

Modelagem morfométrica e imagens QuickBird aplicadas a susceptibilidade a deslizamentos de encostas no bairro Coroadinho – São Luís, MA

Mariana Monteles da Silva¹
Cláudio José da Silva de Sousa²
Karina Suzana Pinheiro Costa³

^{1,2,3} Universidade Estadual do Maranhão - UEMA
Cidade Universitária Paulo VI – Caixa Postal 09 – São Luís - MA, Brasil
{mariana, claudio, karina}@cecen.uema.br

Abstract. This study make a analysis about the susceptibility to landslides in the neighborhood of Coroadinho from the modeling of morphometric variables and high spatial resolution QuickBird images. Were realized bibliographic and cartographic analysis, workplace organization using the program SPRING, version 4.2, maps of slope, altimetric amplitude and length of ramp; application of Boolean algebra to obtain the susceptibility to landslides; validation of susceptibility map from linear features extracted from the QuickBird image. It's common, in the study area, of medium to strong susceptibilities according to the susceptibility to landslides map. Are characterized by low and medium slopes, mean altimetric amplitudes and short ramps. The slopes forms, geology, climate and anthropogenic activities are factors can too explain the slippages in the study area. By analyzing the results it was concluded that the susceptibility to landslides map in Coroadinho proved effective, providing the knowledge of the morphometric variables facing the phenomenon of landslides. Therefore, studies of susceptibility to landslides are important because helps the government to prevent possible problems in the areas already occupied or under occupation.

Palavras-chave: morphometric variables, landslides, Coroadinho/MA

1. Introdução

O relevo está relacionado ao antagonismo entre os agentes endógenos e exógenos, e destes últimos pode-se destacar os movimentos de massa. Na superfície terrestre predominam as formas de relevo denominadas encostas ou vertentes. Dylik (1968, apud CASSETI, 1994), ressalta que “no sentido morfogenético, corresponde à parte das formas do terreno que são modeladas pelos processos de denudação, ou seja, pelos movimentos de massa e pelo escoamento, tanto no presente como no passado”. Desta forma, a encosta é considerada o elemento espacial de análise dos movimentos de massa.

A deflagração desses movimentos pode estar condicionada a fatores físicos predisponentes, bem como a fatores sócio-comportamentais, o que promove a preocupação da sociedade e dos meios científicos devido à sua grande incidência nos centros urbanos. Uma das conseqüências mais expressivas desses processos refere-se às perdas humanas, além dos danos e perdas de ordem ambiental, social e econômica.

São Luís, assim como diversas cidades brasileiras¹, convive com tal problemática, principalmente, onde se concentra uma elevada parcela da população, em sua maioria, de baixa renda, e cuja ocupação deu-se de forma irregular, do ponto de vista técnico e de gestão política. A exemplo disso tem-se o bairro do Coroadinho, na porção sudoeste da Ilha do Maranhão.

Atualmente, uma das ferramentas mais utilizadas na análise dos movimentos de massa são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). As possibilidades oferecidas por algoritmos existentes em SIG permitem a modelagem da susceptibilidade a partir do cálculo de índices morfométricos e o cruzamento de dados de diversas escalas e fontes, tornando possível a

¹ Rio de Janeiro (RJ), Petrópolis (RJ), Paraty (RJ), Angra dos Reis (RJ), São Sebastião (SP), Cubatão (SP), Caraguatuba (SP), Florianópolis (SC), Recife (PE), Salvador (BA), Manhuaçu (MG), entre outros.

automatização da produção de bases cartográficas. Também são utilizados em diversos setores da sociedade, como um instrumento para mapear e indicar respostas às questões concernentes ao planejamento urbano e rural.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo geral *analisar a susceptibilidade a deslizamentos de encostas no bairro do Coroadinho, através da modelagem de variáveis morfológicas e de imagens orbitais de alta resolução espacial do satélite QuickBird.*

2. Metodologia

A área de estudo destinada à análise da susceptibilidade a deslizamentos de encosta foi o bairro Coroadinho, zona periférica do município de São Luís, MA. Este bairro foi eleito por tratar-se de uma área de ocupação irregular com registro de deslizamentos, os quais já promoveram perdas humanas e danos materiais à população local.

Na realização do trabalho utilizou-se a carta preliminar da DSG/ME – MINTER, folha 23 (São Luís), escala 1:10.000, 1980, adquirida através do site do Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão (MIRANDA, 2000) e imagens do satélite QuikBird, de 27/06/2007, referentes as bandas espectrais do azul, verde e vermelho, cedidas gentilmente pela Empresa Novaterra Geoprocessamento. A data foi eleita em função da baixa cobertura de nuvens.

No Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), v. 4.2, Windows, foi definido o banco de dados Coroadinho, no qual foi criado o projeto Áreas de Risco, cujo retângulo envolvente correspondeu às longitudes 44° 16' 49" 34 W e 44° 15' 12,14" W e latitudes: 2° 34' 41, 71 S e 2° 33' 3,96 "S. Em seguida, foram definidas as categorias do modelo de dados inicial.

Foram digitalizados os dados concernentes ao sistema de drenagem, curvas de nível com equidistância de 5m e pontos cotados (cotas altimétricas), através da edição topológica do Spring. A partir das curvas de nível, pontos cotados e empregando o sistema de drenagem como linhas de quebra, foi gerada uma grade irregular triangular (TIN), por meio da triangulação de Delaunay (NAMIKAWA, 1995).

A partir da TIN, gerou-se uma grade regular de altimetria, com resolução de 5m, aplicando-se o interpolador linear, que foi utilizada no cálculo da declividade em porcentagem, cujos valores foram estruturados sob a forma de uma grade regular com a mesma resolução dos dados de entrada. Os valores foram agrupados em intervalos de classes, através da operação de Fatiamento (FELGUEIRAS, 2006).

Diante das várias classificações de declividades observadas na literatura, foram testados os limiares propostos por Silva (2010), Florenzano (2008) e EMBRAPA (1979), listados na Tabela 1. Em seguida, optou-se por aqueles intervalos de classes que melhor capturaram as variações de relevo presentes na área de estudo.

Tabela 1: Classes de declividades.

DECLIVIDADE	SILVA (2010)	FLORENZANO (2008)	EMBRAPA (1979)
Muito fraca	0 a 2%	0 a 2%	0 a 3%
Fraca	2 a 6%	2 a 6%	3 a 8%
Média	6 a 12%	6 a 20%	8 a 20%
Forte	12 a 20%	20 a 50%	20 a 45%
Muito forte	20 a 45%	> 50%	> 45%

Para criação do mapa de amplitude altimétrica foi empregado o operador faixa zonal, implementado na Linguagem Especial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), do Spring. Para a definição das zonas, criou-se uma matriz (15 x 15), perfazendo um total de 225 células, com uma resolução espacial de 200m. Através do operador *espacialize*, os valores de amplitude altimétrica, foram espacializados, segundo uma grade regular com 200m de

resolução. Esta grade foi refinada para 5m, visando uniformizar à equidistância das curvas de nível da carta planialtimétrica.

Os valores de amplitude altimétrica foram organizados segundo um histograma no Spring, que foi dividido em cinco classes, a saber: muito fraca (0 a 5,8m), fraca (5,8 a 12,6m), média (12,6 a 19,4m), forte (19,4 a 26,2m) e muito forte (26,2 a 33m). Isso permitiu criar o mapa temático de amplitude altimétrica.

Para o cálculo do comprimento de rampa foram empregados os PI's de amplitude altimétrica e de declividade, cujos cálculos foram realizados através da edição do programa *Comprimento de rampa*, na linguagem Legal/Spring. Os valores foram armazenados em uma grade regular com resolução espacial de 5m. Posteriormente, esses valores foram refinados para uma resolução de 0,60m, empregando o interpolador Bicúbico, do Spring. Este procedimento de reamostragem foi realizado para que a grade regular apresentasse a mesma resolução espacial da imagem QuickBird. Em seguida, os valores de comprimento de rampa foram agrupados segundo intervalos de classes que tiveram como limites inferior 0 e superior 1000m, e passo 100m. Por meio do fatiamento dos valores foi gerado o mapa temático de comprimento de rampa.

Em seguida realizou-se a análise e interpretação da imagem QuickBird, em que foram observadas as principais cicatrizes de deslizamentos presentes da área de estudo. Delas, foram delimitadas feições lineares correspondentes à cornija, localizada na porção superior da encosta, e criada uma faixa de 5m de distância, no entorno das mesmas. Essa faixa foi definida para que fossem verificadas as classes de declividade, amplitude altimétrica e comprimento de rampa mais freqüentes em seu interior.

Através da álgebra booleana, as classes de declividade foram cruzadas com as de amplitude altimétrica. Do cruzamento, foram geradas 25 classes organizadas segundo o modelo proposto na Figura 1, tendo com referencial aquela proposto por Ross (2003), para a dissecação do relevo. No modelo proposto, a dimensão interfluvial média foi substituída pela declividade. Nesta matriz, os índices 11 e 55 representam as classes com menor e maior susceptibilidade a deslizamentos, respectivamente. Ainda, procedeu-se a tabulação cruzada das classes de susceptibilidade com as de comprimento de rampa, cujos resultados foram organizados em gráficos no Excel.

DECLIVIDADE (Velocidade)	MUITO FRACA (255)	FRACA (204)	MÉDIA (153)	FORTE (102)	MUITO FORTE (51)
AMPLITUDE (Potencial)					
MUITO FRACA (51)	 11	 12	 13	 14	 15
FRACA (102)	 21	 22	 23	 24	 25
MÉDIA (153)	 31	 32	 33	 34	 35
FORTE (204)	 41	 42	 43	 44	 45
MUITO FORTE (255)	 51	 52	 53	 54	 55

Figura 1: Matriz de níveis de susceptibilidade a deslizamentos.

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise dos Índices Morfométricos

Dos intervalos de classes de declividades testados, os que melhor capturam as variações do relevo da área de estudo são aqueles sugeridos por Silva (2010). No entanto, valores acima de 45% não foram classificados. Em vista disso, a classe de 20 a 45% foi estendida para 20 a 70%. O limite superior do intervalo foi estabelecido através da visualização dos valores não classificados, em que foram observadas declividades de até 65%. As classes de declividades ficaram assim distribuídas:

Tabela 2: Classes de declividades propostas para o bairro do Coroadinho.

DECLIVIDADE	CLASSES ADAPTADAS DE SILVA (2010)
Muito fraca	0 a 2%
Fraca	2 a 6%
Média	6 a 12%
Forte	12 a 20%
Muito forte	20 a 70%

Segundo análise do Gráfico 1, as classes que apresentam maior distribuição na área são de 2 a 6%, ocupando uma área de 2,59km²; de 0 a 2%, com 2,26km² e de 6 a 12%, com área de abrangência de 1,99km². Desta forma, pode-se observar que o relevo do Coroadinho apresenta-se plano a ondulado. As declividades baixas representam as planícies fluviais e flúvio-marinhas, também ocorrendo em topos de morros e nos baixos tabuleiros. Algumas áreas íngremes também podem ser verificadas, principalmente nas proximidades de alguns interflúvios. Estas áreas correspondem às classes de 12 a 20% e de 20 a 70%, perfazendo um total de 1,90km².

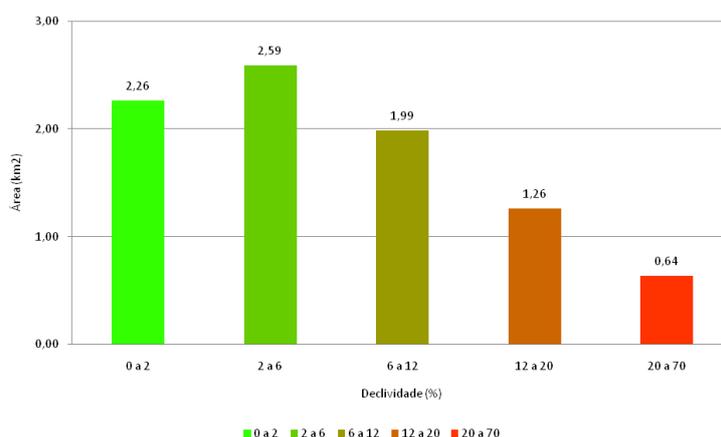


Gráfico 1: Distribuição das classes de declividade propostas.

Visando elaborar um modelo que viesse caracterizar as áreas susceptíveis a deslizamentos, baseado na matriz de dissecação do relevo, as classes de amplitude foram agrupadas em cinco intervalos, tal como explanado na metodologia. Dessas classes, as de 12,6 a 19,4m (0,90km²) e de 19,4 a 26,2m (0,71km²) são as mais frequentes, conforme constatado no Gráfico 2, confirmando que na área de estudo predominam as amplitudes médias.

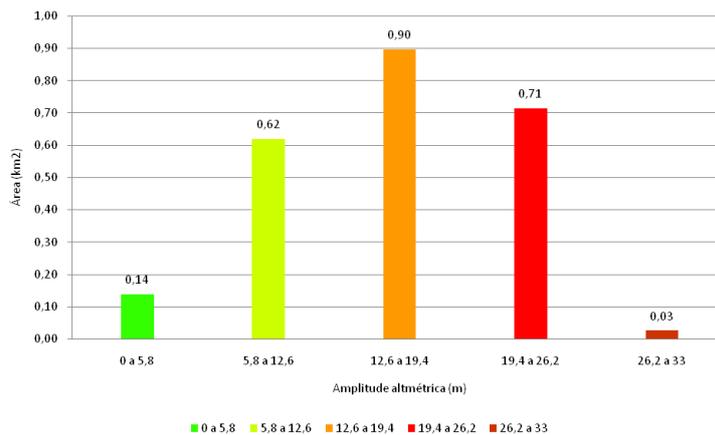


Gráfico 2: Distribuição das classes de amplitude altimétrica com valores agrupados em cinco classes do Coroadinho.

As classes de comprimento de rampa mais frequentes na área de estudo são aquelas compreendidas entre 100 a 200m (0,67km²), 200 a 300m(0,5km²) e 300 a 400m (0,32km²) (Gráfico 3). Essas classes encontram-se no entorno dos divisores, onde as declividades são mais acentuadas, portanto, de maior potencial a deflagração dos deslizamentos.

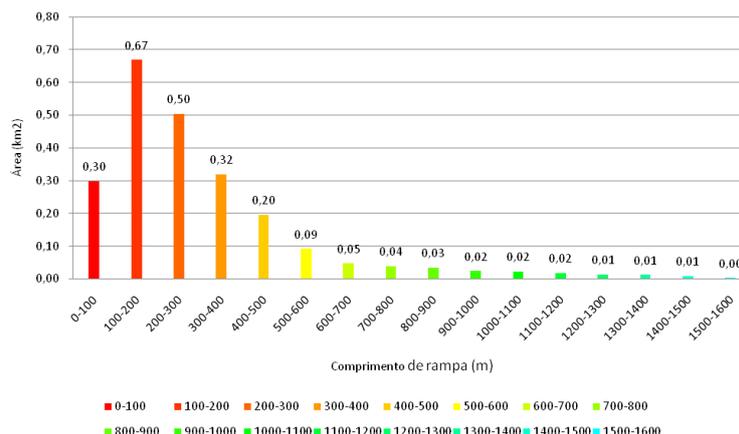


Gráfico 3: Distribuição das classes de comprimento de rampa.

3.2 Análise da Susceptibilidade a Deslizamentos no Coroadinho

As classes de susceptibilidade que apresentam maior expressão na área de estudo foram as 22 (0,31km²), a 32 (0,30km²) e a 33 (0,28km²). No que tange as áreas de forte susceptibilidade, as classes 43 (0,21km²), 44 (0,19km²) e 45 (0,14km²) são as mais representativas. Constata-se, portanto, que na área de estudo, a susceptibilidade a deslizamentos é de média a forte, conforme Figura 2 e Gráfico 4.

As classes de susceptibilidade encontradas foram cruzadas com as de comprimento de rampa. Conforme análise do Gráfico 5, percebe-se que as classes susceptibilidade a deslizamentos média a forte estão associadas a comprimentos de rampa curtos. Isso é confirmado quando são observados os comprimentos de rampa entre 0 a 100m, onde as classes de susceptibilidade a deslizamentos predominantes são 45 (0,11km²), 35 (0,06km²) e 34 (0,04km²).

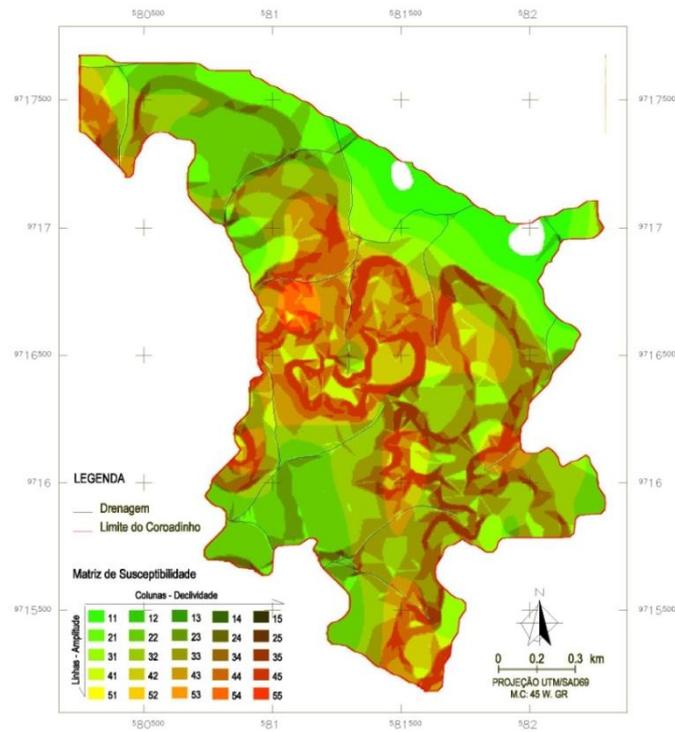


Figura 2: Mapa de susceptibilidade a deslizamentos de encostas no Coroadinho.

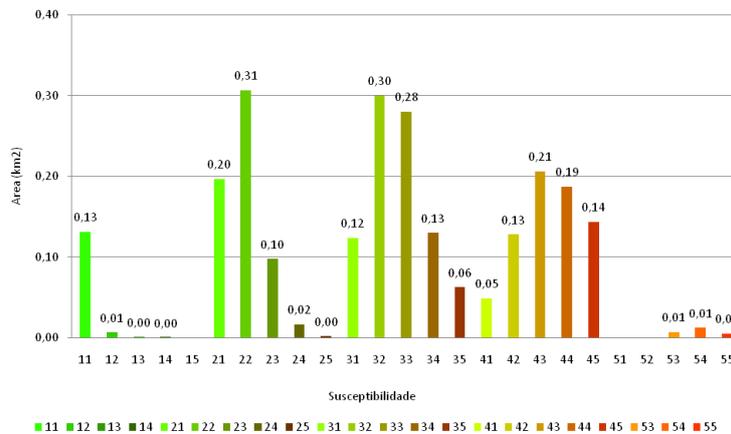


Gráfico 4: Distribuição das classes de susceptibilidade a deslizamentos de encostas

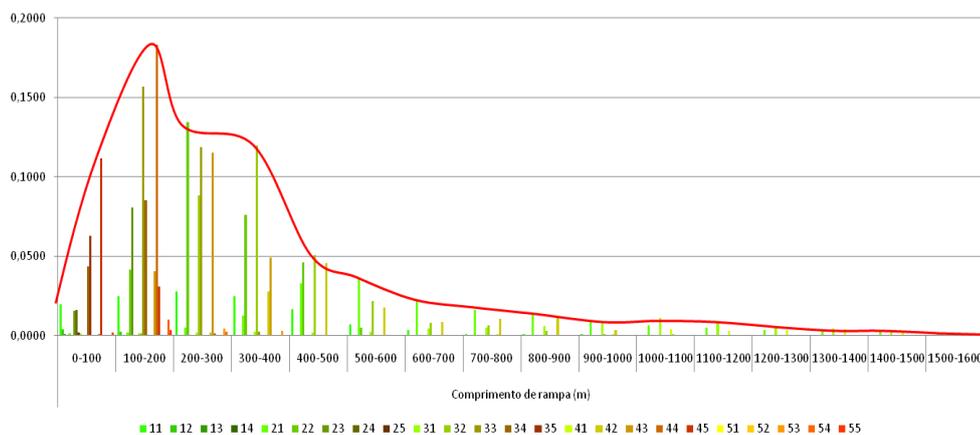


Gráfico 5: Cruzamento da susceptibilidade a deslizamentos com o comprimento de rampa.

Ao final da elaboração do Mapa de Susceptibilidade a Deslizamentos no Coroadinho, realizou-se a validação do mesmo. Esta etapa consistiu no cruzamento da área entorno das feições lineares de deslizamentos identificadas na imagem QuickBird (Figura 3) com as variáveis morfométricas analisadas, a fim de verificar quais as classes mais frequentes no entorno dessas feições. Na Figuras 3a e 3b as linha vermelha refere-se a cornija, porção superior da encosta, com área de 5m de distância, no entorno, em linha preta.



Figura 3: Feições extraídas da imagem QuickBird.

Através do cruzamento das feições de deslizamentos extraídas da imagem com as variáveis morfométricas estudadas, verifica-se os eventos são mais frequentes: nas declividades baixas e médias (Gráfico 6a), nas amplitudes médias (Gráfico 6b) e nos comprimentos de rampa curtos (Gráfico 6c). A partir da Gráfico 6d, verifica-se que no entorno das feições de deslizamentos extraídas da imagem QuickBird, a susceptibilidade apresenta-se de média, com maior expressão, a forte.

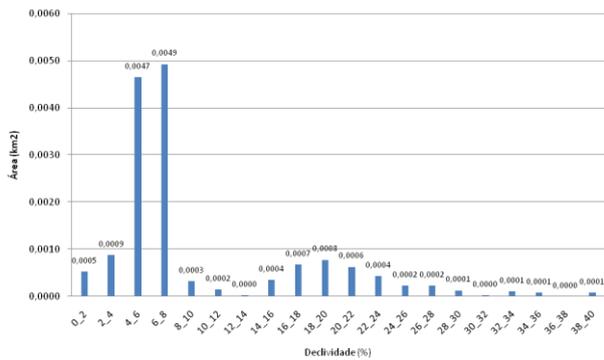
Através desse resultado, pode-se notar que o modelo elaborado a partir dos parâmetros morfométricos declividade e amplitude altimétrica conseguiu capturar as feições de deslizamentos na área de estudo. No entanto, quando observadas as variações no entorno das feições da imagem, constata-se que as variáveis apresentam comportamento diferentes daqueles apontados na literatura, em que os deslizamentos estão relacionados a fortes declividade, amplitudes altimétricas elevadas e comprimentos de rampa longo. Assim, na área de estudo, supõe-se que além das variáveis morfométricas envolvidas, outros fatores geoambientais expliquem a deflagração dos deslizamentos como geologia local, atividades antrópicas, características climáticas e forma das vertentes.

No mapa de susceptibilidade, algumas áreas embora apontadas como de forte predisposição a deslizamentos, ao serem verificadas na imagem QuickBird não foram detectadas feições relacionadas à instalação do processo. Isto se deve às fatores como: padrão de urbanização, tipologias habitacionais, manutenção da cobertura vegetal, entre outros.

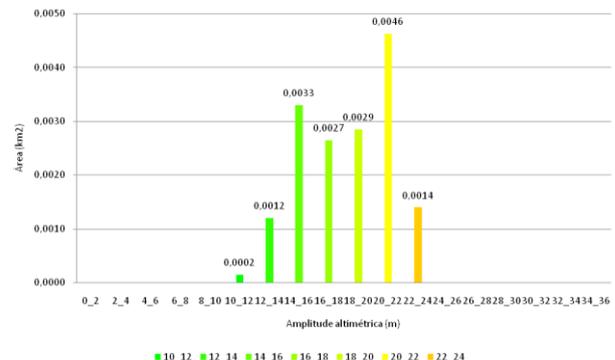
4. Conclusões

Considerando os dados utilizados e a metodologia aplicada, pode-se concluir que apesar do modelo baseado na matriz de dissecação do relevo e no cruzamento das variáveis morfométricas ter permitido espacializar a susceptibilidade a ocorrência do fenômeno em questão, o seu resultado pode ser melhorado com a adoção de intervalos de classes mais adaptados a realidade local. Para tanto, o cruzamento das feições extraídas da imagem de satélite de alta resolução espacial com as variáveis morfométricas declividade, amplitude altimétrica e comprimento de rampa, indicou que o fenômeno na área é delimitado por

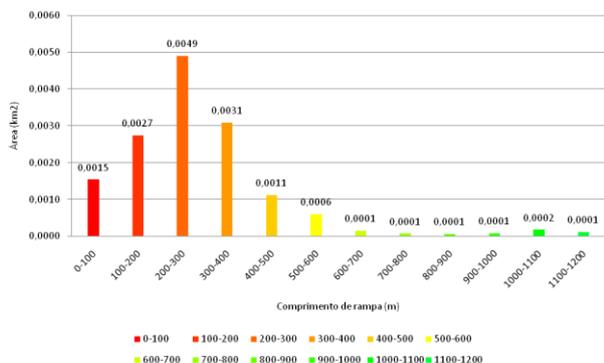
intervalos de classes baixos a médios. Isso chama a atenção para os limites estabelecidos na literatura que muitas vezes se mostram abrangentes, não adaptados para estudos em escalas detalhadas.



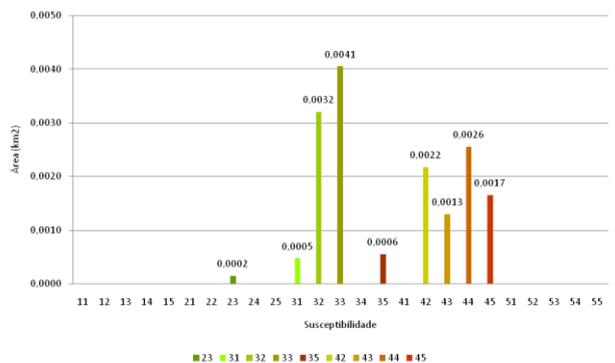
a



b



c



d

Grafico 6: Cruzamento das feições extraídas da imagem QuickBird com: a) declividade; b) amplitude altimétrica; c) comprimento de rampa; d) suscetibilidade a deslizamentos.

Referências Bibliográficas

CASSETI, V. **Elementos de geomorfologia**. Goiânia: Editora de UFG, 1994.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. **Súmula...**Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução a Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: DPI, 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 3 jul. 2009.

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

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2000. Disponível em: <<http://www.zee.ma.gov.br/>>. Acesso em: 25 jul. 2010.

NAMIKAWA, L. M. **Um método de ajuste de superfície para grades regulares considerando linhas características**. São José dos Campos: INPE, 1995. (Dissertação de mestrado em Computação Aplicada)

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 7. ed. São Paulo: Contexto, 2003.

SILVA, Q. D. **Referência**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <marimonteles@hotmail.com> em 30 out. 2010.