

Levantamento das Cicatrizes de Deslizamentos na Bacia do Rio Gurutuba (SP) e Correlações com Parâmetros Físicos

Caleb Chen Lin

Geólogo, São Paulo, Brasil, calebc.lin@gmail.com

Marcelo Fischer Gramani

Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, São Paulo, Brasil, mgramani@ipt.com.br

Alfredo Borges de Campos

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, Brasil, acampos@ige.unicamp.br

RESUMO: Nos dias 12 e 13 de janeiro de 2014, a Serra da Boa Vista, localizada próxima ao município de Itaoca (SP), foi atingida por chuvas intensas e concentradas. Estima-se que mais de 100 mm de chuva foi precipitada em algumas horas nas bacias dos rios Gurutuba e Guarda-Mão. Por consequência, registrou-se a ocorrência de debris flow, deslizamentos na porção serrana e inundação na área urbana. Por razão da carência de trabalhos científicos sobre a ocorrência desses processos nesta área, o presente trabalho teve como objetivo espacializar as cicatrizes de deslizamento de terra ocorridos na bacia do rio Gurutuba, contabilizando a quantidade de deslizamentos produzidos no desastre, obter dados numéricos em relação à forma das cicatrizes e correlacionar com parâmetros do meio físico. 642 cicatrizes de deslizamentos foram delimitadas na bacia hidrográfica com auxílio de imagens de satélite fornecidas pelo Google Earth. As cicatrizes foram analisadas pelo software ArcMap, e foram gerados modelo digital de elevação, mapa de altimetria, declividade, orientação de vertentes, lineamentos estruturais e drenagem. O inventário de cicatrizes de deslizamentos de terra foi correlacionado com parâmetros físicos a fim de observar as zonas de maior ocorrência destes processos que estão (1) na faixa de 290 a 490 m de altitude, (2) entre 20° e 40° de declividade, (3) em encostas orientadas para E e SE, (4) próximos aos lineamentos e (5) próximos às drenagens, (6) concentradas em vegetação de pequeno porte. O resultado deste trabalho poderá servir como referência em análises quantitativas e qualitativas de movimentos gravitacionais de massa semelhantes.

PALAVRAS-CHAVES: cicatriz, Gurutuba, deslizamentos, Itaoca, parâmetros físicos.

1 INTRODUÇÃO

Os movimentos gravitacionais de massa, tanto em zona rural como urbana, recebem grande atenção, pois podem causar impactos e riscos à sociedade em razão das modificações do meio físico (Figura 1). Os deslizamentos, também chamados por escorregamentos, são processos caracterizados por movimentos rápidos, limites laterais e profundidade bem definidos (superfície de ruptura). Podem mobilizar solos, solo e rocha ou apenas rocha. A geometria pode

ser circular, planar ou em cunha e a ruptura pode ser condicionada pela existência ou não de estruturas ou planos de fraqueza. O principal agente deflagrador destes processos são as chuvas (IPT, 1991).

Nos dias 12 e 13 de janeiro de 2014, a região sul do estado São Paulo foi atingida por chuvas intensas e concentradas. Devido a este regime pluviométrico foram geradas inundações em regiões de planície, deslizamentos de terra, enxurradas e corridas de massa, mobilizando grande volume de detritos, lama e material

vegetal (Gramani, 2015). Esses processos causaram impactos socioeconômicos no município de Itaoca (SP), ocasionando 25 mortes, pontes e estradas destruídas e 100 casas afetadas, conforme dados obtidos pelo Diário Oficial do Poder Executivo (2014). Os deslizamentos de terra ocorreram principalmente na região serrana (Figura 2), resultando em cicatrizes nas encostas e transporte de grandes volumes de solo, rocha e material vegetal para os canais de drenagem. As corridas de massa se concentraram em duas drenagens principais, ocasionando uma grande mobilização de blocos rochosos, material vegetal e solo por vários quilômetros (Wolney, 2015).



Figura 1. A foto A mostra a marca da água causada pelo fluxo de lama, atingindo a altura das janelas e portas. A foto B apresenta uma cicatriz de deslizamento de terra em uma encosta removendo solo e material vegetal (Fonte: Sirden / CTGeo / IPT, 2014).

Embora identificados diferentes movimentos de massa na região, os deslizamentos planares rasos, segundo classificação de Augusto Filho (1992), foram predominantes e ocorreram de

forma generalizada nas bacias, afetando vários trechos das encostas (Figura 2).

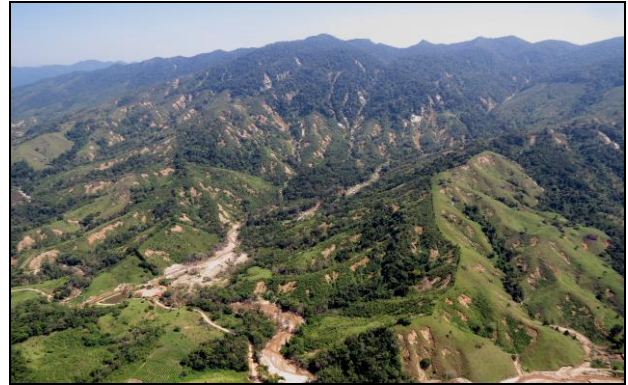


Figura 2. Imagem aérea para a visualização geral das cicatrizes na bacia do Rio Gurutuba (Fonte: Sirden/CTGeo / IPT, 2014).

Os índices pluviométricos foram registrados pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO). Foi identificado que, no mês de janeiro de 2014, as precipitações se concentraram nos dias 12 e 13, período em que aconteceu o desastre. A precipitação máxima diária foi superior a 80 mm. Quanto à chuva acumulada nos cinco dias próximos ao evento, registrou-se que após o dia 13 foram acumulados aproximadamente 161 mm de chuva. Ainda segundo Gramani e Arduin (2015), as chuvas concentradas chegaram a acumular cerca de 200 mm em duas horas, aumentando a vazão do rio Palmital, próximo à cidade, causando enxurradas e inundação. Diversos autores relatam que as chuvas intensas e concentradas são importantes condicionantes para a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, principalmente os deslizamentos em relevos acidentados.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na bacia do rio Gurutuba, próxima à área urbana do município de Itaoca, no Estado de São Paulo.

A bacia estudada encontra-se, majoritariamente, no batólito Itaoca (Figura 3), correspondente aos batólitos do Complexo Agudos Grandes, o qual está em contato direto

com quartzitos, xistos e mármore do Subgrupo Lajeado. Tais contatos podem ser discordantes a parcialmente concordantes. O maciço granitóide corresponde a 200 km² de área, sendo composto por monzogranitos porfiríticos com alta concentração de potássio. A litologia presente ao norte da bacia corresponde à Formação Serra da Boa Vista, composta por metarenitos, metassiltitos, metargilitos e quartzito xistos (Mello e Bettencourt, 1998; Campanha e Sadowski, 1999).

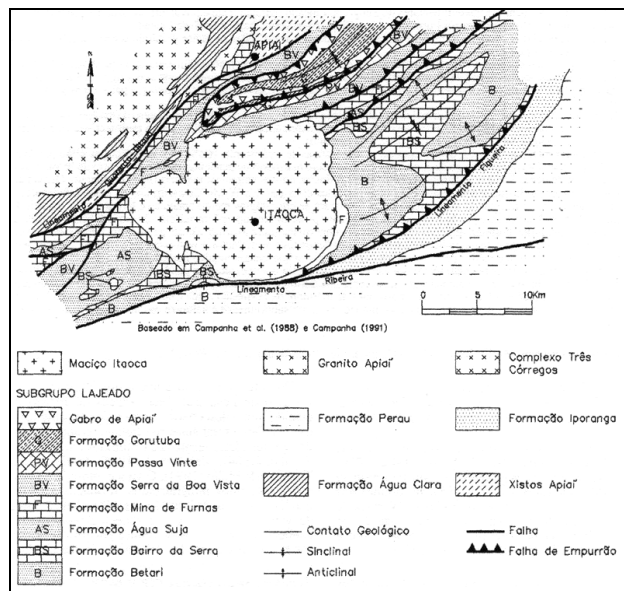


Figura 3. Mapa geológico da região de Itaoca, em evidência o batólito Itaoca e suas encaixantes (Mello e Bettencourt, 1998).

A bacia hidrográfica de Gurutuba se encontra a leste da bacia hidrográfica do Guarda-Mão. A bacia em análise foi dividida em duas: bacia do rio Gurutuba I e bacia do rio Gurutuba II. A primeira com dimensão equivalente a 6,51 km² e a segunda, 3,64 km². Porém, para facilitar a análise dos resultados, as duas bacias foram integradas, totalizando 10,15 km² de área.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi fundamentado por estudos da literatura envolvidos com mapeamento de cicatrizes de deslizamentos e correlação destas com parâmetros físicos. Basicamente, todo o trabalho de digitalização e delimitação dos

polígonos, correspondentes às cicatrizes de deslizamentos, foi feito em tela. A ausência de vegetação e a forma e o tamanho das rupturas foram utilizados como critérios para o reconhecimento das cicatrizes.

Considerando-se que os deslizamentos translacionais rasos são condicionados por vários fatores, dentre os principais a declividade, a forma das vertentes e o tipo e porte da vegetação, no presente trabalho foram adotados os seguintes parâmetros físicos para a correlação: quantidade de cicatrizes, forma das cicatrizes, altitude/cota, inclinação das encostas, tipo de vegetação, orientação das vertentes, litologia, proximidade com lineamentos e linhas de drenagem.

Os mapas foram elaborados com o software ArcMap 10.2, onde foram inseridas as cicatrizes, em relação à base topográfica, e os respectivos mapas temáticos (declividade, orientação das vertentes, relevo sombreado, lineamentos estruturais, drenagem, cotas altimétricas e Modelo Digital de Elevação). A escala dos mapas produzidos, que serviram de base para a correlação dos parâmetros, é 1:25.000. A partir do levantamento das cicatrizes e da elaboração dos mapas foram geradas as tabelas e os histogramas que apresentam as correlações com os parâmetros físicos.

Adicionalmente, foi realizado trabalho de campo para a verificação e a validação das tipologias de cicatrizes de deslizamentos observadas nas imagens aéreas.

4 RESULTADOS E CORRELAÇÕES

4.1 Cicatrizes

Na elaboração digital do mapa, foram contabilizadas, no total, 642 cicatrizes na bacia do rio Gurutuba que representa 213.841,23 m² de área total. Em relação à área total da bacia, as cicatrizes correspondem a 2,11% dos 10,15 km² da bacia hidrográfica.

A forma das cicatrizes foi separada em três grupos: Tipo 1 (alongadas), Tipo 2 (arredondadas) e Tipo 3 (amorfas). As cicatrizes do Tipo 1 apresentam formas

alongadas e, de modo geral, possuem dimensões maiores que os demais grupos; as do Tipo 2 possuem formas arredondadas, geralmente apresentam dimensões menores e mais concentradas; as do Tipo 3 não possuem um padrão morfológico definido, isto se deve pelo fato da difícil diferenciação de uma ou mais feições de cicatriz de deslizamento, tornando a interpretação da imagem duvidosa quanto à individualização da cicatriz.

As cicatrizes do Tipo 2 (arredondadas) são as mais abundantes, totalizando 425 (66,20%), seguidas do Tipo 1 (alongadas), com 154 (23,99%). Por fim, o grupo de menor número é do Tipo 3 (amorfas), com apenas 63 (9,81%).

Representado pelo histograma da Figura 4, o Tipo 1 (alongadas) apresenta área total maior do que os outros grupos, porém é o segundo grupo de cicatrizes mais presentes na bacia. Apesar da frequência maior das cicatrizes do Tipo 2 (arredondadas), a área total representada por este grupo é menor do que a área total do Tipo 1 (alongadas). Isto significa que as cicatrizes do Tipo 1 possuem, em geral, dimensões maiores do que os outros grupos. A dimensão das cicatrizes do Tipo 3 não possui confiabilidade, pois houve dificuldade em determinar o limite deste grupo de cicatriz.

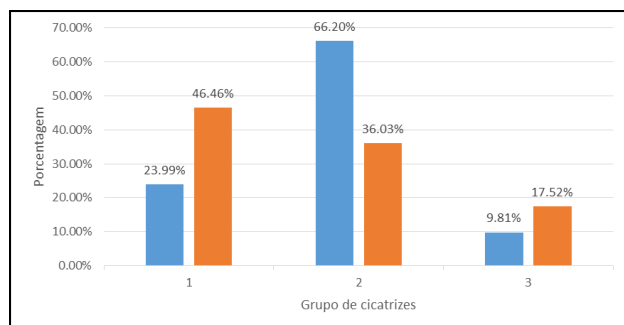


Figura 4. Histograma de relação entre a quantidade de cicatrizes (azul), área total (laranja) e grupo de cicatrizes.

4.2 Altitude

As cotas altimétricas foram espaçadas em intervalos de 50 m para detalhar as relações apresentadas no histograma da Figura 5. Assim, pode-se afirmar que no intervalo altimétrico entre 290 e 490 m concentram-se 65,58% das cicatrizes (421 unidades). Sendo que nas cotas

entre 390 e 440 m foram mapeadas 136 cicatrizes (21,18%).

Lan *et al.* (2004) reporta que a altitude não tem influência direta com a ocorrência de deslizamentos, mas pode controlar fatores como vegetação, drenagem, declividade, erosão do solo e incisão e lavagem do rio. Este parâmetro está relacionado com fatores climáticos (diferença nos ventos, chuvas e temperaturas) e geológicos. Ainda não há consenso na literatura com relação às classes utilizadas para a altitude, pois varia de acordo com a escala de estudo do trabalho.

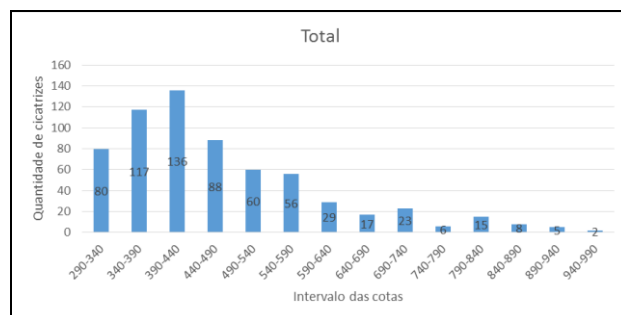


Figura 5. Histograma da relação da quantidade de cicatriz com o intervalo de cotas em 50 m.

4.3 Declividade

Considerado um dos principais fatores condicionantes de deslizamentos, a declividade foi avaliada a partir de intervalos de 10 graus (Figura 6).

A faixa de declividade onde se concentram as cicatrizes de deslizamentos está entre 20° e 40°, sendo que as cicatrizes que ocorrem em declives menores do que 20° e maiores do que 50° são mais raras. Valores significativos também foram observados na faixa de 40°-50°. Portanto, os valores de declividade entre 20° e 40° são os mais críticos nesta área.

Os valores obtidos nessa pesquisa são compatíveis com os resultados apresentados por Kamp *et al.* (2008). Os autores determinaram que o intervalo de maior frequência para ocorrência de deslizamentos de terra foi entre 25° - 35° e o de menor frequência abaixo de 25° ou maiores do que 45°. Comparando com os resultados reportados por Lan *et al.* (2004), os valores também foram concordantes, ou seja, frequência maior de deslizamento no intervalo

de 10° a 40° e frequência menor em valores acima deste.

Explica-se a menor quantidade de cicatrizes presente em áreas com declividades superiores 50° devido à espessura de solo ser insuficiente para provocar o deslizamento (Oliveira e Filho, 2005). Da mesma forma em declividades abaixo de 20°, pois neste caso o terreno não possui inclinação suficiente para provocar o deslizamento.

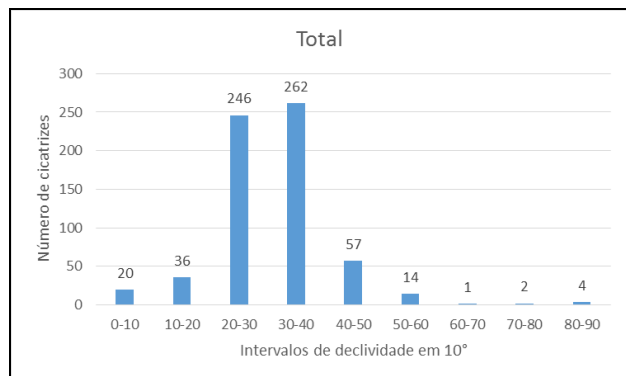


Figura 6. Histograma da relação do número de cicatrizes com os intervalos de declividade.

A partir da avaliação dos dados foi possível evidenciar que a declividade pode influenciar na área da cicatriz, conforme mostra a Figura 7. Isto explica a ocorrência de cicatrizes de maiores dimensões ao norte da bacia, onde são encontradas as maiores cotas altimétricas. Pode-se supor que as cicatrizes que ocorreram em declividades maiores que 70° (acima do ponto crítico) acumularam alta energia potencial gravitacional, aumentando assim a magnitude dos deslizamentos na região afetada por estes. Portanto, a área da cicatriz pode ter maior dimensão em locais de declive maior.

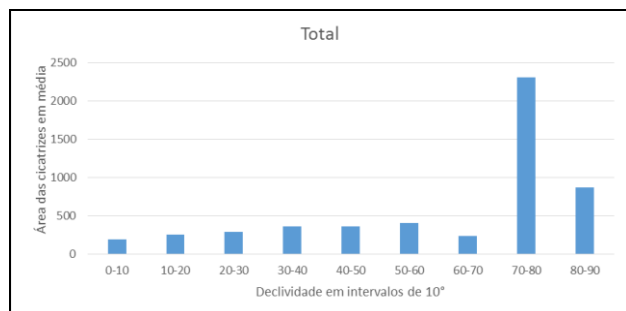


Figura 7. Histograma da relação da área média das cicatrizes e a declividade da encosta.

4.4 Vegetação

A vegetação foi dividida em três grupos: primária, secundária e campos. O número de cicatrizes que ocorrem em área com vegetação primária é 143; secundária 294; e campos 205. Nota-se que nas áreas com vegetação secundária encontram-se o maior número de cicatrizes, seguida da área com campos e após de vegetação nativa primária.

A Figura 8 mostra que no grupo com maior número de cicatrizes (Tipo 2 – arredondadas), 33,3% das cicatrizes ocorrem em vegetação secundária, 22,4% em campos e 10,4% em vegetação primária. Isto significa que nas categorias vegetação secundária e campos, a suscetibilidade a deslizamentos é mais alta, fato possivelmente explicado pelas razões citadas por Sidle & Terry (1992). Apesar de a vegetação secundária possuir maior capacidade de penetração radicular do que as gramíneas, o número de cicatrizes na vegetação secundária é maior, pois esta abrange uma área maior do que campos. Por outro lado, um dos motivos de ocorrer baixo número de cicatrizes em área com vegetação primária é a proteção contra a erosão superficial e maior força na penetração das raízes, o que favorece o ganho de resistência do solo. Os resultados também concordam com Kamp *et al.* (2008), que reportam que aproximadamente 70% dos movimentos de massa por eles mapeados ocorreram em vegetação arbustiva/gramíneas e 2% em área florestada.

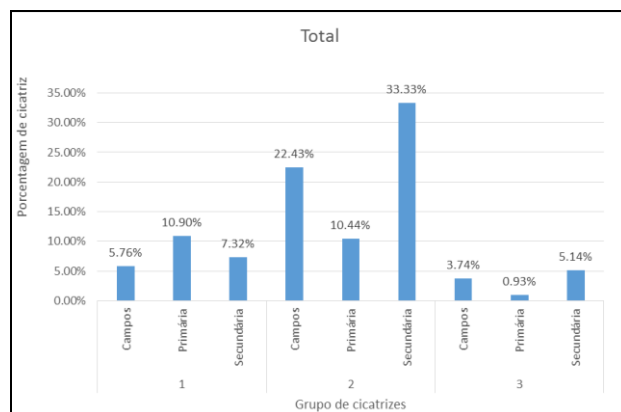


Figura 8. Histograma da relação entre a porcentagem do número de cicatriz, grupos de cicatrizes e tipos de vegetação.

4.5 Orientação das vertentes

A Figura 9 mostra que os setores das vertentes preferenciais para a ocorrência de deslizamentos são as faces leste e sudeste do relevo, os quais representam 28% e 22% das ocorrências de deslizamento, respectivamente. A orientação das vertentes está relacionada com os padrões estruturais apresentados pelos diferentes litotipos.

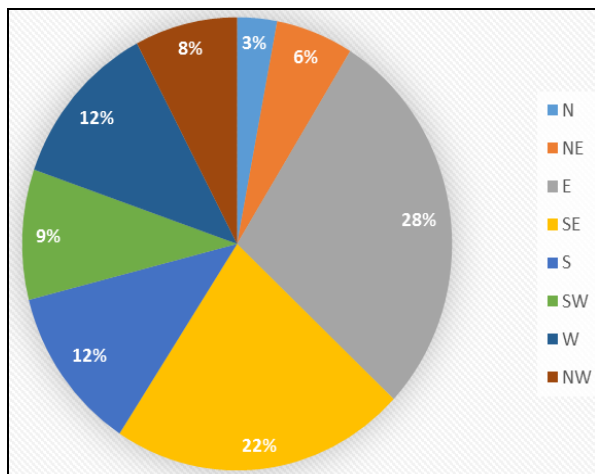


Figura 9. Gráfico de orientação das vertentes.

4.6 Litologia

As cicatrizes são mais presentes no granito (627 cicatrizes) e em seguida na Formação Serra da Boa Vista (15 cicatrizes). Ressalta-se que o granito Itaoca representa mais de 90% da área da bacia.

A Figura 10 mostra que as cicatrizes do Tipo 2 predominam no litotipo granito Itaoca. Por outro lado, na Formação Serra da Boa Vista as cicatrizes do Tipo 1 são predominantes, apesar de serem raras em relação ao total. Isto mostra que a litologia pode condicionar a morfologia da cicatriz de deslizamento.

Pode-se supor que as cicatrizes em granitos tendem a desenvolver uma morfologia arredondada, pois dependem mais do intemperismo e formação da camada de solo. Por outro lado, as cicatrizes nos metassedimentos da Formação Serra da Boa Vista tendem a desenvolver uma morfologia alongada e de maior dimensão, pois podemos supor que são condicionadas mais efetivamente pelos planos de fraqueza da rocha como as

camadas sedimentares, diferença granulométrica ou bandamento metamórfico.

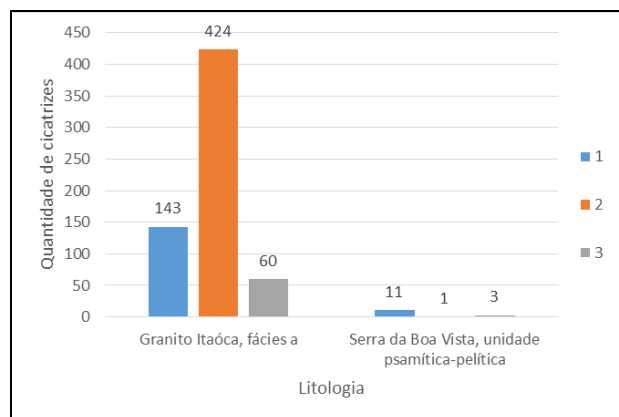


Figura 10. Gráfico da relação da quantidade de cicatrizes, litologia e tipos de cicatrizes. As cicatrizes Tipo 1 (alongadas) está destacada em azul, da mesma forma o Tipo 2 (arredondadas) em laranja e o Tipo 3 (amorfas) em cinza.

4.7 Proximidade com os lineamentos

A Figura 11 mostra a relação entre a quantidade de cicatrizes e a proximidade destas com os lineamentos estruturais. Os lineamentos mapeados não são necessariamente falhas ou fraturas, mas são indicativos de feições estruturais associados a formação de cristas e fundo de vales. Observa-se que a frequência de deslizamentos é diretamente proporcional à proximidade dos lineamentos estruturais. Esses resultados corroboram àqueles de Kamp *et al.* (2008), que reportam que ocorre aumento do número de deslizamentos em zonas próximas a falhas ativas.

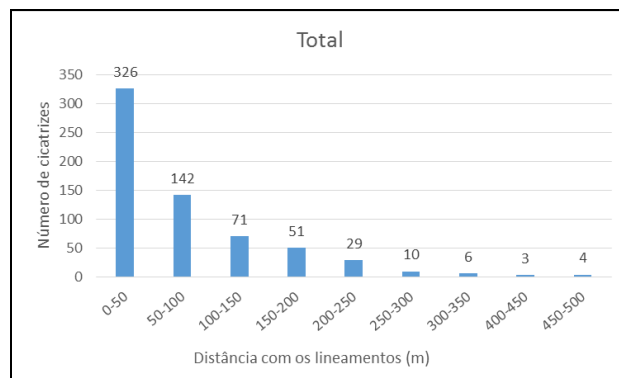


Figura 11. Relação entre o número de cicatrizes e a proximidade destas dos lineamentos estruturais.

4.8 Proximidade com a drenagem

A Figura 12 mostra a relação entre a quantidade de cicatrizes e a proximidade com a drenagem. Observou-se aumento no número da ocorrência de deslizamentos em áreas próximas à drenagem. Esse resultado é compatível com os dados obtidos por Ilanloo (2011) e por Facuri (2012) que reportaram que os deslizamentos ocorrem, majoritariamente, em distâncias até 25 m do eixo de drenagem.

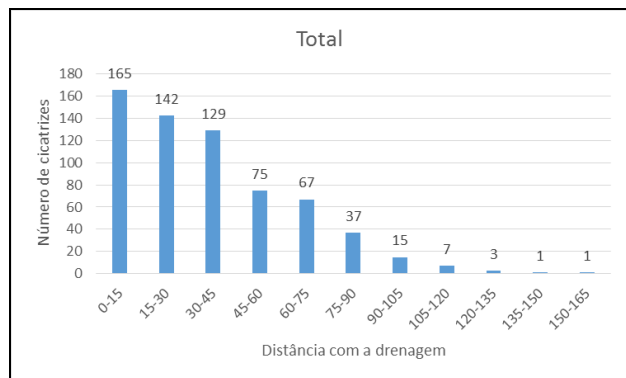


Figura 12. Relação entre o número de cicatrizes e a proximidade com a drenagem.

5 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou o levantamento de cicatrizes de deslizamento de terra na bacia do rio Gurutuba na cidade de Itaoca no estado de São Paulo. Foram delimitadas 642 feições de cicatrizes numa área total de 10,15 km².

Foram definidos três padrões de cicatrizes: alongadas, arredondadas e amorfas. As alongadas geralmente possuem dimensões maiores e situam-se ao norte da bacia. As arredondadas ocorrem de forma mais concentrada na área e possuem dimensões menores. As amorfas não possuem um padrão morfológico definido e nem de localização na área.

As cicatrizes de dimensões maiores são encontradas nas altitudes e declividades maiores. Isto significa que a declividade é um fator condicionante importante para o dimensionamento do tamanho da cicatriz. Quanto maior a declividade, maior será o impacto do deslizamento devido à energia

potencial gravitacional relacionada à encosta. Porém é observado que o ponto crítico da declividade está localizado entre valores menores que 50° e maiores que 20°. Assim, a maior parte das cicatrizes se encontra nos intervalos de 20° a 50°.

Os deslizamentos são mais frequentes nas vegetações rasas e arbustivas devido, provavelmente, à menor força de penetração radicular e maior erosão superficial pela ação da água.

A orientação das vertentes é influenciada por fatores de insolação, condições de intemperismo e cobertura do solo, onde as regiões sombreadas são mais susceptíveis a deslizamentos. Assim, as direções preferenciais das cicatrizes encontradas neste trabalho foram E e SE.

O tipo de litologia pode determinar a morfologia da cicatriz. A razão disto é que se supõe que nos granitos o fator condicionante mais importante seja o intemperismo e formação da camada de solo. Por outro lado, os planos de fraqueza em metassedimentos da Formação Serra da Boa Vista são fatores condicionantes mais importantes para a ocorrência de deslizamentos.

As feições estruturais mostraram grande influência no controle do desenvolvimento de deslizamentos. Quanto mais próximo aos lineamentos, maiores as chances de deslizamentos de terra. Do mesmo modo, a proximidade com a drenagem indica alta possibilidade de ocorrência de deslizamentos.

Apesar dos resultados gerados e analisados, a recomendação para futuros trabalhos é a elaboração de mapa de curvatura das encostas que pode determinar um coeficiente importante na acumulação ou dispersão da água superficial e a integração de pesos nos devidos parâmetros para analisar o fator risco ao deslizamento.

AGRADECIMENTOS

Os recursos deste projeto foram fornecidos pela Fundação de apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (FIPT), que disponibilizou a fonte de dados para a elaboração de mapas, estudos da base bibliográfica e custeio do trabalho de campo.

REFERÊNCIAS

- Augusto Filho, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: *Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas - COBRAE*, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 1992, p. 721-733.
- BRASIL. *Diário Oficial do Poder Executivo*, São Paulo, 29 de jan. 2014. Seção I.
- Campanha, G. A. da C.; Gimenez Filho, A.; Sadowski, G. R. 1994. *Tectônica da Faixa Ribeira*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 38. Florianópolis, 1994. Boletim de Resumos Expandidos... Florianópolis, SBG. v.1, p. 271-272.
- Facuri, G.G. *Caracterização e ocorrência de escorregamentos no parque nacional vulcão tenorio, costa rica, como subsídios para o mapeamento de susceptibilidade*. Trabalho para conclusão de curso – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2012.
- Gramani, M. F. *A corrida de massa no córrego guarda-mão, município de Itaoca (SP): impacto e observações de campo*. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 15. Bento Gonçalves, 2015.
- Gramani, M.F.; Arduin, D.H. *Morfologia dos Depósitos de Debris Flow de Itaoca, São Paulo*. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 15. Bento Gonçalves, 2015.
- Ilanloo, M. *A comparative study of fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: An experience of Karaj dam basin in Iran*. Procedia Social and Behavioral Sciences (19): 668-676, 2011.
- IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. *Ocupação de encostas*. Coord. Cunha, M. A. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.
- Kamp, U, Growley, B. J., Khattak., G. A., OWEN, L. A. *GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region*. Geomorphology (101): 631-642, 2008.
- Kawabata, D., Bandibas, J. *Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and an Artificial Neural Network (ANN)*. Geomorphology (113): 97109, 2009.
- Lan, H. X., Zhou, C. H., Wang, L. J., Zhang, H. Y., LI, R. H. *Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China*. Engineering Geology (76): 109-128, 2004.
- Mello, I. S. C. Bettencourt, J. S. *Geologia e gênese das mineralizações associadas ao maciço Itaoca, Vale do Ribeira, SP e PR*. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo, v28, p.269-284, 1998.
- Oliveira, A. M. S., Augusto Filho, O. *Análise de movimento de massa com base em observações do evento do ano 2000 de Campos do Jordão (Estado de São Paulo, Brasil)*. Solos e Rochas, São Paulo, 28 (1): 99-111, Janeiro-Abril, 2005.
- Sidle, R. C., & Terry, P. K. K. *Shallow landslide analysis in terrain with managed vegetation Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions* (Vol. 209, pp. 289 - 298). IAHS Publ. 1992.
- Wolney, D. *Após quase um ano, desastre em Itaoca ainda deixa marcas*. Revista Fundações & Obras Geotécnicas, p 94-101, 2014.