

SIMULAÇÃO DA CORRIDA DE MASSA DO KM 42 OCORRIDO NA RODOVIA ANCHEITA

Eymar Silva Sampaio Lopes – eymar@dpi.inpe.br
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/DPI

Paulina Setti Reidel – psriedel@rc.unesp.br
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Campus de Rio Claro

RESUMO

Corridas de massa geradas por escorregamentos estão entre os desastres naturais que podem causar sérios danos às instalações humanas, devido à alta mobilidade e energia de impacto. Prever a trajetória e alcance do material mobilizados nas encostas, é um recurso muito importante na tomada de decisão por parte de órgãos como defesa civil, secretarias de transporte e prefeituras. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi simular as mesmas condições em que ocorreu a corrida de massa na bacia do Rio Pilões, na região de Cubatão, na escala 1:10.000. Três simulações foram escolhidas para representar diferentes cenários, com diferentes alcances de material mobilizado, definidos a partir dos parâmetros ângulo de atrito interno do material e basal com a superfície onde ocorre o movimento. Os resultados mostraram que as corridas de massa simuladas representaram satisfatoriamente o fenômeno, principalmente nas médias encostas da bacia. A validação dos resultados foi feita baseada na altura do material e magnitude da velocidade em vários instantes da simulação, comparadas com imagens aerofotográficas em ambiente SIG e de cálculos empíricos de outros trabalhos. Diferentes configurações do ângulo de atrito basal, em função do mapa de materiais, permitiram simulações mais realistas.

Palavras-Chave: simulação, corridas de massa, Serra do Mar.

ABSTRACT

Debris flows generated by landslides are among the geophysical risks that can cause serious harm to urban areas and industrial facilities due to its high mobility and impact energy. Predicting the trajectory and runout length of the material moved, is a valuable tool to support the decision-making process by institutions such as the civil defense, the transportation office and municipalities. The TITAN2D dynamic model program has been calibrated and applied, at 1:10,000 scale, aiming at simulating the same conditions of debris flows that occurred in Rio Pilões watershed, Cubatão (SP-Brazil)

region. Three simulations have been chosen to represent different scenarios, with different triggered material defined from mapping of scars obtained using ortophotos. The results demonstrate that the simulated debris flows satisfactory represent the phenomenon, especially at medium slopes of the watershed. Validation of results has been done based on the material height and velocity in several time steps of simulation, compared to GIS aerographic images and empirical calculation from other works. More realistic simulations could be obtained using different configurations of material piles and bed friction angle considering the map of materials.

Key-Words : simulation, debris flows, Serra do Mar.

INTRODUÇÃO

Os movimentos gravitacionais de massa do tipo escorregamentos translacionais e corridas de detritos ocorrem continuamente em diferentes escalas de tempo e espaço, como parte da evolução natural das encostas do relevo da Serra do Mar (Guidicini & Nieble, 1984, IPT, 1988; Wolle, 1988; Wolle & Carvalho, 1989; Fernandes & Amaral, 2003), pois sob condições de clima tropical em relevo escarpado, como é o litoral paulista, tais movimentos ocorrem de modo localizado e generalizado, geralmente decorrentes de eventos pluviométricos extremos.

Tais tipos de movimentos estão dentre os riscos ambientais naturais relacionados ao meio físico, geológico e de origem exógena (Cerri, 2001), que podem ter a sua probabilidade de ocorrência aumentada devido às mudanças climáticas globais. No relatório do IPCC (2007), os estudos têm mostrado que eventos extremos de precipitação podem aumentar ainda mais que a média, podendo gerar enchentes e alagamentos mais severos e intensos num clima mais quente, como é a região do sudeste brasileiro.

Uma das principais características das corridas de massa é o potencial de alcançar grandes distâncias com alto poder destrutivo, como o evento ocorrido em dezembro de 1999, em que um escorregamento de dimensões atípicas que afetou a pista sul da Via Anchieta, na altura do km 42 (Wolle et al., 2001; Gramani, 2001).

A modelagem da maioria dos processos físicos em aplicações como movimentos de massa, requer que os sistemas tenham capacidade de representar tais processos dinamicamente, isto é, realizar simulação numérica de processos dependentes do tempo, como o modelo adotado nesse trabalho que utiliza uma estrutura matricial (“raster”) para modelar processos de fluxo e distribuição de material, baseado no

modelo numérico de terreno (MNT) e ângulos de atrito interno do material e basal com a superfície em que se dá o movimento.

Portanto, o objetivo desse trabalho é simular a corrida de massa ocorrida na bacia do Rio Pilões (Figura 1) que afetou a Via Anchieta na altura do km 42, na Serra do Mar paulista, município de Cubatão, na escala 1:10.000, gerando assim, diferentes cenários em função da deflagração por eventos pluviométricos extremos.

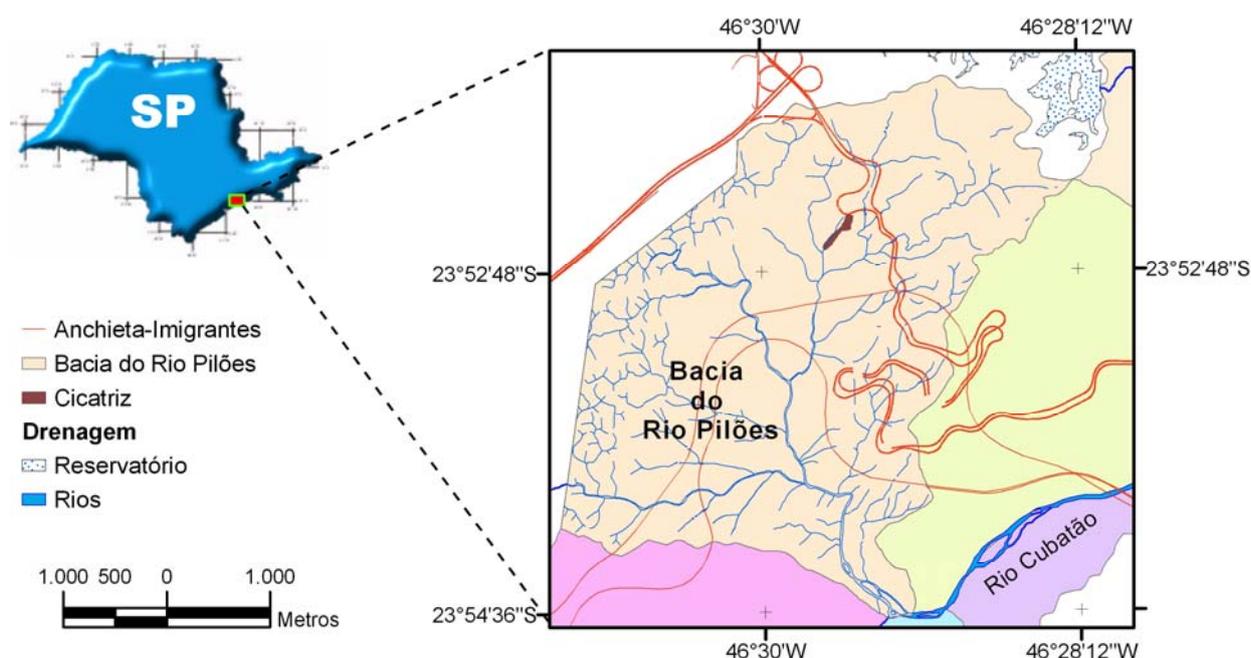


Figura 1 – Localização da área de estudo na bacia do Rio Pilões.

O Evento de Dezembro de 1999

Um evento extremo com fortes chuvas ocorridas nos dias 10, 11 e 12 de dezembro de 1999 incidiu sobre o complexo rodoviário Anchieta-Imigrantes, deflagrando vários escorregamentos, que tiveram grande repercussão por afetar a pista sul descendente da Via Anchieta (km 42). As características do evento, segundo Sadowski et al. (2001), Wolle et al. (2001) e Gramani & Augusto Filho (2004), foram de dimensões atípicas atingindo o substrato rochoso e o saprolito, com profundidades de até 20 m, ~100 m de largura na porção superior e um comprimento do trecho de destaque da massa, da ordem de 200 m. No dia 11 de dezembro de 1999 foram registrados 128 mm em 24 horas e um acumulado de 274 mm em 72 horas nos dias 10,11 e 12. O trecho total percorrido pelo fluxo de detritos foi de cerca de 3 km ao longo do Rio Pilões, passando sob o viaduto da rodovia Imigrantes.

MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Os materiais utilizados neste trabalho foram bases cartográficas (cartas plani-altimétricas), ortofotos de 2001 e inventário de cicatrizes. As etapas de trabalho estão representadas na Figura 2, assim como os elementos (mapas) do banco de dados geográfico construído com o SIG SPRING (Câmara et al., 1996), para dar suporte a todas etapas do trabalho.

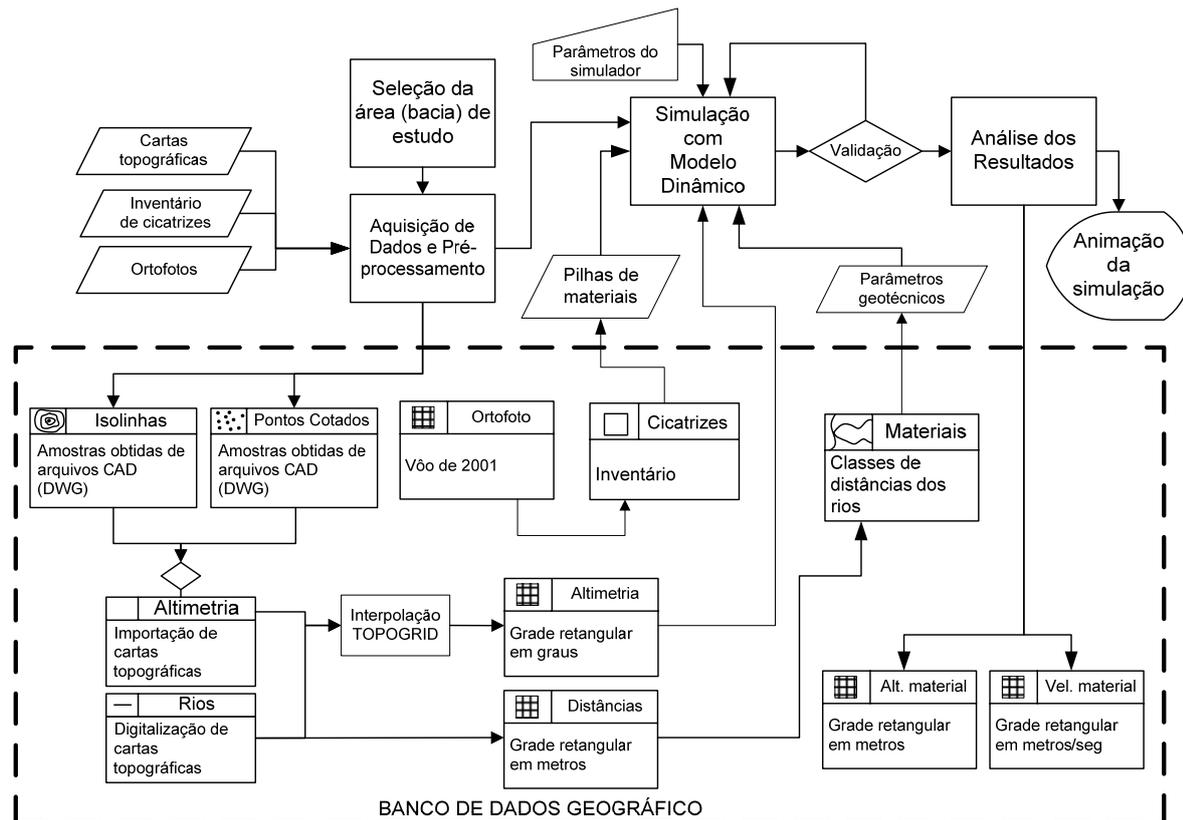


Figure 2 – Etapas de trabalho e banco de dados associado.

Os dados de bases plani-altimétricas como estradas, drenagens e amostras de altimetria (isolinhas com equidistância de 5m e pontos cotados), foram obtidas na Agência Metropolitana da Baixada Santista – AGEM no formato DWG do AutoCad. A elaboração de um modelo numérico de terreno (MNT) com tais dados foi realizada com o programa ArcGIS 9.1 (ESRI, 2005) utilizando o interpolador TOPOGRID, pois este apresentou melhor resultado para a representação das encostas e também dos vales, com apoio da drenagem como linha de quebra (Lopes et al., 2006).

O mapa de inventário com polígonos de cicatrizes foi elaborado a partir de fotos aéreas ortorretificadas de um vôo realizado no ano 2001, sendo que somente a cicatriz maior (a que afetou a Via Anchieta) foi utilizada como a pilha de material a ser deflagrada nas

simulações. A pilha de material foi definida a partir das medidas dos eixos maiores e menores do polígono, além do ângulo do eixo maior, com base no centro de massa de cada polígono. A espessura da pilha foi definida a partir de relatos em trabalhos científicos e o volume calculado a partir de uma equação parabólica do tipo $P * (1 - ((x-xc)/xr)^2 - ((y-yc)/Yr)^2)$ – assumindo um ângulo de orientação de zero.

Modelo Adotado

O modelo matemático adotado neste trabalho para simulação do alcance e trajetória de corridas de massa, resume-se na definição dos parâmetros necessários para calcular o momento em uma direção x de uma profundidade média de uma massa em movimento em cada instante t , dada pela Equação 1:

$$\partial_t(h\bar{v}_x) + \partial_x\left(h\bar{v}_x^2 + \frac{1}{2}k_{ap}g_z h^2\right) + \partial_y(h\bar{v}_x\bar{v}_y) =$$

$$\underbrace{\underbrace{e_s \bar{v}_x}_{A} + \underbrace{g_x h}_{B}}_{C} - \underbrace{hk_{ap} \operatorname{sgn}\left(\frac{\partial \bar{v}_x}{\partial y}\right) \partial_y(g_z h) \sin \phi_{int} - \operatorname{sgn}(\bar{v}_x) \left[g_z h \left(1 + \frac{\bar{v}_x}{r_x g_z}\right) \right]}_{D} \tan \phi_{bed} \quad (\text{Equação 1})$$

onde r_x = raio de curvatura na direção x na superfície basal;
 A = momento devido à erosão;
 B = força gravitacional dirigida;
 C = força intergranular de Coulomb devido à velocidade normal gradiente para a direção do fluxo;
 D = força de resistência devido ao atrito de Coulomb na base do movimento;

O sistema de equações acima, estritamente hiperbólico e não linear, foi implementado no programa TITAN2D (Iverson & Denlinger, 2001, Patra et al., 2005), um ambiente computacional paralelo que trabalha sobre uma grade adaptativa, e que utiliza o esquema de “Godunov” para resolver as equações diferenciais parciais (EDP).

O esquema de grade adaptativa utilizada no TITAN2D permite uma concentração no poder computacional em locais de especial interesse. Uma grade mais refinada permite capturar, por exemplo, a borda do caminho percorrido por um fluxo (corrida de massa), assim como locais onde a topografia muda mais bruscamente. Já numa grade menos refinada podem ser aplicados cálculos onde os valores mudam pouco, sendo relativamente constantes.

O TITAN2D realiza as simulações dentro da área definida pelo MNT, que contém dados na forma X,Y,Z, isto é, longitude, latitude e elevação em metros. O arquivo de MNT foi convertido para o formato definido pelo SIG GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), o qual faz interface com o TITAN2D. A precisão das

simulações é altamente dependente da qualidade e resolução do MNT, assim como, dos parâmetros **ângulo de atrito interno** do material (ϕ_{int}) e **basal** com a superfície em que se dá movimento (ϕ_{bed}), os quais refletem no comportamento da corrida de massa, produzindo diferentes trajetórias, alcances, altura do material e velocidades.

Para obter simulações mais realistas foi utilizado um mapa de materiais que corresponde a um mapa com a mesma área do MNT, também no formato matricial (raster) do SIG GRASS, que informa a variação do ângulo de atrito basal em função de diferentes superfícies definidas pelo usuário. Tal mapa foi elaborado a partir da rede de drenagem criando um mapa de distâncias (“buffering”) com largura de 30 metros (Figura 3). Diferentes valores do ângulo de atrito basal nas encostas (Material 1) e nos canais de drenagem foram fornecidos, pelo fato das vertentes apresentarem declividades maiores e praticamente mantêm-se o mesmo nível de saturação até atingir os canais. Nos canais há um aporte de água maior favorecendo o transporte da massa, assim, estes foram divididos em canais de primeira ordem (Material 2) que estão nas porções superiores da bacia com maiores declividades e canais de segunda ordem (Material 3) com aporte maior de água nas porções inferiores da bacia e com menores declividades.

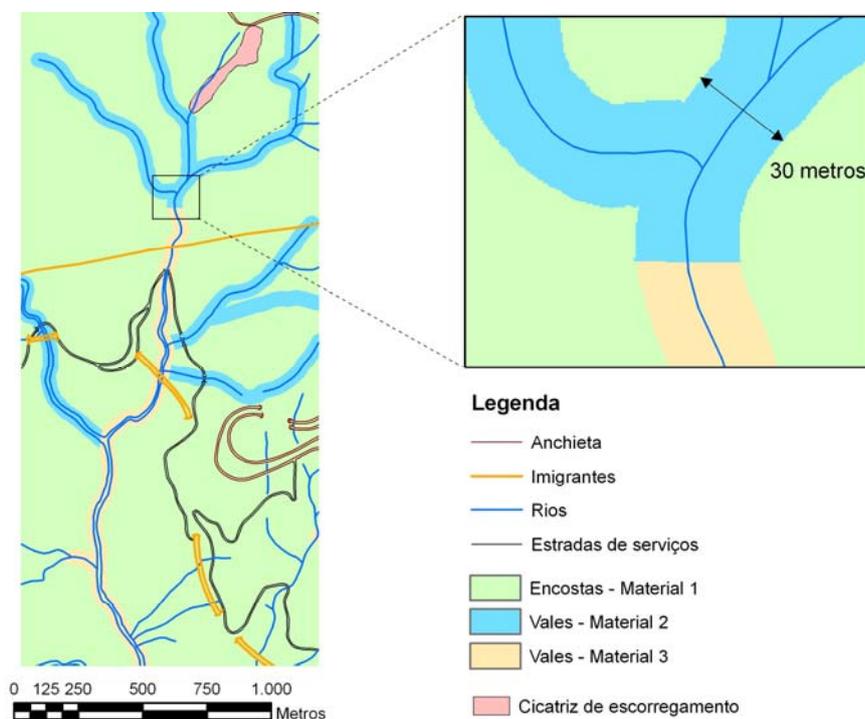


Figure 3 – Mapa de materiais definido a partir da rede de drenagem para variação do ângulo de atrito com a superfície em que se dá o movimento e principais distâncias medidas nos canais (principal e secundário) a partir de suas cabeceiras.

Os valores de ângulo de atrito (ϕ) utilizados nas simulações partem da hipótese que o material rompeu-se e irá desenvolver um movimento, portanto, foram adotados valores de ângulo de atrito interno menores que qualquer valor residual medido por ensaios de resistência de cisalhamentos. Considerou-se também que, fatores como a redução do ângulo de atrito interno, redução da coesão, redução da viscosidade e aumento da pressão neutra são fatores intrínsecos que favorecem a mobilidade de uma corrida (IPT, 1988). Em testes para calibração de um modelo numérico semelhante, Bertolo & Wieczorek (2005) chegaram a valores entre 25° e 26° de atrito interno até atingir a rede drenagem e a partir desse ponto utilizaram valores de 5,7° e 11,5° para ângulo de atrito basal.

Para validar os resultados das simulações foram utilizados os dados de saída, isto é, altura do material mobilizado com a área de inundação e a magnitude da velocidade em diversos tempos, para comparar com cálculos empíricos relatados em outros trabalhos.

As condições de pré-ruptura do talude e de precipitação não foram abordadas nas simulações. No caso da precipitação, considerada como agente efetivo na deflagração dos escorregamentos foram consideradas as condições semelhantes ao registrado no dia do evento, isto é, ação combinada de chuva precedente (acumulada por 4 dias) e chuva intensa de curta duração, com índices pluviométricos acima de 250 mm – 300 mm diários.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho inicial foi estabelecer uma coerência entre os parâmetros requeridos pelo programa e os dados disponíveis. Foram necessários vários testes para obter um equilíbrio entre a resolução da grade numérica de altimetria, a resolução da grade computacional, o tempo de processamento e os ângulos de atrito interno e basal, com a configuração do computador utilizado.

A Figura 4 mostra duas ortofotos, antes do evento (em 1885) e após o evento (em 2001), além das distâncias ao longo do canal de drenagem por onde passou o material, utilizadas para descrever a simulações.

Foram adotados os seguintes parâmetros para a pilha de material; espessura de 22m, coordenadas do centro da pilha de 348089 (em X) e 7358707 (em Y), eixo maior e menor da pilha de 200m e 70m, orientação do eixo X com maior eixo de 52°, com um volume inicial de 345.575 m³. Em todas as simulações foram adotados o **tempo máximo** de 240s com **tempo de amostragem** de 2s, ou um **número máximo de**

passos de 40000, suficientes para que o material atingisse o cruzamento da rede drenagem na distância de 1780m (Figura 4).

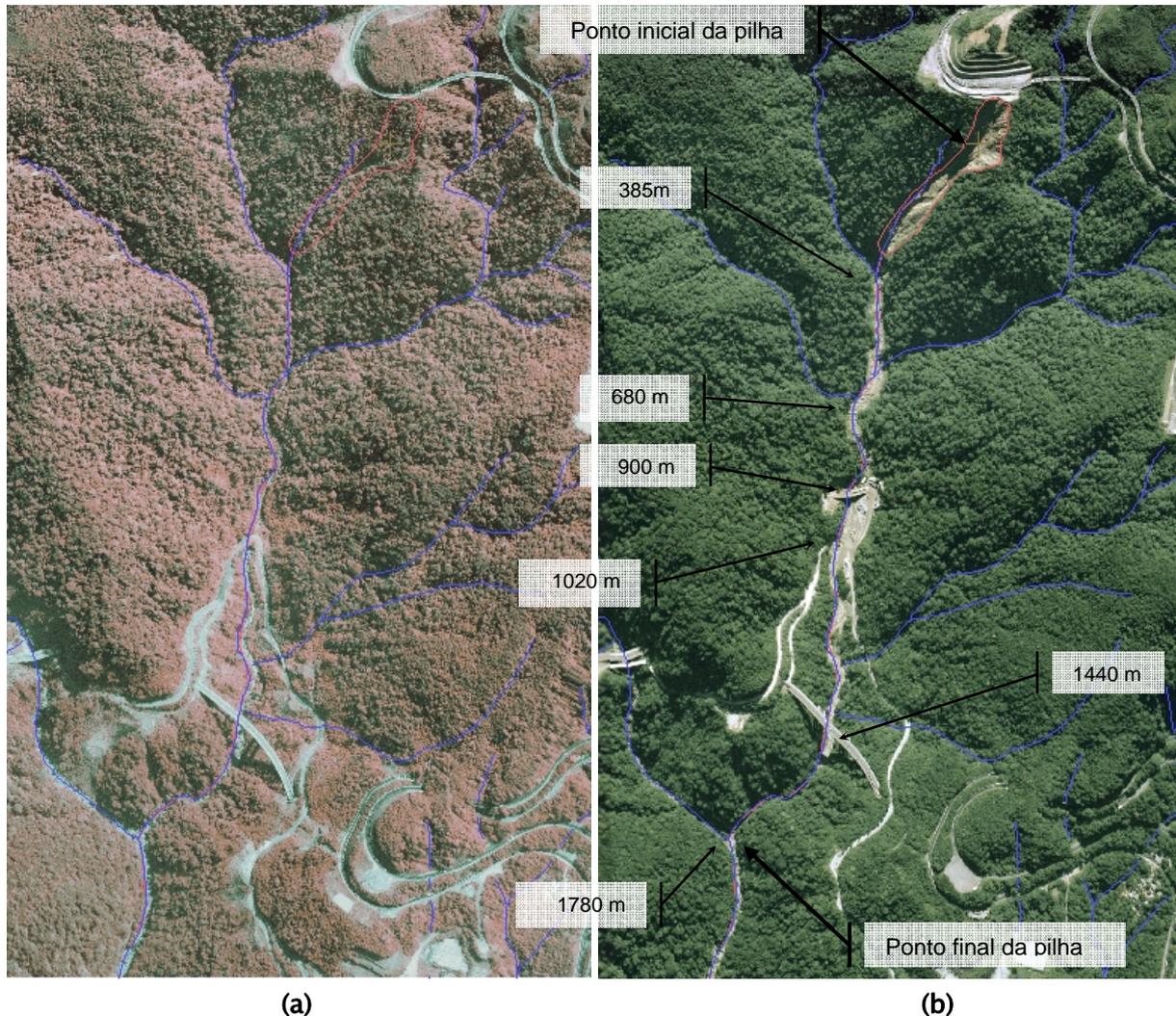


Figura 4 – Área da corrida no canal principal do Rio Pilões nas ortofotos de 1985 (a) e 2001 (b).

Várias simulações foram realizadas sem utilizar inicialmente o mapa de materiais. A Figura 5 mostra dois extremos nos valores de ângulo de atrito interno (ϕ_{int}) e basal (ϕ_{bed}) utilizados em duas simulações (S1 e S2). Na simulação S1 foram utilizados respectivamente 35° e 25° e na simulação S2 os valores 20° e 11° .

Nota-se na simulação S1 que valores altos dos ângulos de atrito interno e basal não permitiram um alcance condizente com o esperado, entretanto, a trajetória do material acompanhou bem a linha de drenagem. No tempo $t= 22s$ nota-se um leve avanço do material sobre a encosta oposta (margem direita) ao atingir o canal principal do Rio Pilões. O alcance, após 136 segundos de processamento, chegou a 900 metros do ponto inicial, com velocidade final na altura máxima em torno de 0,44 m/s.

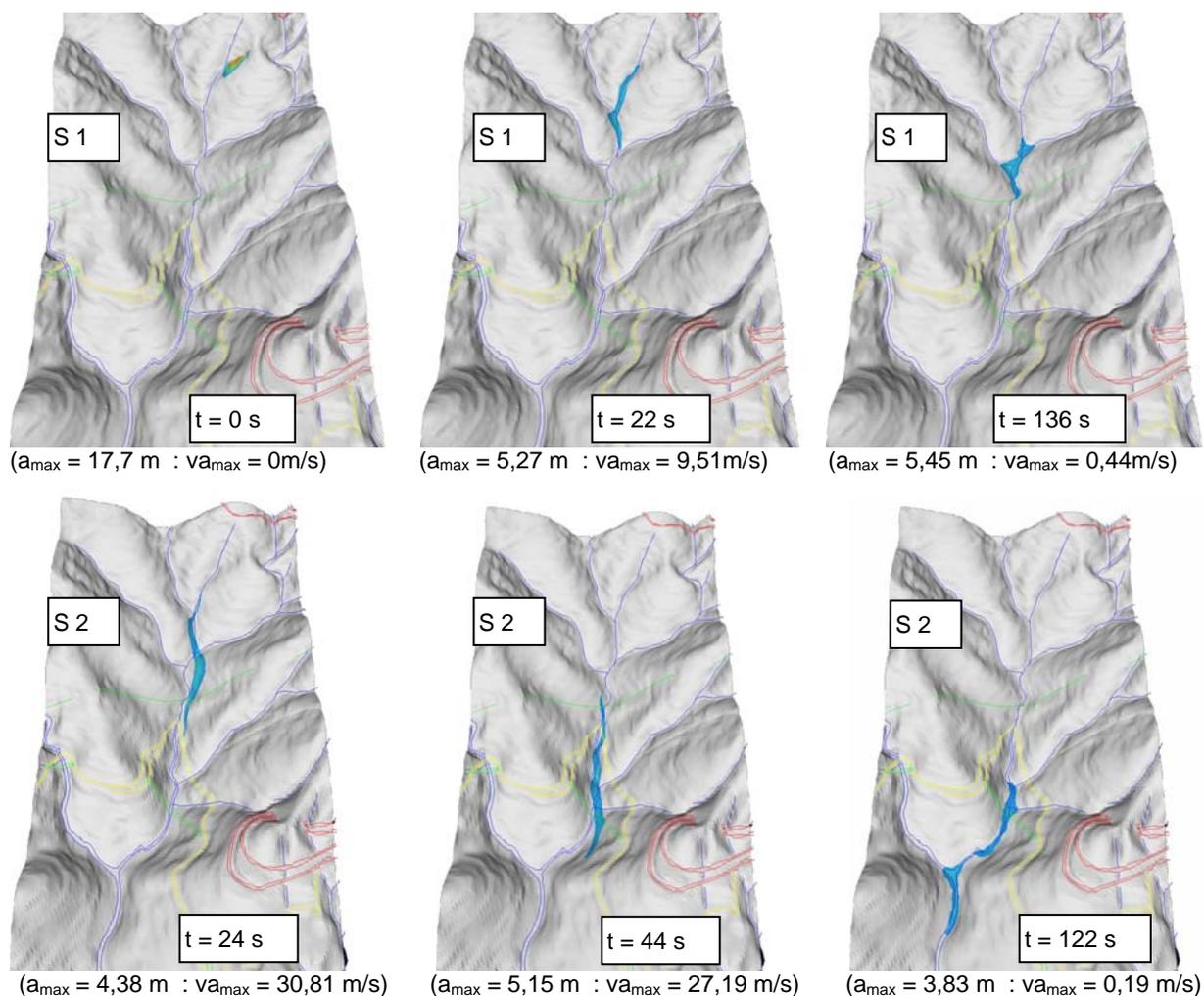


Figura 5 – Resultados das simulações S1 e S2. Alcance, altura e velocidade máxima em cada tempo. (onde a_{max} = altura máxima da pilha e $v_{a_{max}}$ = velocidade do material na altura máxima)

Na simulação S2 se obteve um alcance de 2090m, ultrapassando sob o viaduto da rodovia Imigrantes, vindo a praticamente parar a 300m abaixo do cruzamento do Rio Pilões com um afluente, com uma velocidade final na altura máxima do material de 0,19 m/s, no tempo 122s. Nota-se que no tempo t=24s o material avançou sobre a encosta na margem esquerda, não conseguindo contornar a curva do rio, com uma velocidade de 30,81m/s. No tempo t=44s o material avançou novamente sobre a encosta na margem esquerda, não conseguindo contornar a curva do rio, na distância de 1640m. Por fim, no tempo t=122s a velocidade cai para 0,19m/s e praticamente não há mais movimento do material.

As simulações acima mostram a necessidade de ter valores diferentes do ângulo de atrito basal nas encostas e no canal, onde se passou a utilizar um mapa de materiais com valores diferenciados nesses locais, porém, ainda não foram satisfatórios.

Para diferenciar o fluxo de massa nos canais de drenagem, das porções superiores da bacia que apresentam maiores declividades e das inferiores com menor declividade,

mas com aporte maior de água, os canais foram divididos em dois materiais. A Figura 3 mostra que ao longo de toda rede drenagem foi considerada uma faixa de 30m de cada lado do eixo central dos canais. Os valores de ângulo de atrito interno e basais para o material 1 (encostas), material 2 (vales) e material 3 (vales), que apresentaram melhor resultado foram 22° , 20° , 18° e 9.5° respectivamente, buscando diminuir o alcance do material e concentrar mais a corrida na linha da drenagem. Com estes valores a corrida alcançou a distância da 1780m, com uma velocidade de 0,23m/s na altura máxima de material de 4,94m. A Figura 6 mostra seis tempos escolhidos para representar esta simulação, que mostra um alcance menor em relação a anterior.

Nota-se que a corrida encaixou-se melhor na rede de drenagem, como mostrou o tempo $t=88s$. Para atingir a distância de 1780m, foram necessários um tempo 282s, em que praticamente não havia mais movimento. Ambas as velocidades, na altura máxima de 4,94m com 0,23m/s e na frente da corrida com 0,48m/s, chegaram a valores bem pequenos. Analisando os resultados da simulação S3 no tempo $t=282s$ sobreposto às ortofotos de 2001, podem-se validar por comparação os resultados obtidos. A Figura 7 mostra alguns perfis transversais realizados sobre as grades de altura máxima do material, de modo a caracterizar a corrida nesse tempo.

No tempo $t=282s$ (Figura 7), com velocidades abaixo de 0,5m/s, nota-se nos perfis FF', GG' e HH', que o material da corrida distribui-se de modo aproximadamente simétrico a partir do leito do rio. Nas proximidades do viaduto da rodovia Imigrantes, nota-se um acúmulo maior de material, com uma altura máxima no perfil FF' de 5,11m. Apesar da ortofoto de 2001 não mostrar o acúmulo de material nessa região, pode-se atribuir tal fato a imperfeições do MMT, na qual observou-se um espaçamento maior das curvas de nível nesse local, criando declividades entre 2° a 5° .

Foram realizados também alguns perfis longitudinais ao longo do canal de drenagem, utilizados a altura máxima do material e a magnitude da velocidade, para o tempo $t=282s$ da simulação S3. Na Figura 8 são apresentados os perfis em gráficos de altura de material X velocidade e altimetria X declividade, ao longo do canal do Rio Pilões, onde nota-se, de modo geral, que onde há um aumento da espessura do material, há uma diminuição da velocidade e também uma diminuição da declividade.

No tempo $t=282s$ (Figura 8), mostra que elevada espessura de material na altura do viaduto da Imigrantes, reflete numa baixa velocidade em consequência da diminuição da declividade num trecho maior, assim como da forma mais aberta do canal de drenagem (em perfil FF' e GG' na Figura 8).

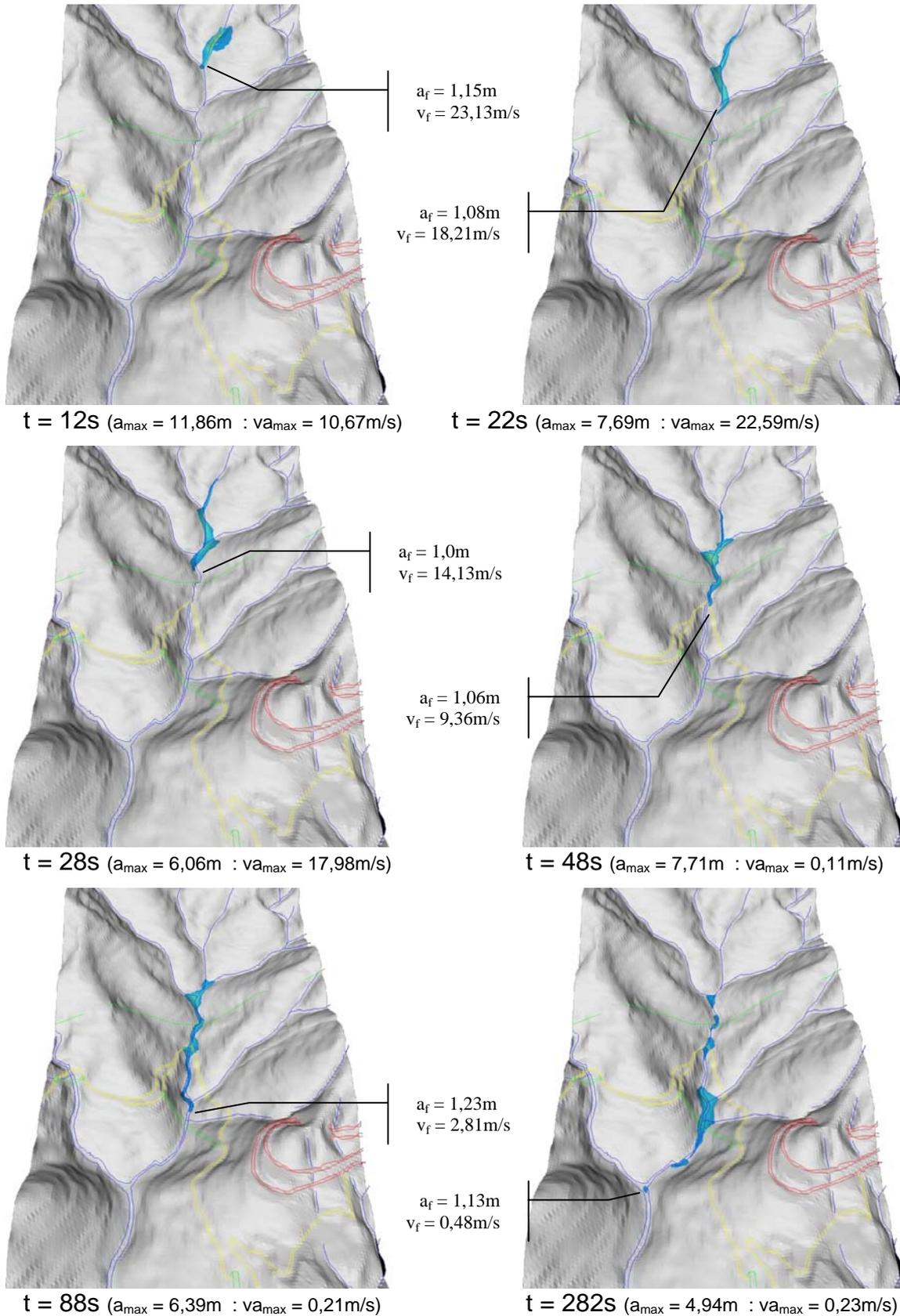


Figura 6 - Resultados da simulação S3 com mapa de 3 materiais. Alcance, altura e velocidade máxima em cada tempo. (onde a_{max} = altura máxima da pilha, va_{max} = velocidade do material na altura máxima, a_f = altura a partir de 1m na frente da corrida e v_f = velocidade na frente da corrida).

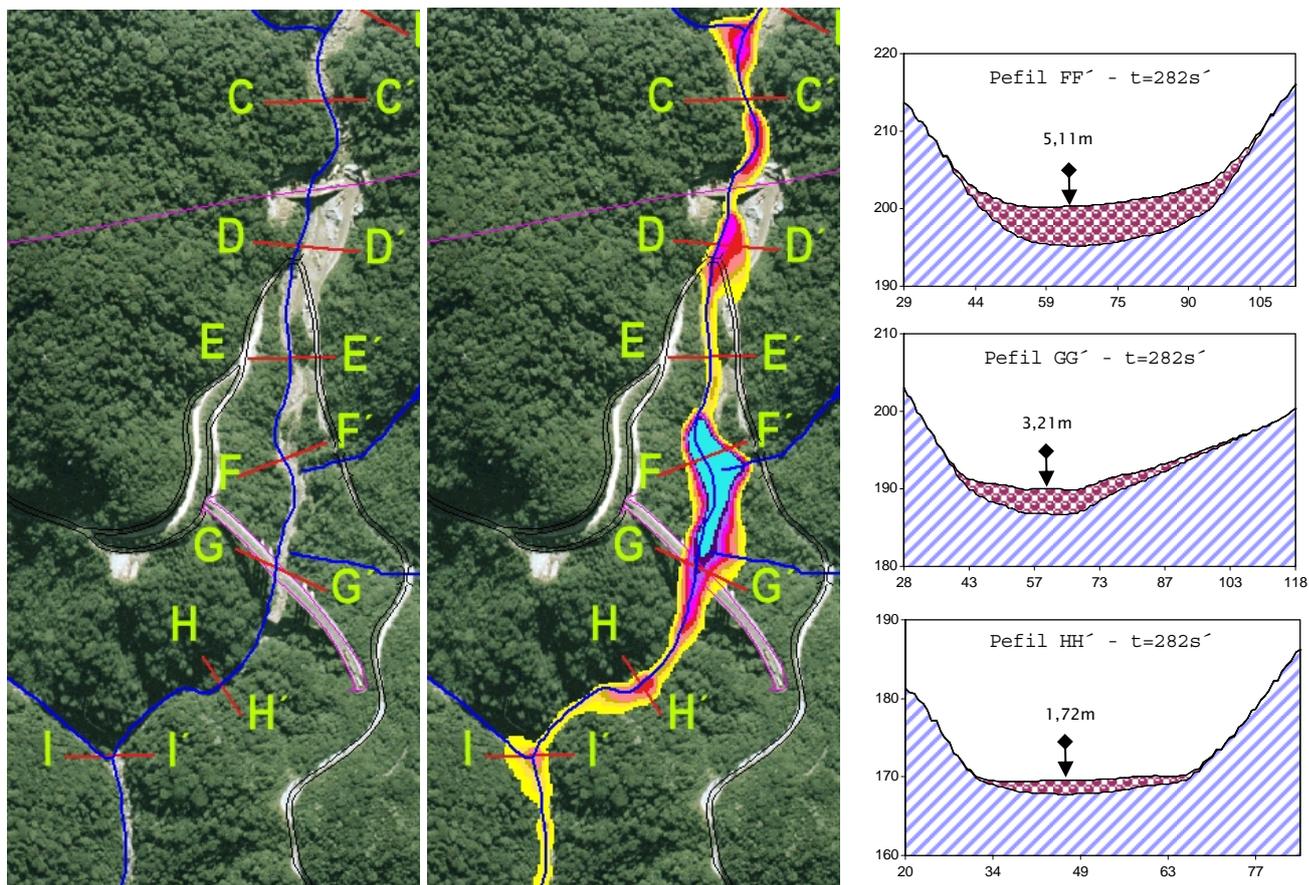


Figura 7 – Perfis transversais da corrida na simulação S3 no tempo $t=282s$ e em planta nas ortofotos de 2001.

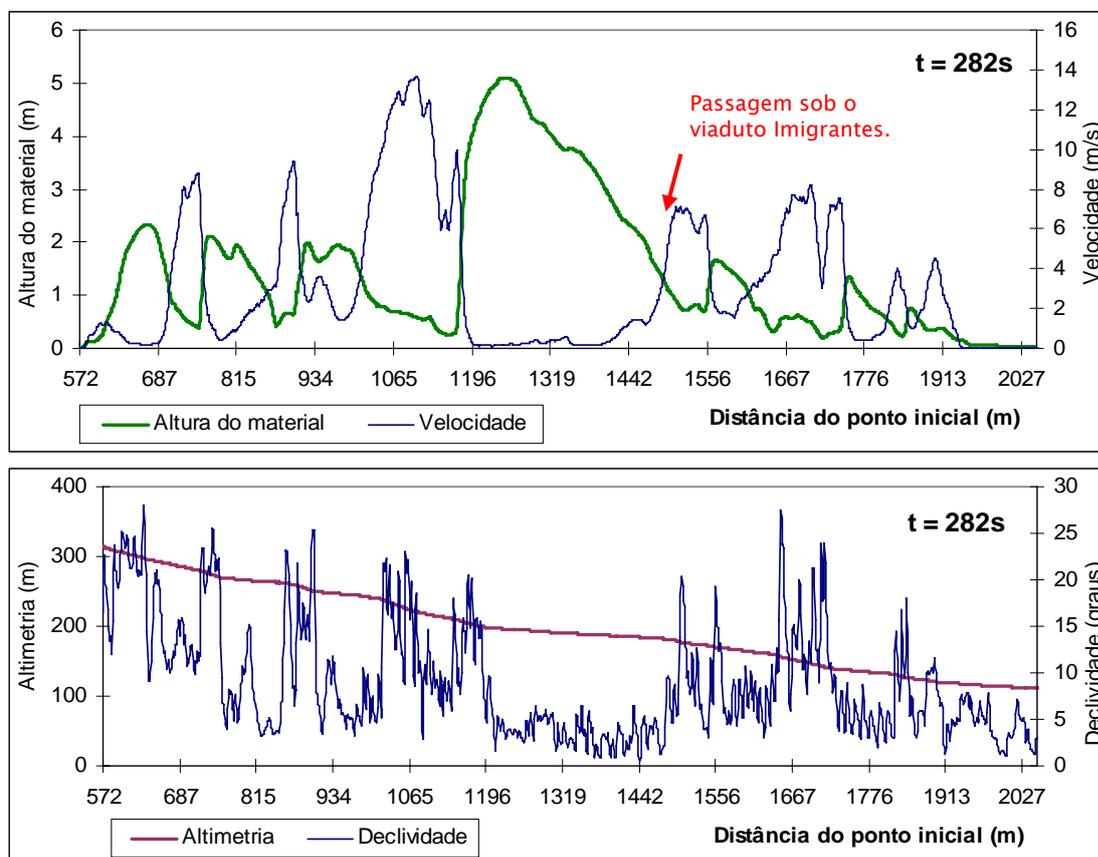


Figura 8 – Gráficos de altura de material X velocidade e altimetria X declividade no canal do Rio Pilões.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em qualquer das porções das encostas ou dos canais de drenagem, nota-se que seria muito útil a possibilidade de se fornecer diferentes ângulos de atrito interno, permitindo um controle mais efetivo das corridas de massa simuladas.

Conclui-se que a utilização dos mapas de materiais foi importante para controlar a mudança de ângulo de atrito basal, podendo assim dar um caráter mais realista às simulações, semelhante ao que vem sendo utilizado por outros modelos, que fazem uso de parâmetros reológicos como viscosidade e coeficiente de turbulência.

As simulações realizadas com o TITAN2D, que tem caráter estritamente friccional, mostraram-se adequadas com os resultados obtidos, porém, se algumas limitações como o ângulo de atrito interno do material invariável e a dimensão das pilhas no instante inicial, configurado por uma única equação, forem sanadas, os resultados poderiam ter sido melhores. A utilização de outros modelos combinados também é uma recomendação para tratar fenômenos tão complexos como as corridas de massa.

Mesmo com as características do modelo utilizado pelo TITAN2D, as simulações mostraram o potencial desse modelo para ser aplicado em áreas adjacentes às bacias selecionadas, que poderiam incluir instalações urbanas como as dos Bairros Cotas ou trechos de estradas que seriam afetados por futuras corridas de massa. Tais simulações poderiam ser utilizadas para dar apoio e subsídios à tomada de decisão por parte de órgãos como defesa civil, secretaria de transportes e prefeituras, criando políticas públicas com o objetivo de minimizar os efeitos das corridas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTOLO, P.; WIECZOREK, G.F. Calibration of numerical models for small debris flows in Yosemite Valley, California, USA. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, vol. 5, p. 993-1001, 2005.

CÂMARA, G; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, n.20: (3), p.395-403, May-Jun 1996.

CERRI, L.E.S. **Subsídios para a seleção de alternativas de medidas de prevenção de acidentes geológicos**. Rio Claro, 2001. 78p. Tese (Livre-Docência) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

ESRI – Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop Help**. Redlands, California, USA, 2005.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. 4.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. Cap. 3, p. 123-194.

GRAMANI, M.F. Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos (“Debris Flows”) no Brasil e comparação com alguns casos internacionais. 2001. 372f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Solos) – EPUSP - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GRAMANI, M.F.; AUGUSTO FILHO, O. Analysis of the triggering of debris flow potentiality and the run-out reach estimative: an application essay in the Serra do Mar mountain range. In: International Symposium on Landslides, 9, 2004, Rio De Janeiro. **Anais**. V2, p.1477-1483.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2.ed. São Paulo. Edgard Blücher; Ed. da Universidade de São Paulo, 1984. 194p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) **Programa Serra do Mar: Estudo geotécnico dos principais mecanismos de instabilização na Serra do Mar**. São Paulo, 1988. Relatório n 25957.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Working Group I, AR4, Chapter 11. Regional Climate Projections. Paris, 2007. http://www.cptec.inpe.br/mudancas_climaticas/

IVERSON, R.M.; DENLINGER, R.P. Flow of variably fluidized granular masses across three-dimensional terrain – 1. Coulomb mixture theory. **Journal of Geophysical Research**, n.B1: (106), p.537-552, Jan-10, 2001.

LOPES, E.S.S.; RIEDEL, P.S.; VIDOTTI, M.; MERINO, E.R. Análise de modelo numéricos de terreno para modelos geomorfológicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6, 2006, Goiânia. **Anais**. V.2, p.1-9.

PATRA, A.K. et al. Parallel adaptive numerical simulation of dry avalanches over natural terrain. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, n.139, p.1-21, Jan 2005.

PITMAN, E.B. et al. A model of granular flows over an erodible surface. **Discrete and Continuous Dynamical Systems – Series B**, n.00: (000), p.000-000, 2003.

SADOWSKI, G.R.; KANJI, M.A.; MOTIDOME, M.J. Condicionantes geológicos do escorregamento do km 42 da Via Anchieta, pista sul. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 3 - COBRAE, 3, 2001, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: p.115-123.

WOLLE, C.M. Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas. São Paulo, 1988. 394p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP.

WOLLE, C.M.; CARVALHO, C. S. Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. **Solos e Rochas**, v. 12, p. 27-36, 1989.

WOLLE, C.M.; MELLO, L.G.S.; ALTRICHTER, G. O escorregamento do km 42 da Via Anchieta: histórico das ocorrências e provável mecanismo de instabilização. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 3 - COBRAE, 3, 2001, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro.