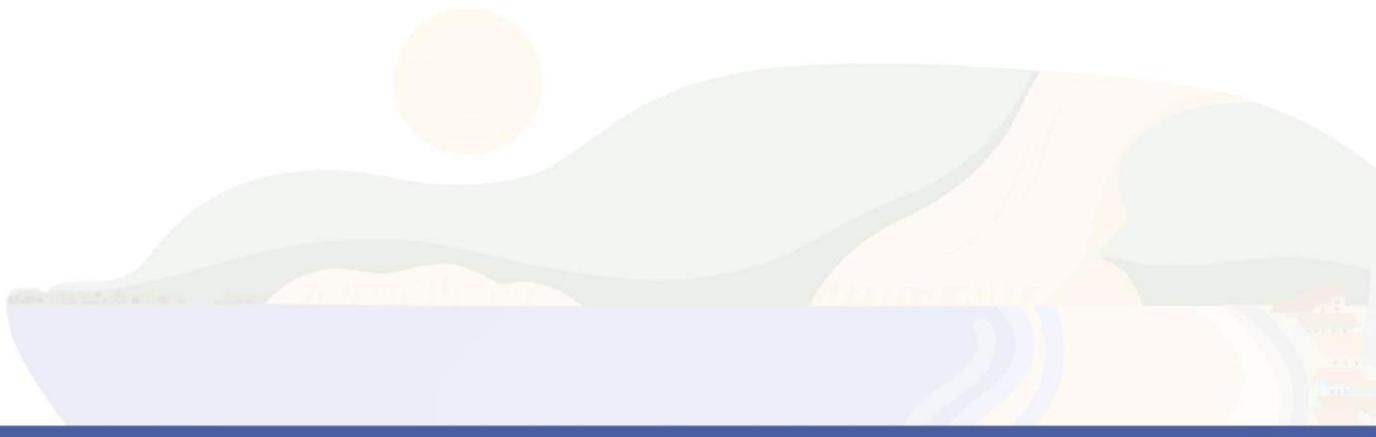


15º SIMPÓSIO NACIONAL DE  
**GEOMORFOLOGIA**

**Palavras-chave:** Índice de dissecação do relevo, workflow científico, modelagem ambiental, geoprocessamento, SRTM.

**AGRADECIMENTOS**

A CAPES pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.





## REFERÊNCIAS

- ANA (Agência Nacional de Águas).** Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas. 2017. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/>>.
- CREPANI, E. et al.** Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico. São José dos Campos: INPE, 2001.
- ESRI.** What is ModelBuilder? 2021. Disponível em: <<https://desktop.arcgis.com/>>.
- FARR, T. G. et al.** The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, v. 45, 2007.
- GUIMARÃES, F. S. et al.** Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 18, n. 1, p. 155-167, 2017.
- HORTON, R. E.** Erosional development of streams and their drainage basins. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 56, p. 275-370, 1945.
- HUGGETT, R. J.** *Systems Analysis in Geography*. Oxford: Clarendon Press, 1980.
- ROSS, J. L. S.** Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 8, p. 63-74, 1994.
- ROSS, J. L. S.** *Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- SÃO PAULO.** Limite das Sub-Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente, 2013.
- SOUSA, A. S.** *Workflow científico aplicado à modelos ambientais: automatização das classificações ecodinâmicas e análise espaço-temporal*. Tese (Doutorado) – DG/FFLCH/USP, São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-18022025-121027/pt-br.php>.
- TRICART, J.** *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.