

# CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA PARA ANÁLISE DA DISPERSÃO NATURAL DE RADIONUCLÍDEOS POR PROCESSOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS NO ENTORNO DA MINERALIZAÇÃO FÓSFORO-URANÍFERA DE ITATAIA - CE

Rosa Maria Ramos Maranhão  
Maria Valdete Lira  
Cecílio Aguiar Rosa Junior  
Cynthia Romariz Duarte  
José Antônio Beltrão Sabadia

Universidade Federal do Ceará-UFC  
Pós-Graduação em Geologia  
Av. Humberto Monte s/n, Bloco 912, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil  
{rosamaranhao, valdetelira, beltrao.sabadia}@gmail.com, geo.cecilio@yahoo.com.br,  
cynthia.duarte@ufc.br

## ABSTRACT

The chemical element uranium is a mineral of high economic value, with high solubility, facilitating its dispersion in the environment. The solubility of uranium is related to their tendency to oxidize in  $U^{6+}$  ions and their natural mobilization in the environment occurs through the rock weathering, by the action of water that act as powerful agents in mobilizing metal ions. Thus the laminar erosion, very common in semiarid environments due to the type of drainage, is responsible for the radioactive material entrainment. The occurrence of uranium deposit area with dissected relief enhances the dispersion of radionuclides. The geomorphological analysis is applied for the recognition and monitoring of unstable environments and stands as basic studies geomorphological mapping. The recognition of terrain features is important to determine the stability of the environment and the use of geotechnology aided by geomorphological mapping, facilitate the exploitation of spatial information, to research and becoming an important tool for the management and monitoring of uses and natural resources. This study presents the application of GIS techniques in recognition of the characteristics of the river basin where is located the match-uranífera deposit of Itataia, Ceará, Brazil, in order to monitor areas susceptible to natural contamination.

**Palavras-chave:** urânio, dispersão, cartografia geomorfológica, gestão ambiental.

## 1. Introdução

O uso da cartografia geomorfológica por meio dos critérios de classificação morfológica das unidades de relevo como a altitude, declividade, orientação de vertentes, densidade de drenagem, formas de topos, vertentes, vales e processos morfodinâmicos, e a compreensão da morfologia são importantes para o planejamento ambiental, pois permitem identificar e compreender o comportamento do relevo quanto às condições naturais de carreamento de materiais (FLORENZANO, 2008).

O reconhecimento das feições do terreno é importante para determinar a estabilidade dos ambientes e o uso de geotecnologias, auxiliado pela cartografia geomorfológica, tem facilitado a exploração de informações espaciais, colaborado com as pesquisas, tornando-se um importante instrumento de gestão e monitoramento de usos e de recursos naturais (SILVA *et al.*, 2011). Com a utilização de imagens de sensoriamento remoto e inovações dos sistemas de informações geográficas (SIGs), é possível visualizar o espaço geográfico em três dimensões X, Y e Z, o que é de grande importância para análise do relevo.

A caracterização de uma bacia hidrográfica pode ser obtido através da extração de variáveis morfométricas dos modelos digitais de elevação (MDE), com a aplicação de algoritmos nas etapas do processamento são criados vários planos de informação, em novas

imagens raster ou dados vetoriais, apresentando o perímetro da bacia e das sub bacias, as áreas de acumulação e direção do fluxo, entre outras informações sobre a drenagem, servindo de instrumento de apoio a gestão e monitoramento ambiental (OLIVEIRA *et al.*, 2014; PAZ & COLLISCHONN, 2008; MARINO *et al.*, 2012; SENA-SOUZA *et al.*, 2013; REHBEIN e ROSS, 2012; SANTOS *et al.*, 2002).

O risco de contaminação ambiental natural por minérios portadores de radionuclídeos está presente no entorno das jazidas uraníferas, representando um tipo relevante dentre os desastres naturais e, quando estes depósitos estão localizados em áreas de encosta, é possível relacionar sua dispersão com as condições do relevo.

## 2. Caracterização da área de estudo

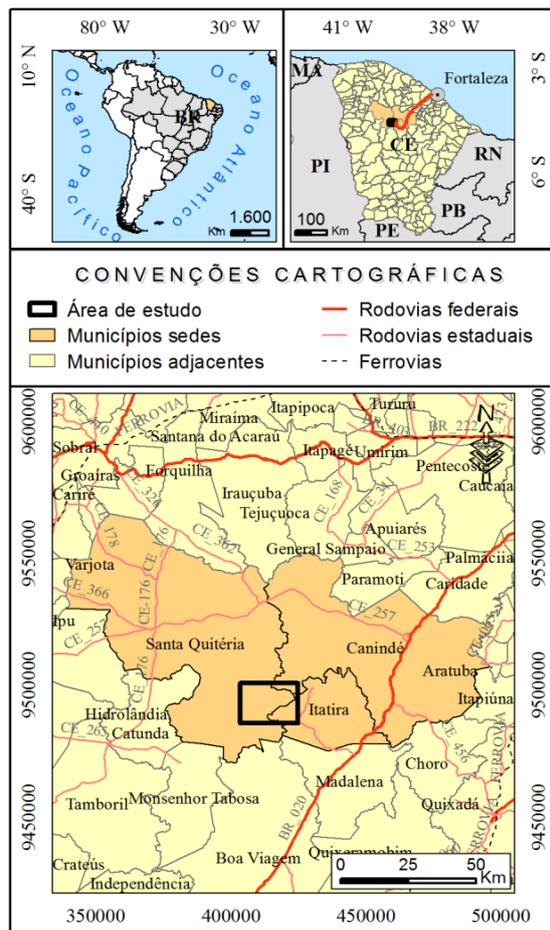


Figura 1. Área de estudo

A geomorfologia regional da área de interesse está representada por duas grandes unidades morfológicas, a Depressão Sertaneja e os Planaltos Residuais. Os planaltos residuais representam compartimentos de níveis mais elevados da área, com altitudes de 650 a 1.000 metros, correspondendo aos maciços montanhosos das serras do Céu, das Cacimbas, da Mata Fome e das Laranjeiras, sendo que a serra do Céu é o acidente topográfico correspondente ao divisor d'água das bacias hidrográficas dos rios Curu e Groaíras (MENDONÇA *et al.*, 1980).

## 3. Materiais e Métodos

Esta pesquisa foi construída a partir de modelo digital de elevação do SRTM 1Arc Second Global com resolução de 30m no terreno, disponibilizado através do portal

A jazida de fósforo-uranífera de Itaitaia, uma das maiores reservas do país, apresentando 142.500 t de  $U_3O_8$ , está inserida no município de Santa Quitéria, centro-norte do Estado do Ceará (Figura 1).

A litologia é composta essencialmente por migmatíticos, quartizítica e gnáissicas sendo capeadas por metacalcários cristalinos que corresponde aos mármore cristalinos e calcissilicáticas, a qual está associada a principal mineralização fósforo-uranífera da jazida de Itaitaia (MENDONÇA *et al.*, 1983).

O clima é típico do semiárido, com temperaturas elevadas com média anual de 27 °C, mínima de 21,5°C e máxima de 33 °C. A vegetação de caatinga é do tipo arbórea e arbustiva densa que é característica por esse tipo de clima. A drenagem é do tipo dentríticas que é caracterizada por rios principais e com o tipo de drenagem endorréica e seus afluentes que alimentam um rio maiores que alimentam a bacia do rio Groaíras (PIRES, 2012).

*Earth Explorer* do *U.S. Geological Survey* (USGS), onde é possível ter acesso a diversos dados, a partir de seleção de cena para *download* gratuito. Para esse estudo a região de interesse foi criada a partir da cena s05W040v3, que abrange parte do município de Santa Quitéria/CE.

O *software* ArcGIS, versão 10.3.1, utilizado neste trabalho, foi desenvolvido pela *ESRI*, onde inicialmente a imagem SRTM foi recortada e reprojetada para Datum SIRGAS 2000 e Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM. Posteriormente a fim de gerar os modelos de elevação empregados, o tratamento preliminar da imagem e extração das informações sobre a forma do terreno e vales de acumulação (drenagem), bem como o recorte da área de estudo, e integração das informações para gerar um cenário das condições ambientais relativas a mobilização de radionuclídeos no ambiente. A seguir, empregou-se o módulo *Spatial Analyst Tools* por meio do algoritmo *Hydrology*, para a análise do fluxo superficial de drenagem. O preenchimento de eventuais vazios do modelo SRTM e a correção de possíveis imperfeições são essenciais para a compreensão dos tipos de modelados, e que são identificados por meio da direção do fluxo de drenagem e seu (*Flow Direction, Fill, Sink, Flow Accumulation, Flow Length, Con, Stream To Feature* e *Resample*).

O uso do *Fill* é para preencher os vazios e imperfeições que a imagem SRTM venham a possuir (a). O *Flow Direction* irá determinar a direção de cada fluxo por célula, sendo importante pois é onde será calculado as áreas de maior declividade, ou seja, onde indicará a direção da drenagem (b). O *Sink* cria um novo raster com todas as depressões, assim como os vazios, as drenagens internas e erros do SRTM (c) (Figura 2).

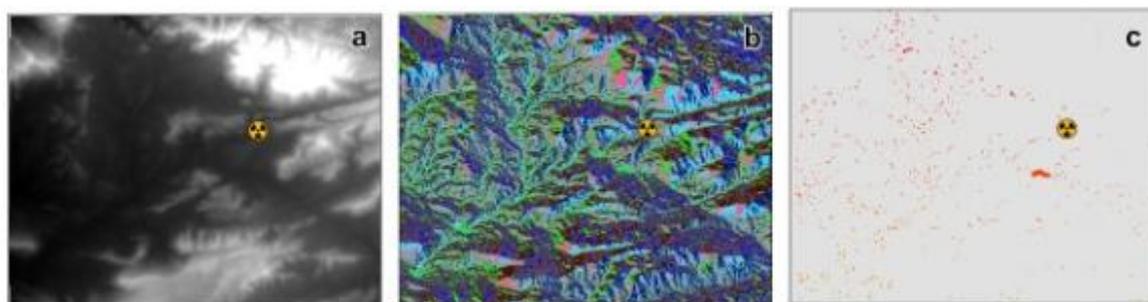


Figura 2. Processamento por meio do *Fill* (a), *Flow Direction* (b) e *Sink* (c) para as correções e preenchimentos das imperfeições do SRTM. O símbolo da radioatividade aponta a posição da jazida.

Enquanto o *Flow Accumulation* tem como objetivo determina a acumulação por meio do fluxo de drenagem, levando em consideração a declividade, indica a áreas de saturação que influenciam no escoamento superficial, assim como nos movimentos de massa (d). O *Flow Length* calcula a direção do fluxo de drenagem dentro da bacia hidrográfica para cada partícula até uma depressão por meio do *Downstream* que indica a distância do declive ao longo do fluxo ou o *Upstream* calcula a maior distância do aclave ao longo do fluxo (e). O *Con* corresponde a criação de uma raster com a drenagem, por meio de uma condição, para determinar o limiar e filtrando apenas os *pixels* desejados determinando assim a ordem da drenagem, e para classificar a ordem deve ser por meio dos algoritmos *Strahler* e *Shreve*, onde o primeiro corresponde a hierarquização com os rios de 1ª ordem, já o *Shreve* calcula a hierarquização por meio dos rios de 2ª ordem (f) (Figura 3).

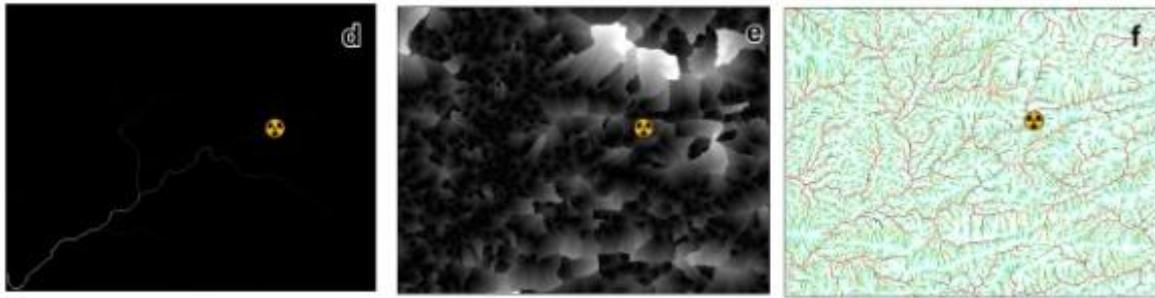


Figura 3. Identificação das drenagens por meio da acumulação (d), direção das partículas (e) e ordem dos rios (f).

O *Stream To Feacture* foi utilizado para converter o raster em vetor (g). Para a delimitação da bacia hidrográfica foi através do *Basin* será possível indicar todas as sub bacias que compõem a bacia hidrográfica maior. Através do algoritmo *Resample* é possível definir o tamanho das flechas que indicarão a direção do fluxo através de pontos (h), determinando o número de classes que corresponderão ao número de direção das flechas por meio de ângulos (i), e por meio da direção e do MDT é possível identificar a direção do fluxo de drenagem na área de estudo (Figura 4).

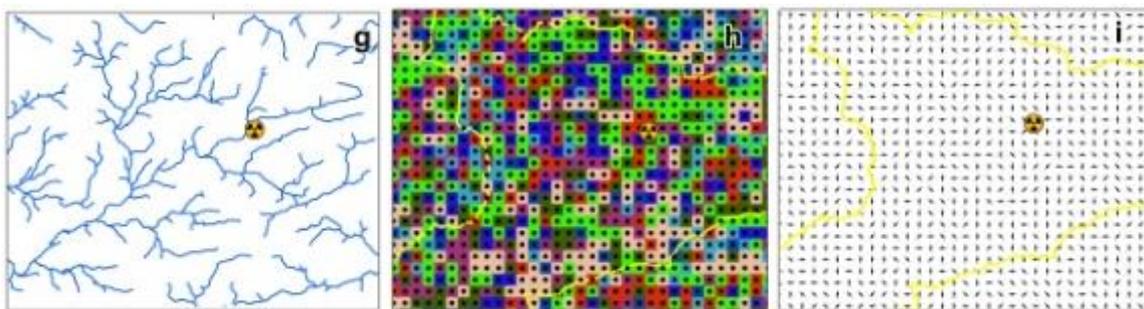


Figura 4. Delimitação da drenagem (g), direção dos fluxos (h) e bacia hidrográfica e os ângulos da direção dos fluxos (i).

Foram elaborados alguns perfis topográficos no ArcGIS (Figura 5), através da criação de *shp* de linhas referente aos transectos com direção dos recortes e, posteriormente, interpolados com a imagem SRTM corrigida, através da ferramenta *Interpolate Shape*, sendo gerado um novo plano de informação, onde é possível realizar todo o processo de criação de perfis, por meio da barra *3D Analyst*, em *3D Analyst Layer*, adicionando a imagem corrigida, individualmente as novas linhas são selecionadas e processo de criação de perfis é realizado em *Profile Graph*, partindo da análise do relevo e dos processos de direção de fluxo de drenagem realizados no *Hydrology* foi possível identificar os principais processos atuantes para a modelação deste relevo.

#### 4. Resultados e Discussão

A partir dos dados e técnicas empregados na metodologia foi possível determinar as drenagens e direção dos fluxos, e junto com o perfil topográfico é relacionar os processos geomorfológicos e fluviais com os dos materiais oriundos das vertentes íngremes, como é o caso do serrote onde está localizada a mina com o carreamento de elementos radioativos procedentes da Jazida de Fósforo-Uranífera de Itataia,

O Perfil A o recorte corresponde SW/NE a aproximadamente cerca de 2 km da mina, em uma região onde o relevo é movimentado, sendo as vertentes talhadas pelos processos geomorfológicos, e os vales pelos processos fluviais. O Perfil B é o recorte N/S a W da mina, a região corresponde a um anfiteatro erosivo que foi alargado pela atuação simultânea de processos geomorfológicos e fluviais. O Perfil C equivale ao recorte N/S, está a W e cerca 5

de 5 km da mina, com dissecada por diversos vales fluviais. O Perfil D corresponde ao recorte E/W, passando em cima da vertente em que está localizada a mina, onde é possível que o principal agente atuante na elaboração do relevo são os processos intempéricos e erosivos, com pouco destaque para os processos fluviais e o Perfil E que corresponde ao recorte SW/NE da área de estudo, não cruza a vertente onde está localizada a mina, é possível ver diversas vertentes bastantes íngremes rodeadas por depressões e vales fluviais.

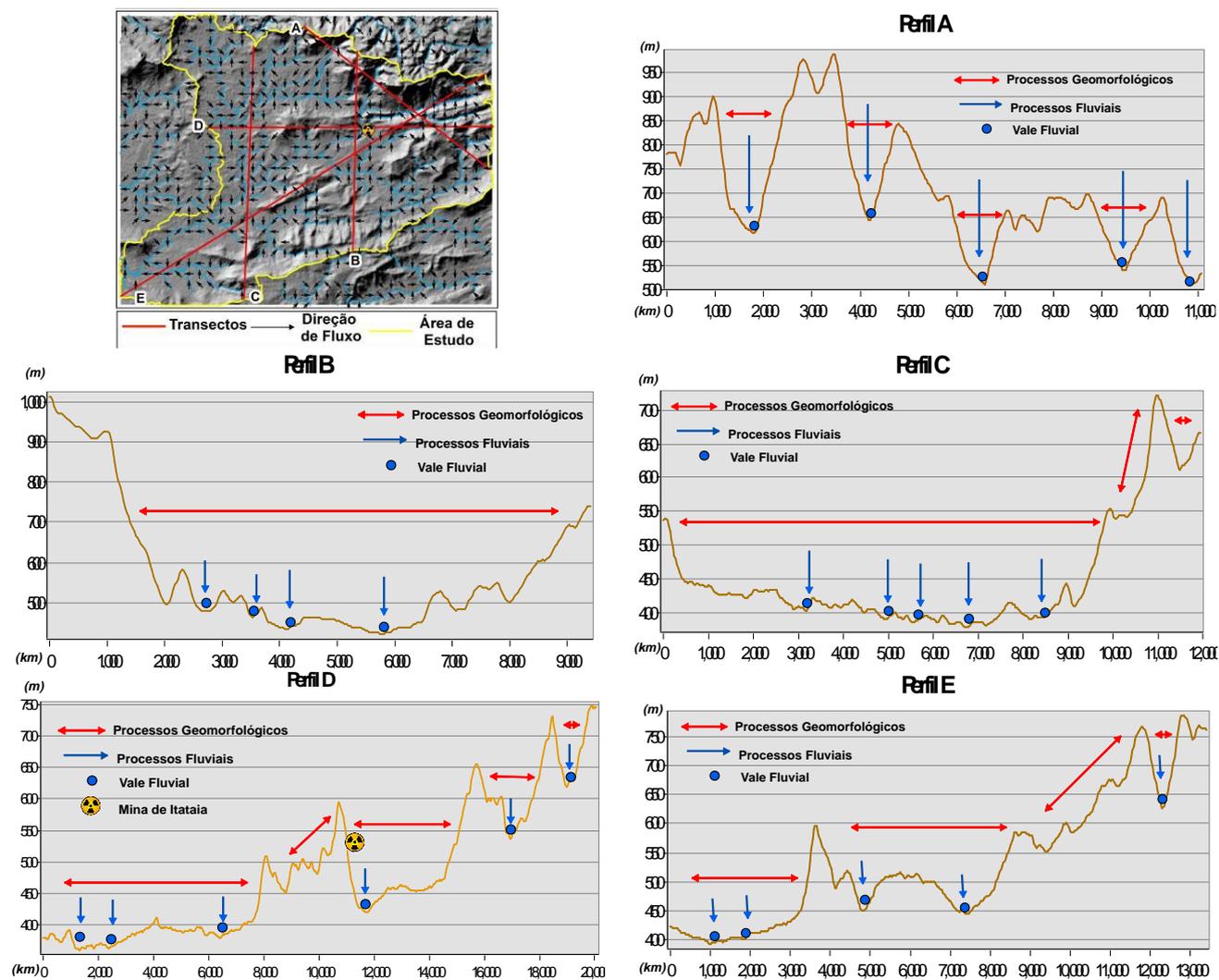


Figura 5. Área de estudo com os transectos dos Perfis Topográficos (a, b, c, d, e) com indicação dos principais processos modeladores do relevo.

Os mecanismos atuantes para a modelagem do relevo em regiões semi-áridas estão relacionados à distribuição dos processos intempéricos físicos relacionados a variação de temperaturas diárias, ou seja, a amplitude térmica, e aos processos erosivos vinculados aos processos fluviais. Em áreas de cotas altimétricas elevadas o relevo apresenta em sua vertente a curvatura vertical de caráter convexo ou côncavo do terreno, está associada aos processos intempéricos, erosivos e de acumulação (VALERIANO, 2003), sendo que a curvatura vertical do relevo influencia diretamente nas condições naturais de transporte como a água, os minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade.

A mobilidade de materiais ao longo das vertentes está associada as condições naturais do ambiente, sendo que o principal elemento que atua na transposição de materiais das vertentes é o fluxo pluvial, que durante o inverno, aliado aos processos erosivos desencadeados por

ação de rios e de ventos, transportam materiais de diversos tipos até o nível de base geral, que pode ser um rio ou ainda um açude.

O carreamento de materiais está associado as condições morfológicas da vertente, e que pode se espalhar naturalmente através da calha dos rios e riachos dispersando os radionuclídeos que escorrem e em parte se infiltram no terreno fraturado e em alvéolos sedimentares a jusante, juntamente com o fluxo de água que mobiliza os radionuclídeos (LEMOS, 2013; MARINO *et al.*, 2012; ESCOBAR *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2002; VIANA, 2010).

Como parte do contexto litológico e geológico, a ocorrência de urânio de grandes proporções, em seu estado natural, a radioatividade é liberada no ambiente e certamente a proximidade de cursos d'água e nascentes, favorecem a lixiviação e transporte das matérias e, conseqüentemente sua deposição em porções mais baixas da bacia hidrográfica. O transporte de elementos radioativos é o fator preponderante relativo a contaminação ambiental e seus impactos ambientais negativos, uma vez que expõe essas áreas à possibilidade de contaminação natural dos solos e da água, com influência direta na saúde da população.

## 5. Considerações finais

A partir dos resultados desse estudo pode-se concluir que a utilização de modelos digitais de elevação SRTM para a delimitação de bacias, direção de fluxo e perfil topográfico, mostrou resultados interessantes, quanto aos processos geomorfológicos no transporte de materiais e como estes se comportam ao longo de vertentes.

É possível ampliar as aplicações do uso de SIGs e modelagem computacional a partir dos produtos de sensoriamento remoto de media resolução espacial, em virtude da facilidade de aquisição e de extração de informações, que integradas servem de subsídio ao monitoramento ambiental e análise de risco.

O risco de dispersão de matérias radioativos, oriundos da mineração na jazida de Itataia na área está associada as condições do relevo por meio da ação erosiva da água, o embasamento cristalino é mais resistente, entretanto as encostas podem mobilizar materiais sob condições de chuva intensa e concentrada e que são transportadas naturalmente ao longo de algum fluxo d'água.

Com o uso de dados de SRTM, foi possível identificar a drenagem, a delimitação da bacia, direção do fluxo e os perfis topográficos, onde é possível identificar, os principais processos de elaboração de paisagem atuantes na área de estudo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao IBAMA pelo acesso ao EIA/RIMA e à CAPES e à CNEN pelo apoio financeiro da pesquisa.

## Referencias

ESCOBAR, D. V.; NECKEL, A.; MARQUES, S. Identificação das áreas que apresentam riscos geomorfológicos para a população da cidade de Marau/RS. **Anais** in: IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Salvador/BA – 25 a 28/11/2013.

FLORENZANO, T. G. Cartografia. In: FLORENZANO, T. G (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 320 p.

LEMOS, A. C. C. A utilização de dados geológicos e geomorfológicos na identificação de áreas suscetíveis a desastres naturais. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Paranhana/RS. Vol 7 (2). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRS. Porto Alegre, RS, Brasil. 2013. p. 11-18.

MARINO, T. B.; SILVA, J. X. da; QUINTANILHA, J. A. Metodologia para tomada de decisão no âmbito de riscos socioambientais em áreas urbanas: desmoronamentos e enchentes em assentamentos precários na bacia do Córrego Cabuçu de Baixo - SP. Revista Brasileira de Cartografia. No 64/1. 2012. p. 83-101. Disponível <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php?journal=rbc&page=article&op=view&path%5B%5D=427>. Acesso 01 de nov. 2012.

MENDONÇA, J. C. G. S.; BRAGA, A. P. G.; CAMPOS, M. Consideração sobre a mineralização fósforo-uranífera da jazida de Itataia. **Anais**: 31º Congresso Brasileira de Geologia, v. 4, 1980. p. 2472-2486.

MENDONÇA, J. C. G. S.; BRAGA, A. P. G.; NETTO, R. N.; SILVA, R. J. A. Mapa geológico da região de Itataia. NUCLEBRÁS. 1983.

OLIVEIRA, R. M. de; FRANCHINI, R. A. L.; IESCHECK, A. L., ZOUAIN, R. N. A.. Métodos de identificação do divisor de drenagens entre o Arroio Chuí e o Arroio Pastoreio, região sul do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Cartografia. N.66/5, 2014. Disponível <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php?journal=rbc&page=article&op=view&path%5B%5D=679>>. Acesso em 01 nov. 2016.

PAZ, A. R.; e COLLISCHONN, W. Extração de rede de drenagem a partir de dados do SRTM. Revista Geográfica Acadêmica v.2 n.2. 2008. p. 84-95.

PIRES, F. R. M. Urânio no Brasil: geologia, jazidas e ocorrências. 2012. INB, Rio de Janeiro, RJ. Disponível <[https://www.academia.edu/7828249/Ur%C3%A2nio\\_no\\_Brasil\\_Geologia\\_Jazidas\\_e\\_Ocorr%C3%A2ncia](https://www.academia.edu/7828249/Ur%C3%A2nio_no_Brasil_Geologia_Jazidas_e_Ocorr%C3%A2ncia)>. Acesso em 15 mai. 2016.

REHBEIN, M. O; ROSS, J. L. S. Cartografia das unidades de relevo e de vertentes da bacia hidrográfica do arroio Feijó/ RS. **Anais**: IX SINAGEO - Geotecnologias e mapeamento geomorfológico, Rio de Janeiro, RJ. 2012.

SANTOS, A. C. dos; SALCEDO, I. H.; CANDEIAS, A. L. B. Relação entre o relevo e as classes texturais do solo na Microbacia Hidrográfica de Vaca Brava, PB. Revista Brasileira de Cartografia N° 54, 2002.

SENA-SOUZA, J. P.; MARTINS, E. de S.; COUTO JUNIOR, A. F.; REATTO, A., VASCONCELOS, V.; GOMES, M. P., REIS, A. M.; SILVA, V. P. da. Utilização de variáveis morfométricas para a subdivisão de bacia hidrográfica no Cerrado. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013, INPE. Disponível: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0450.pdf>> Acesso em 15 mai. 2016.

SILVA, J. S.; LEITE, E. P. F., SILVA, G. M. Extração de atributos hidrológicos de bacias hidrográficas utilizando geotecnologias livres. **Anais**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011. Disponível < <http://marte.dpi.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte/2011/06.29.13.17?mirror=urllib.net/www/2011/03.29.20.55&metadataarepository=dpi.inpe.br/marte/2011/06.29.13.17.34>> Acesso em 16 ago. 2016.

VALERIANO, M. de M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.539-546, 2003. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. Disponível <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n3/v7n3a22.pdf>>. Acesso em 16 ago. 2016.

VIANA, D. B. Avaliação de riscos ambientais em áreas contaminadas: uma proposta metodológica. Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Engenharia em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010. Disponível <[http://www.getres.ufrj.br/pdf/daniel\\_viana.pdf](http://www.getres.ufrj.br/pdf/daniel_viana.pdf)>. Acesso em 16 ago. 2016.