

## MAPEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A PROCESSOS GEOAMBIENTAIS NA BACIA DO RIO JACAREÍ, ESTADO DO PARANÁ

Silveira, C.T. (UFPR) ; Fiori, A.P. (UFPR) ; Marcos Ferreira, A. (FUNPAR) ; Zai, C. (FUNPAR) ; Massulini, N.E.B. (UFPR) ; Silveira, R.M.P. (UFPR) ; Leonardi, T. (UFPR) ; Kepel Filho, J.L. (UFPR)

### RESUMO

O trabalho apresenta o mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais realizado na bacia do rio Jacaréí, Serra do Mar Paranaense, contemplando a ocorrência de escorregamentos, corridas de detritos e inundações associadas a corridas de lama e suas áreas de depósitos. Foi realizado por meio da modelagem digital do relevo, com o emprego dos atributos topográficos que mostraram melhor relação com os processos: hipsometria, declividade, plano de curvatura e índice topográfico de umidade.

### PALAVRAS CHAVES

*escorregamentos; corridas de detritos; inundações*

### ABSTRACT

The present work carried out the susceptibility to geoenvironmental processes mapping, on the Jacaréí river basin, Serra do Mar - Paraná, considering the occurrence of landslides, debris flow and flooding associated with racing and their areas of mud deposits. Was performed by digital terrain analysis, using topographic Attributes which showed better relationship with the processes: elevation, slope, plan curvature and topographic wetness index.

### KEYWORDS

*landslides; debris flow; flooding*

### INTRODUÇÃO

O processo evolutivo do relevo da Serra do Mar, uma região submetida a altas pluviosidades médias anuais e episódios prolongados de chuvas, envolve intensa participação de movimentações de massa (Almeida e Carneiro, 1998). No contexto regional paranaense, suas vertentes apresentam-se com muita energia face aos processos esculturais promovidos pelos movimentos de massa que, apesar do regime pluviométrico, é condicionado pelo relevo. Exemplo a ser tratado é o episódio ocorrido no dia 11/03/2011 na região central da Serra do Mar Paranaense, culminando com conjunto de escorregamentos nas vertentes da Serra da Prata, associado a um elevado volume de chuva na região, cujos valores acumulados de precipitação foram de 230 mm em 24 horas, 305 mm em 48 horas e 382 mm em 72 horas, segundo dados da Estação Meteorológica Morretes (INMET,2011). O volume de material desprendido dos escorregamentos foi transportado ao longo das vertentes convergentes, remobilizando depósitos pretéritos nos vales. Na planície, o material mais grosseiro depositou-se na desembocadura dos canais, na forma de cones de detritos, enquanto que o material lenhoso e os sedimentos finos, na forma de lama, atingiram grandes extensões, alcançando inclusive, o mar. Nesse contexto, a bacia do rio Jacaréí foi eleita como recorte de estudo, cuja área é de 40,17 km<sup>2</sup>, por ter sido uma das regiões mais afetadas pelos processos de escorregamentos (que somaram 2,34 km<sup>2</sup>), corrida de detritos (1,35 km<sup>2</sup>) e inundações associadas a corridas de lama e depósitos finos (1,39 km<sup>2</sup>), incidindo em prejuízos por destruição total ou parcial de casas, ruas, estradas, pontes, lavouras, etc, no distrito de Floresta, Morretes/PR. O episódio motivou o mapeamento de susceptibilidade geoambiental, contemplando os processos de escorregamentos, corridas de detritos e inundações associadas a corridas de lama, elaborado por meio da modelagem digital do relevo, com o emprego dos atributos topográficos.

### MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos empregados consistem na organização da base de dados, armazenamento e

realização das operações em ambiente SIG, geração do MDT e cálculo dos atributos topográficos, tratamento de imagens de satélite, mapeamento das cicatrizes de movimento de massa e inundação, análise de atributos topográficos e sua integração para a elaboração do mapa de suscetibilidade a processos geoambientais. A partir de dados planialtimétricos, escala 1:5.000, restituídos de fotografias aéreas na escala 1:25:000 (ITCF, 1980), foi produzido um MDT com resolução de 5m. A partir deste foram calculados os atributos topográficos no software ArcGis versão 10 (ESRI, 2010), segunda as propostas de Moore et al. (1991 & 1993) e Wilson & Gallant (2000). Foi utilizada uma imagem de satélite WordView1 ortorretificada, com resolução espacial de 0,6 metros, de 05/05/2011, com o objetivo de mapear as cicatrizes que resultaram após o evento, e avaliar suas relações com os atributos topográficos. Os atributos topográficos que apresentaram melhor relação com os processos mapeados do evento foram hipsometria, declividade, plano de curvatura e índice topográfico de umidade, empregados na elaboração do mapa de susceptibilidade. A técnica empregada na integração das variáveis foi a álgebra de mapas, que conforme Tomlin (1983) representa, o conjunto de procedimentos de análise espacial em geoprocessamento que produz novos dados a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais níveis de informação. À combinação das classes dos atributos topográficos seguiu-se os critérios apresentados na Tabela 1, subdivididos em três níveis de susceptibilidade (moderada, alta e muito alto) com referência a escorregamentos, corridas de detritos e inundações associadas a corridas de lama e depósitos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Tabela 1 apresenta as combinações dos atributos topográficos empregados na definição das classes de susceptibilidade. Uma das importantes variáveis topográficas empregadas na elaboração do mapa de susceptibilidade foi a declividade, que se mostrou diretamente relacionada aos processos de escorregamento e inundações. Foi observado que 89% das áreas de escorregamentos ocorreram em declividades superiores a 30%, enquanto que 82% das inundações ocorreram nas classes de declividade inferior a 5%. Outra variável que apresentou relação com os escorregamentos foi a hipsometria, pois tendo-se verificado que 75% das cicatrizes mapeadas ocorreram nas áreas superiores a cota altimétrica de 400 metros. Verificou-se que nessa região as cotas acima de 400 metros estão associadas a maciço rochosos mais resistentes, na forma de corpos graníticos, designado no mapa geológico simplificado da Bacia do rio Jacaré, elaborado por GEOPLANEJAMENTO (2011), como Granito Morro Inglês. Segundo Almeida e Carneiro (1998), a natureza petrográfica e estrutural dos granitos da Serra do Mar do Paraná tornam-os resistentes à erosão e sustentam destacadas elevações. Essa erosão diferencial resultou em elevado gradiente altimétrico e vertentes fortemente declivosas na Serra da Prata, ambiente onde os processos de transporte de material ocorreram com intensidade. Os solos ali são mais delgados e em contato direto com a matriz rochosa, favorecendo sua rápida saturação. A hipsometria também mostrou-se diretamente relacionada com as áreas de inundações e depósito, pois 100% das ocorrências situam-se nas cotas abaixo de 30m. Por isso, a variável hipsometria foi considerada eficiente na identificação das classes de susceptibilidade. Quanto diz respeito à variável plano de curvatura, notou-se grande coincidência com os processos mapeados por meio das cicatrizes, principalmente quanto às corridas de detritos, mas também com os escorregamentos, uma vez que esse atributo topográfico está relacionado à dinâmica da água nas vertentes, tanto em fluxos superficiais como subsuperficiais. Por isso, o emprego da curvatura horizontal foi de grande relevância para a determinação das classes de susceptibilidade, associadas a corridas de detritos, uma vez que esse processo está relacionado diretamente à dinâmica hidrológica das vertentes, desempenhando importante papel no transporte gravitacional de material em estado de solifluxão. As classes susceptíveis à corridas de detritos na área de estudo foram caracterizadas por condicionar a mobilização do material advindo dos escorregamentos (solo, rocha e árvores), bem como a remobilização de antigos depósitos e o aprofundamento do leito de rios. O índice topográfico de umidade foi empregado exclusivamente na identificação de áreas de susceptibilidade a inundações pois relaciona-se com a saturação hídrica dos solos, situados nas planícies. Nessas áreas os processos que ocorreram foram inundações associadas a corridas de lama e consequentes depósitos. As áreas mapeadas como maior susceptibilidade a escorregamentos mostraram-se condicionadas por um conjunto de características do meio físico-natural que propiciaram tais processos, principalmente solos rasos compostos por associações de Neossolos Litólicos, com contato próximo à rocha matriz; vertentes com valores de

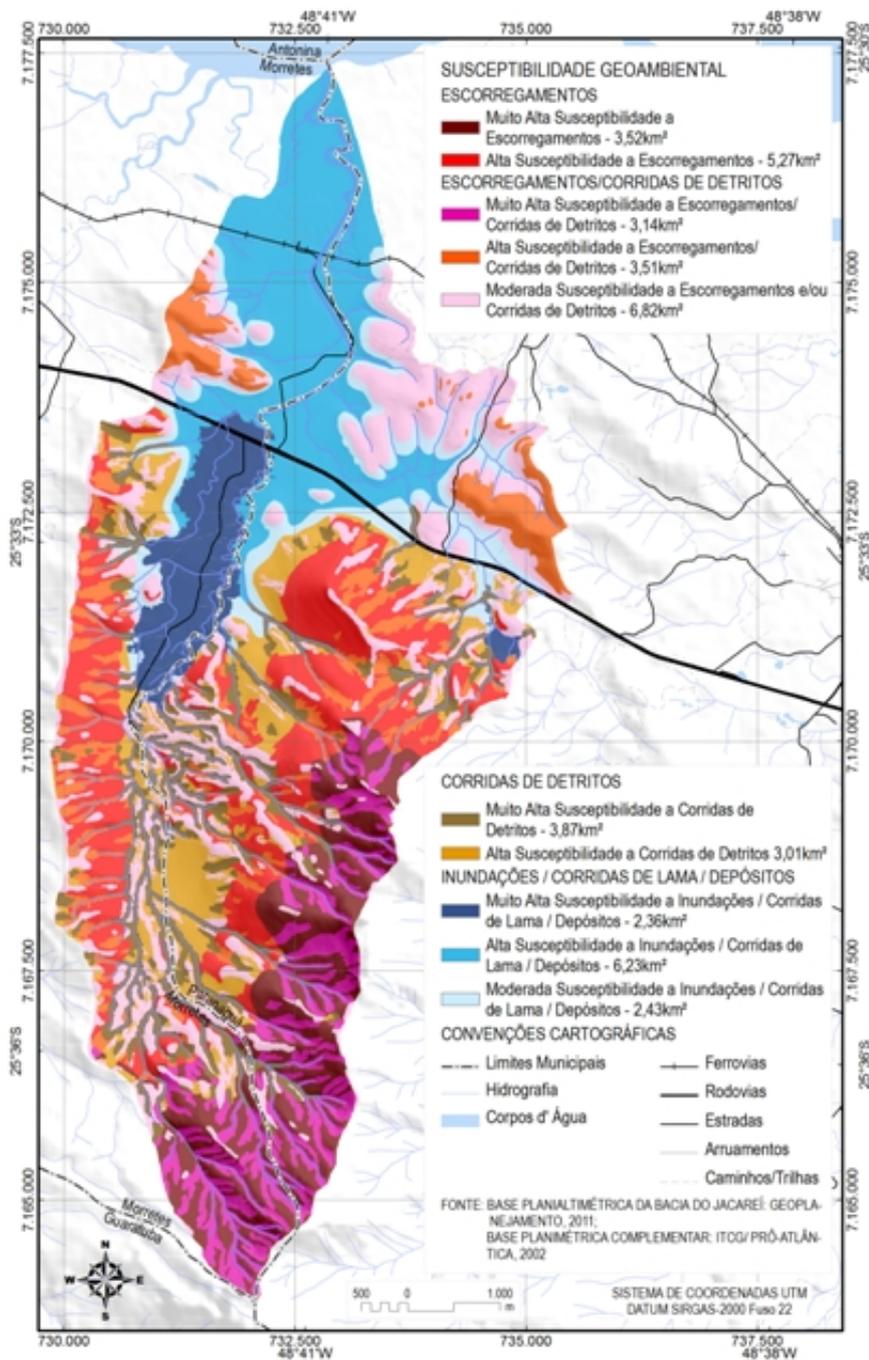
declividade acima de 30% e segmentos de vertentes situados no terço superior da margem direita da bacia, onde estão os maiores desníveis de elevação. O mapa de susceptibilidade a processos geoambientais (Figura 1) apresenta classes de moderada, alta e muito alta susceptibilidade, associadas a quatro categorias de processos: a) escorregamentos, b) corridas de detritos, c) escorregamentos e corridas de detritos em atuação conjunta e d) Inundações, corridas de lama e depósitos.

Tabela 1

SUSCETIBILIDADE	PROCESSOS	CRITÉRIOS GEOMORFOMÉTRICOS EMPREGADOS
Muito Alta	Escorregamentos	-cota altimétrica superior a 400m; -declividade das vertentes superior a 30%; -segmentos de vertentes divergentes e planares da curvatura em plano.
	Corridas de detritos	-declividade das vertentes entre 5 e 30%; -segmentos de vertentes convergentes da curvatura em plano.
	Escorregamentos/ corridas de detritos	-cota altimétrica superior a 400m; -declividade das vertentes superior a 30%; -segmentos de vertentes convergentes da curvatura em plano.
	Inundações/corridas de lama/depósitos	-Áreas mapeadas por meio de interpretação de imagens de satélite como deposição e inundações ocorridas no evento de 11 de março de 2011.
Alta	Escorregamentos	-cota altimétrica inferior a 400m; -declividade das vertentes superior a 30%; -segmentos de vertentes divergentes e planares da curvatura em plano.
	Corridas de detritos	-declividade das vertentes entre 5 e 30%; -segmentos de vertentes planares da curvatura em plano.
	Escorregamentos/ corridas de detritos	-cota altimétrica inferior a 400m; -declividade das vertentes inferior a 30%; -segmentos de vertentes convergentes da curvatura em plano.
	Inundações/corridas de lama/depósitos	-cota altimétrica inferior a 10m; -declividade das vertentes inferior a 5%; -Índice topográfico de umidade com valores superiores a 12.
Moderada	Escorregamentos e/ou corridas de detritos	-declividade das vertentes entre 5 e 30%; -segmentos de vertentes divergentes da curvatura em plano. -declividade das vertentes inferiores a 5%; -cota altimétrica acima de 30m; -e as demais combinações da curvatura em plano.
	Inundações/corridas de lama/depósitos	-cota altimétrica entre 10m e 30m; -declividade das vertentes inferior a 5%;

COMBINAÇÕES DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE SUSCEPTIBILIDADE

Figura 1



MAPA DE SUSCETIBILIDADE A PROCESSOS GEOAMBIENTAIS

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As classes de muito alta e alta suscetibilidade a escorregamentos apresentaram área de 3,52km<sup>2</sup> e 5,27km<sup>2</sup> na bacia do rio Jacaré, respectivamente. No caso das corridas de detritos, as áreas foram de 3,87km<sup>2</sup> para muito alta e 3,01km<sup>2</sup> para alta. Áreas que combinam a propensão a escorregamentos e corridas foram de 3,14 km<sup>2</sup>, 3,51 km<sup>2</sup> e 6,82km<sup>2</sup>, respectivamente de muito alta, alta e moderada suscetibilidade. No caso dos processos de inundações associadas a corridas de lama e depósitos, as áreas obtidas foram de 2,36 km<sup>2</sup>, 6,23 km<sup>2</sup> e 2,43km<sup>2</sup>, variando respectivamente de muito alta suscetibilidade a moderada. Não se obteve classe de baixa suscetibilidade aos processos geoambientais contemplados, pelo entendimento de que a região configura-se como um cenário de intensa atuação e dinâmica da morfogênese. O mapeamento da

susceptibilidade a processos geoambientais pode ser empregado potencialmente no apoio a cartografia de risco e ao planejamento ambiental.

## **AGRADECIMENTOS**

À Mineropar SA. pela concessão de três bolsas de estágio para fomentar o desenvolvimento da pesquisa. À empresa Geoplanejamento Pesquisa Mineral e Geologia Ambiental SS. Ltda, na pessoa do geólogo José Roberto Góis, por nos possibilitar o envolvimento no trabalho, por ceder o uso da imagem de satélite WordView1, a base cartográfica e o apoio técnico de sua equipe, em especial ao geólogo Giuliano de Mio. Aos bolsistas envolvidos no grupo de trabalho do NuGeo (DeGeol) e LAGEO (DeGeog) CT/UFPR.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA**

- ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D.R. Origem e evolução da Serra do Mar. Revista Brasileira de Geociências, n.28, v.2, p.135-155, 1998.
- ESRI. ArcGis, Spatial Analyst, 3D Analyst. versão 10. Environmental Systems Research Institute, 2010.
- GEOPLANEJAMENTO, Pesquisa Mineral e Geologia Ambiental SS. Ltda. Mapa geológico simplificado - Bacia do rio Jacareí. In. Mapeamento Geológico-Geotécnico da Porção Leste da Serra do Mar do Estado do Paraná, Mapa XVI. Escala: 1:20.000. 2011.
- ITCF- INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTA. Fotografias aéreas. Escala: 1:25.000. 1980.
- MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A. R. Digital terrain modeling: A review of Hydrological, geomorphological an biological applications. Hydrological Processes, v. 5, p. 3-30, 1991.
- MOORE, I. D.; GESSLER, G.A.; PETERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Science Society of America Journal, v.57, p.443-452, 1993.
- TOMLIN, C. D. A Map Algebra. In Proceedings of Harvard Computer Graphics Conference, at Cambridge, Mass, 1983.
- WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds.). Terrain Analysis: Principles and applications. New York: John Wiley, p.51-85, 2000.