

**Publicação da / Publicacion de la / Publication of**  
**ABMS - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos**  
**e Engenharia Geotécnica**  
**ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**  
**Volume 28, No. 1, Janeiro-Abril 2005**  
**Índice / Índice / Contents**

## ARTIGO / ARTÍCULO / ARTICLE

- PP: 212 Investigações de Campo e de Laboratório na Argila de Sarapuí  
*Field and Laboratory Tests on Sarapuí Clay*  
Investigación de Campo y Laboratorio de la Arcilla de Sarapuí  
Márcio de Souza Soares de Almeida, Maria Esther Soares Marques, Willy Alvarenga Lacerda, Marcos Massao Futai 3
- PP: 213 Variação da Capacidade de Carga com a Sucção Matricial e com a Profundidade em Provas de Carga Sobre Placa em Solo Colapsível  
*Variation of the Bearing Capacity as a Function of Matric Suction and Depth in Plate Load Tests on Collapsible Soil*  
Variación de la Capacidad de Carga, con la Succión Matricial y la Profundidad en Pruebas de Carga Sobre Placa en Suelos Colapsibles  
José Carlos A. Cintra, Marcos F. Macacari, Nelson Aoki, Orenio M. Vilar 21
- PP: 214 Análise Comparativa da Estabilidade de Dois Taludes da Formação Serra Geral/RS  
*Comparative Stability Analysis of Two Slopes from Serra Geral Formation/RS*  
Análisis Comparativa de la Estabilidad de Dos Taludes de la Formación Serra Geral, Brasil  
Lilian Perazzolo, Adriano Virgílio Damiani Bica, Luiz Antônio Bressani, Juliana de Azevedo Bernardes, Flávia Burmeister Martins, Juan Antonio Altamirano Flores, Eduardo Azambuja 31
- PP: 215 Verificação Experimental das Equações para Determinação do Fluxo de Água em Descontinuidades Rochosas  
*Experimental Verification of the Equations for Determination of the Water Flow in Rocky Discontinuities*  
Verificación Experimental de las Ecuaciones para la Determinación del Flujo del Agua en Descontinuidades Rocosas  
Evandro Moraes da Gama, Marcus Vinicius Vidigal 43
- PP: 216 Fundações com Tubulões para Linhas de Transmissão - Proposta de um Procedimento de Projeto  
*Pier Foundations for Power Transmission Lines - Proposal for a Design Procedure*  
Fundaciones en Pilotes de Gran Diámetro para Lineas de Transmisión de Energía - Proposición de un Procedimiento para Diseño  
João Bosco Cavalcanti, Jorge Martins Falcão 51
- PP: 217 Simplified Approach for Load-Settlement Curve Estimation of Piled Rafts  
*Método Simplificado para Estimativa da Curva Carga-Recalque de Radier Estaqueados*  
Método Simplificado para Estimar la Curva Carga-Asentamiento de Cimentación sobre Pilotes  
M.M. Sales, R.P. Cunha, H.G. Poulos, J.C. Small 73
- PP: 218 Análise de um Modelo de Previsão de Deslizamentos (Shalstab) em Diferentes Escalas Cartográficas  
*Analysis of a Landslides Model Prediction (Shalstab) in Different Cartographic Scales*  
Análisis de un Modelo de Previsión de Deslizamientos (Shalstab) en Distintas Escalas Cartográficas  
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes, Renato Fontes Guimarães, Osmar Abílio de Carvalho Júnior, Nelson Ferreira Fernandes 85
- PP: 218 Análise de Movimentos de Massa com Base em Observações do Evento do Ano 2000 de Campos de Jordão (Estado de São Paulo, Brasil)  
*Analysis of Mass Movements Based on Observations of 2000' Campos de Jordão Event (São Paulo State, Brazil)*  
Análisis de Movimientos de Masa con Base en Observaciones del Evento del Año 2000 de Campos de Jordão (Estado de São Paulo, Brasil)  
Antonio Manoel dos Santos Oliveira, Oswaldo Augusto Filho 99
- NOTA TÉCNICA / NOTA TÉCNICA / TECHNICAL NOTE
- NT: 81 Parâmetros Geotécnicos e Previsão da Capacidade de Carga de Estacas Apiloadas em Solo Tropical Arenoso Obtidos com o Pressiômetro Ménard  
*Geotechnical Parameters and Prediction of Bearing Capacity of Pounded Piles in Tropical Sandy Soil Obtained with Ménard Pressuremeter Testing*  
Parámetros Geotécnicos y Predicción de la Capacidad de Carga de Pilotes "Apiloados" en Suelo Tropical Arenoso Obtenidos con el Presímetro Ménard  
Erinaldo Hilário Cavalcante, Heraldo Luiz Giacheti, Raimundo Leidimar Bezerra 115

# Análise de Movimentos de Massa com Base em Observações do Evento do Ano 2000 de Campos de Jordão (Estado de São Paulo, Brasil)

## *Analysis of Mass Movements Based on Observations of 2000' Campos de Jordão Event (São Paulo State, Brazil)*

## Análisis de Movimientos de Masa con Base en Observaciones del Evento del Año 2000 de Campos de Jordão (Estado de São Paulo, Brasil)

Antonio Manoel dos Santos Oliveira, Oswaldo Augusto Filho

**Resumo.** Os movimentos de massa provocados pelas chuvas do início do ano 2000 em Campos de Jordão foram considerados como um evento oportuno ao aprofundamento do conhecimento dos processos, por meio de observações de campo e aplicação de modelos teóricos.

Com efeito, a intensidade e a duração das chuvas, de caráter excepcional, provocaram a manifestação de centenas de escorregamentos em diversas situações de encostas, muitos dos quais se manifestaram como ou evoluíram para corridas (debris flow) de origem primária, com maior potencial destrutivo.

Este trabalho analisa o papel dos principais fatores condicionantes destes escorregamentos / corridas, colocando em relevância a combinação da ação da água (infiltração e escoamento superficial concentrado) com a declividade da encosta.

Estes fatores são apontados como os principais indicadores a serem aplicados nas primeiras etapas de análises de risco de escorregamentos de solo e corridas de origem primária e os projetos de microdrenagem são propostos como uma das medidas mais efetivas para a prevenção destes processos.

**Palavras-chave:** escorregamentos de solo, corridas, ação da água, indicadores de risco.

**Abstract.** *The mass movements triggered by the rainfall event of the beginning of year 2000 in Campos de Jordão provided an opportune circumstance to improve the knowledge about the mechanisms of these processes, based on field observations and application of theoretical models.*

*Thus, the unusual intensity and duration of this rainfall event triggered hundreds of shallow landslides in diverse situations of hillsides, many of which changed to or manifested like debris flow of primary origin, with higher destructive potential.*

*This paper analyzes the influence of the main controll factors of these landslides and its change to debris flow, detaching the combination between the action of the water (infiltration and concentrated superficial flow) and the hillside slope.*

*These controll factors are pointed as the main indicators to be applied in the first stages of landslides and debris flow risk analyses and the the microdraining projects are considered as one of the measures more effective to the prevention of these processes.*

**Key words:** *landslides; debris-flow; water action; risk indicators.*

**Resumen.** Los movimientos en masa provocados por las lluvias del inicio del año 2000 en Campos de Jordão fueran considerados como un evento oportuno para mejorar el conocimiento de los procesos, por medio de observaciones de campo e aplicación de modelos teóricos.

La intensidad y la duración de las lluvias, de reconocido carácter excepcional, provocaron la manifestación de centenas de deslizamientos en diversas situaciones de vertientes, mucho de ellos cambió al flujo de fango (debris flow) de origen primario, con mayor potencial destructivo.

Este trabajo analiza el papel de los principales factores condicionantes de estos deslizamientos que se manifiestan como flujos de fango, demostrando la relevancia la combinación de la acción del agua (infiltración y flujo superficial concentrado) con la declividad de la vertiente.

Antonio Manoel dos Santos Oliveira, Dr., Laboratório de Geoprocessamento, Universidade Guarulhos, Guarulhos, SP, Brasil. e-mail: aoliveira@prof.ung.br.

Oswaldo Augusto Filho, Dr., Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. e-mail: oafilho@sc.usp.br.

Recebido em 31/5/2004; Aceitação final em 9/9/2004; Discussões até 31/8/2005.

Estos factores son apuntados como los principales indicadores para aplicación en las primeras etapas de análisis de risco de los deslizamientos y flujos de fango del origen primaria y los proyectos de microdrenaje se consideran como una de las medidas más eficaces a la prevención de estos procesos.

**Palabras clave:** deslizamientos de tierra; flujos de fango; acción del agua; indicadores de risco.

## 1. Introdução

A compreensão dos processos de dinâmica superficial, conhecidos por movimentos de massa (Augusto Filho & Virgili, 1998), em relevos serranos de regiões tropicais úmidas como a Serra do Mar e da Mantiqueira, no Sudeste do Brasil, vem sendo enriquecida pelas observações dos eventos e pelas demonstrações teóricas.

As observações envolvem os procedimentos usuais da Geologia de Engenharia, fundamentados no método das hipóteses progressivas (Santos, 2002) que contemplam, além do esforço de observação em si, com diversas técnicas de investigação e monitoramento, os raciocínios indutivo e dedutivo dos processos e suas leis de manifestação, ou seja, suas causas, agentes e condicionantes (Guidicini & Nieble, 1984; Wolle & Carvalho, 1989; Augusto Filho & Virgili, 1998). Tais observações buscam, portanto, em última análise, configurar modelos de comportamento ou fenomenologias que os identifiquem com as classes consideradas nas classificações geotécnicas reconhecidas e que os expliquem de maneira satisfatória.

As demonstrações teóricas são elaboradas em modelos concebidos para explicar as observações realizadas, necessariamente simplificados em relação à realidade e freqüentemente apoiadas por ensaios e teorias geotécnicas (Vargas, 1999). Fundamentam-se portanto em práticas geotécnicas como ensaios laboratoriais (como, por exemplo, em Wolle *et al.*, 1978) ou correlações (como em Guidicini & Iwasa, 1976), constituindo retro-análises e análises de estabilidade que procuram caracterizar os mecanismos dos processos, com base no conhecimento teórico da geotecnia que compreende teorias como as das deformações elásticas, do equilíbrio limite, etc (Vargas, 1999) e no conhecimento de outras áreas científicas, como, por exemplo, a hidrologia (Guimarães *et al.* 1999).

É o diálogo permanente entre as observações de campo e as demonstrações teóricas que impulsiona o desenvolvimento do conhecimento a respeito dos processos. As demonstrações teóricas, conseguindo avançar na explicação dos mecanismos, proporcionam melhor condução dos procedimentos de observação. Por seu lado, as observações dos processos, fonte primeira da pesquisa (como ensaios de verdadeira grandeza, ou 1:1), realimentam as demonstrações com novos conhecimentos e questões que permanentemente afloram.

## 2. Objetivos

O presente trabalho visa contribuir para o conhecimento dos processos de movimentos de massa descrevendo um tipo de escorregamento que marcou, por sua freqüência

e intensidade, a série de processos ocorridos em Campos de Jordão, no início do ano 2000, com base em observações realizadas no campo e na análise do peso relativo dos fatores condicionantes do mecanismo do processo, como demonstração teórica correspondente.

Este objetivo fundamenta-se na hipótese de que o evento de Campos de Jordão - 2000 pode ser considerado um evento extremo e assim permitir uma simplificação do conjunto de fatores condicionantes destacando aqueles que podem ser considerados indicadores fundamentais dos processos - declividade e água.

A identificação de tais indicadores pode, por sua vez, fundamentar a caracterização de áreas de risco nas encostas, bem como a adoção de medidas preventivas de forma mais eficiente e menos onerosa.

Decompondo este objetivo geral em objetivos específicos, destacam-se:

Analisar o papel dos principais fatores condicionantes de instabilizações reconhecidos em Campos de Jordão - 2000, bem como a sua inter-relação: a *declividade* e a *água*;

Destacar o papel da água, especialmente o escoamento superficial, no desencadeamento dos processos na sua versão mais catastrófica, ou seja, *corrida/escoamento* (Varnes, 1978); *corrida* (Augusto Filho, 1992; Amaral, 1996); *avalanche/fluxo de lama* (Vargas, 1999); bem como, em contrapartida, a importância da drenagem superficial como medida mitigadora.

## 3. Aspectos Gerais de Campos de Jordão

Campos de Jordão é um município paulista, com 289,51 km<sup>2</sup>, criado em 1935 (IBGE, 2003) e situado a 167 km a leste da capital do estado, distante 342 km do Rio de Janeiro e 586 km de Belo Horizonte, na Latitude de 22°44' S e na Longitude de 45°30' W (Fig. 1).

Com uma população de cerca de 44.252 habitantes, dos quais 99% urbanos segundo o censo de 2000-2001 (IBGE, 2003), Campos de Jordão, na altitude de 1.700 m da Serra da Mantiqueira, com clima tropical de montanha, ficou muito conhecida como importante estância climática, por ser procurada por pacientes com doenças pulmonares. Atualmente, sua vida econômica fundamenta-se no turismo, destacando-se os festivais de inverno como principal atrativo.

O acesso a Campos de Jordão pode ser feito desde São Paulo ou Rio de Janeiro pela rodovia SP-123 que parte da Via Dutra, na altura de Taubaté. Há também a Estrada de Ferro Campos de Jordão - EFCJ, que liga Pindamonhangaba a Campos de Jordão, implantada em 1915.

Segundo IPT (1981a), Campos de Jordão situa-se no planalto homônimo, junto à Serra da Mantiqueira, em re-

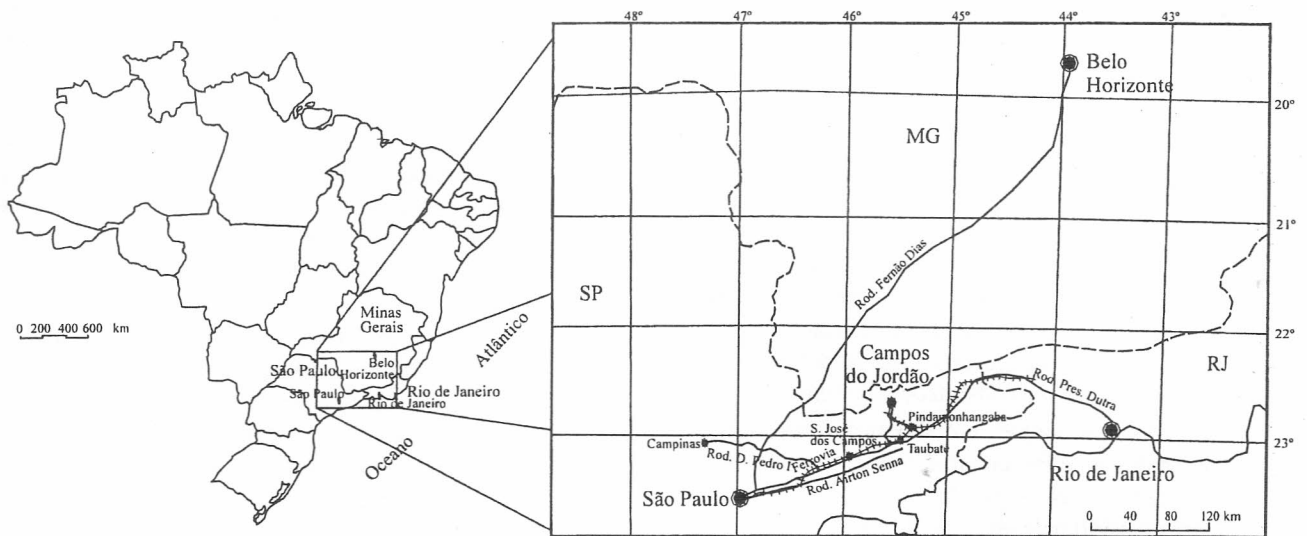


Figura 1 - Localização de Campos de Jordão no Estado de São Paulo e no Brasil.

gião de morros (declividades acima de 15% e amplitudes locais de 100 a 300 m) com topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos, por vezes abruptas, com serras restritas. Ainda segundo esse autor, a drenagem é de alta densidade com vales fechados e planícies aluvionares restritas.

Esse relevo foi esculpido sobre rochas ígneas do embasamento cristalino, pré-cambriano, constituídas por gnaisses e migmatitos diversos, com intercalações de xistos e quartzitos (Complexo Paraíba do Sul), e granitos (Fácies Cantareira) (IPT, 1981b).

Os solos que predominam, segundo Oliveira *et al.* (1999) são Cambissolos, solos residuais pouco espessos, de textura média a argilosa em relevo forte ondulado a montanhoso. Entretanto, podem ocorrer solos mais espessos como Argissolos, com textura média/argilosa, e Latossolos de textura argilosa, ambos em relevo similar ao da ocorrência dos Cambissolos.

O clima de Campos de Jordão é fortemente marcado pela altitude, tendo sido classificado por Setzer (1946), de acordo com Köppen, em clima Cfb, ou seja, clima temperado úmido sem estiagem (no mês mais seco, o índice pluviométrico ultrapassa os 30 mm), sendo que a temperatura média do mês mais quente não atinge 22° C. A precipitação média anual, resultante de observações de 1936 a 1997, foi de 1763 mm, calculada com as medidas pluviométricas do Posto D2 001, instalado na Vila Capivari, na cidade de Campos de Jordão (CBH-SM/CPTI, 2000).

A cidade de Campos de Jordão desenvolveu-se no Vale do Rio Sapucaí Guaçu, com não mais de 500 m de largura, onde estão os seus três centros: Vila Abernêsia, Vila Jaguaribe e Vila Capivari, com alto padrão de ocupação urbana, estendendo-se para áreas de relevo muito mais acentuado onde ocorrem instabilizações de taludes e encostas. Destas, destacam-se, como palco de escorregamentos catastróficos, as ocupações dos Bairros do Britador, da Vila

Santo Antônio e da Vila Albertina entre outras, onde se concentram condições de ocupação urbana inadequada e moradias de baixo padrão habitacional.

#### 4. Aspectos Principais do Evento do ano 2000

O evento do ano 2000 em Campos de Jordão envolveu um conjunto de centenas de casos de movimentos de massa, de diversos tipos, tanto na área urbana quanto na área rural, na sua maior parte induzidos, ou seja, relacionados a obras, como taludes de estradas, sejam vicinais ou de rodovias ou ferrovia (Fig. 2), ou ocupações, predominantemente as de baixo padrão (Fig. 3) mas que também chegaram a atingir as de alto padrão, e mesmo áreas rurais sem maiores intervenções que a alteração de sua cobertura

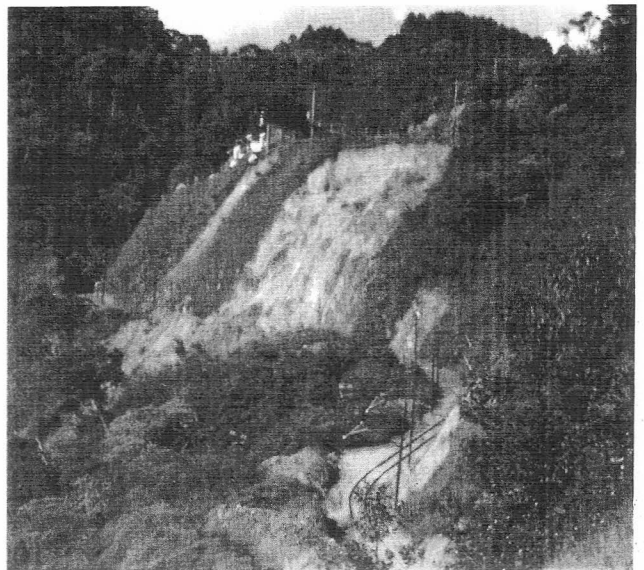


Figura 2 - Escorregamentos de solo nos taludes de ferrovia Pindamonhangaba - Campos de Jordão (Foto de A.M.S. Oliveira, janeiro de 2000).



Figura 3 - Escorregamentos e corridas afetando área de ocupação urbana subnormal, denominada Morro do Britador (Foto de A.M.S. Oliveira, janeiro de 2000).

vegetal, por exemplo, áreas de reflorestamento ou de pastagem.

Segundo Ridente Junior *et al.* (2002) os movimentos de massa se iniciaram no dia 31 de dezembro de 1999, uma sexta-feira, mas os processos de maior magnitude ocorreram durante o dia 3 de janeiro de 2000 e evoluíram nos dias seguintes. Nesse dia o Prefeito decretou Estado de Calamidade Pública. Segundo o Jornal *Altitude*, n. 72 (Ano III, 1 a 15 de janeiro de 2000) “na terça-feira (dia 4 de janeiro) a situação se agravou, as áreas de risco começam a desabar todas ao mesmo tempo”. Ainda segundo este veículo de informação, as áreas mais afetadas foram as de ocupação mais precária, nas encostas com maiores declives, onde 452 casas foram destruídas, 2.392 pessoas foram desalojadas, 103 foram feridas e 10 morreram.

As ações emergenciais realizadas pela Prefeitura Municipal de Campos de Jordão e pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, envolveram o cadastramento e o zoneamento de risco. Foram emitidos nessa fase 752 laudos que compreenderam 978 moradias vistoriadas, apontando-se 347 moradias em risco emergencial (remoção dos moradores e desmonte da moradia) e 423 em risco iminente (remoção preventiva dos moradores), segundo Ridente Junior *et al.* (2002).

## 5. O Processo Predominante

Dentre as diversas manifestações de instabilização; compreendendo desde rupturas incipientes com flexão de muros de arrimo, ou chegando a abrir trincas, até escorregamentos ou deslizamentos planares e circulares; chamou atenção a frequência de corridas.

Referindo-se aos bairros de ocupação mais precária, como o do Britador, onde os cortes/aterros, casa a casa, modificaram os perfis das encostas, Ridente Junior *et al.* (2002) apresentam uma descrição do processo: “Esses processos foram deflagrados nas porções mais altas das encostas e desceram na forma de material fluidificado composto principalmente por solo e restos vegetais, além de restos de moradias e equipamentos públicos existentes e que se somavam à massa rompida, lavando a encosta e destruindo toda a forma de ocupação que existia na direção do fluxo”. “Várias testemunhas relataram que a fluidez do material era tanta que, ao deparar-se com obstáculos mais resistentes, chegaram a formar ondas com poucos metros de altura, com a massa desprendida das encostas”.

No inventário de escorregamentos do Rio de Janeiro, Amaral (1996) apresenta um tipo similar: *corrida* de solo residual, tálus/colúvio e lixo, como um fluxo viscoso que ocorre ao longo de drenagens naturais. Segundo GeoRio (2000) as corridas estão associadas à concentração do fluxo superficial em algum ponto ou seção de encosta e à deflagração de um processo de fluxo contínuo de material terroso. O mesmo autor assinala que nem sempre é fácil a distinção entre corridas e deslizamentos e conclui que toda corrida pode ser, na verdade um movimento complexo.

Os mecanismos de geração de corridas de massa apresentados pelos pesquisadores podem ser agrupados em dois tipos principais: primário e secundário. No primeiro tipo (primário), a corrida inicia-se nas encostas e vertentes pela transformação de escorregamentos de solo em uma massa viscosa, através dos fenômenos de dilatância ou liquefação espontânea. No grupo de origem secundária, a formação da corrida ocorre nas drenagens, a partir da remobilização de detritos acumulados no leito e/ou barramentos naturais, acrescidos do material oriundo dos escorregamentos nas encostas e torrentes de água geradas na bacia, sendo o exemplo mais conhecido o de Caraguatatuba, 1967 (IPT, 1988; Augusto Filho, 1993).

É importante destacar que o processo aqui considerado é a corrida do tipo primário, que se manifesta de forma individual nas encostas e não aquela que escoia nos fundos dos vales, alimentada por diversos escorregamentos, como o caso histórico de Caraguatatuba - 1967. Ellen & Fleming (1987) descrevem estes processos (*debris flows*) como originados diretamente de escorregamentos de solo (geração primária), apresentando como principais características: deflagração em encostas com altas declividades ( $25^\circ$  a  $40^\circ$ ) e amplitudes (áreas serranas), escorregamentos relativamente estreitos (5 a 15 m de largura) e pouco espessos (inferiores a 2 m); conteúdo de argila dos solos mobilizados; relação entre o grau de saturação no momento da ruptura e o limite de liquidez desse solo; e associação com eventos pluviométricos bastante intensos (grande disponibilidade de água).

## 6. Destaque dos Fatores Condicionantes Segundo as Observações Realizadas

Os autores em geral (como por exemplo, Guidicini & Nieble, 1984) destacam uma série de fatores condicionantes a serem considerados na manifestação dos movimentos de massa. Vieira *et al.* (1999) colocam a questão - "São muitos e complexos os mecanismos que causam rupturas nas encostas. A tentativa de entendê-los torna-se tarefa difícil dentro dos diferentes campos da ciência, não somente pela complexidade dos fatores condicionantes dos movimentos de massa, mas também pelas peculiaridades dos diferentes ambientes onde ocorrem" - e pesquisam modelos que possam definir a importância relativa dos fatores condicionantes de eventos analisados.

O evento de Campos de Jordão, representado por notável generalização dos casos de movimentos de massa, envolvendo diversas situações e combinando diferentes condicionantes de solos, rochas e uso do solo, constitui uma condição oportuna para a pesquisa dos fatores condicionantes, no sentido de se procurar determinar aqueles que se destacam preponderando sobre os demais.

### 6.1. As chuvas

Inicialmente, procurou-se analisar as chuvas que deflagraram os movimentos de massa, cuja persistência e intensidade, ao longo dos 5 dias acompanharam as rupturas e movimentos de massa que se multiplicaram ao longo desses dias em toda a região.

Portanto, cabe a pergunta: estas chuvas podem ser consideradas excepcionais ou extraordinárias? Ou, em termos hidrológicos, teriam sido chuvas de um grande tempo de retorno, correspondente a uma pequena probabilidade de ocorrência?

Para responder a esta primeira questão, foram utilizados dois postos pluviométricos operados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE, 2000) conforme a Tabela 1.

Infelizmente, a falta de registros contínuos, por pluviógrafos, não permite o conhecimento das intensidades

horárias da chuva (mm/hora) limitando a análise aos volumes acumulados diários.

A Tabela 2 apresenta os dados de chuva diária registrados nestes dois postos pluviométricos nos dias 31 de Dezembro 1999 a 4 de janeiro de 2000, período em que se concentraram os escorregamentos generalizados em Campos de Jordão. A Fig. 4 apresenta os histogramas destas precipitações.

Observa-se que os registros de chuva para o período analisado apresentam uma boa aderência entre os dois postos pluviométricos considerados. A precipitação média para o mês de janeiro é de 306 mm, considerando a série histórica destes dois postos pluviométricos. O total de chuva registrado entre 1 e 5 de janeiro de 2000 nos postos D2-001 e D2-096 foi de 537,1 mm e 506,3 mm, respectivamente, ou seja quase o dobro do valor médio mensal.

Também foram calculados as probabilidades de ocorrência e os tempos de retorno das chuvas diárias pelo método de Gumbel, que se baseia nas precipitações máximas registradas na série histórica considerada (Gumbel, 1958). O posto pluviométrico D2-001 foi utilizado como

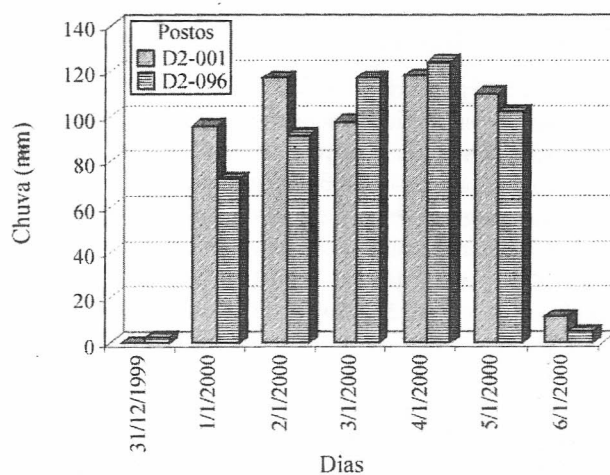


Figura 4 - Histograma das precipitações do evento de 2000 em Campos de Jordão.

Tabela 1 - Postos pluviométricos utilizados.

Posto	Coordenadas	Altitude (m)	Bacia	Série histórica
D2-001/Vila Capivari	22°43' -45°34'	1600	Rio Capivari	1936-2000
D2-096/Campos de Jordão	22°42' -45°29'	1600	Rio Sapucaí	1972-2000

Tabela 2 - Precipitação pluviométrica diária registrada nos postos pluviométricos.

Posto	Precipitações diárias (mm)						
	31/12/1999	01/01/2000	02/01/2000	03/01/2000	04/01/2000	05/01/2000	06/01/2000
D2-001	0,0	95,7	116,5	97,4	117,7	109,8	11,8
D2-096	2,6	72,4	91,6	116,9	123,8	101,6	5,0

referência por possuir a maior série histórica. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para as chuvas registradas entre 1 e 5 de janeiro de 2000 nesse posto.

Observa-se que as precipitações diárias registradas não podem ser consideradas extraordinárias por si só, uma vez que seus tempos de retorno individuais variam de 3 a 7 anos. (Tabela 4).

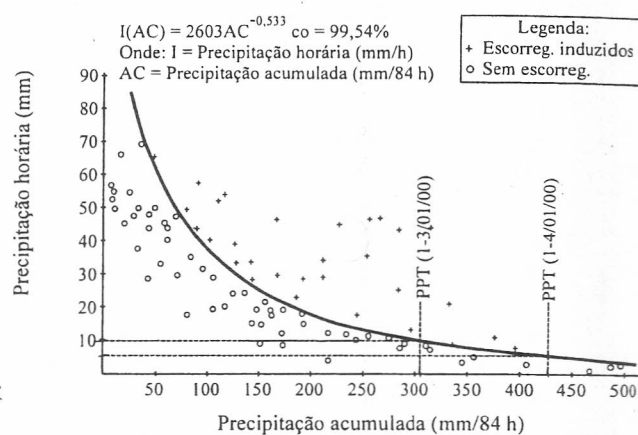
Porém, a ocorrência do valor acumulado de chuva nos cinco dias deverá ter um tempo de retorno bem maior. Buscando-se outra forma de se avaliar a excepcionalidade desse evento pluviométrico, foram selecionados na série histórica considerada (1945 a 2000), todos os meses com precipitação acumulada igual ou superior a 500 mm. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos.

Verifica-se que, com exceção de janeiro de 2000, todos os demais meses com registro de precipitação igual ou superior a 500 mm, esses valores acumulados ocorreram em mais de cinco dias, em geral ao longo de todo o mês, confirmando, portanto, a excepcionalidade da precipitação verificada no evento de escorregamentos generalizados estudado.

Analisou-se ainda a chuva registrada nesse evento, tendo-se como base o gráfico de correlação chuva vs. escorregamentos obtido por Tatizana *et al.* (1987a,b) e inserindo-se os valores de precipitação acumulada entre os dias de 1 a 3 e 1 a 4 de janeiro de 2000 em Campos de Jordão, observa-se que os valores de precipitação horária necessários para deflagração de escorregamentos induzidos segundo essa correlação, seriam da ordem de 10 mm/h e 5 mm/h,

respectivamente (Fig. 5). Desta forma, os valores de chuva acumulados entre os dias 1 a 5 de janeiro de 2000 foram bastante elevados, levando a região analisada a uma condição de alta potencialidade para deflagração de escorregamentos generalizados (necessidade de intensidades horárias reduzidas para atingir a condição de deflagração), conforme foi observado no referido evento.

Concluindo a análise do evento pluviométrico, considerando-se o total de precipitação ocorrido de 1 a 5 de janeiro de 2000 em Campos de Jordão, ele pode ser considerado como bem pouco freqüente e, portanto, de caráter excepcional ou extraordinário. Esse caráter explicaria, em grande parte, a deflagração generalizada dos movimentos de massa, destacando a água da chuva como



**Figura 5** - Valores de precipitação acumulada no evento de Campos de Jordão em 2000 lançados no gráfico de correlação chuvas x escorregamentos proposto por Tatizana *et al.* (1987 a,b).

**Tabela 3** - Tempos de retorno e probabilidades das precipitações diárias registradas no posto pluviométrico D2-001 (método Gumbel - série histórica do posto D2-001).

Dia	Precipitação (mm)	Tempo de retorno (anos)	Probabilidade
01/01/2000	95,7	3,884	0,257
02/01/2000	116,5	6,846	0,146
03/01/2000	97,4	3,873	0,258
04/01/2000	117,7	7,105	0,141
05/01/2000	109,8	5,581	0,179

**Tabela 4** - Tempos de retorno e probabilidades das precipitações diárias registradas no posto pluviométrico D2-096 (método Gumbel - série histórica posto D2-001).

Dia	Precipitação (mm)	Tempo de retorno (anos)	Probabilidade
01/01/2000	72,4	2,011	0,497
02/01/2000	91,6	3,289	0,304
03/01/2000	116,9	6,931	0,144
04/01/2000	123,8	8,590	0,116
05/01/2000	101,6	4,374	0,229

**Tabela 5** - Meses com precipitação acumulada igual ou superior a 500 mm (série histórica do posto D2-001).

Ano	Mês	Valor acumulado (mm)	Número de dias (*)
1945	Dezembro	636,0	26
1947	Março	571,2	29
1948	Março	568,7	29
1950	Janeiro	777,4	26
	Fevereiro	770,0	28
	Novembro	612,7	26
	Dezembro	893,1	31
1951	Março	656,0	31
1957	Fevereiro	571,7	15
1960	Dezembro	557,2	18
1962	Dezembro	668,8	21
1970	Fevereiro	538,1	19
2000	Janeiro	617,7-537,1	9-5

(\*) - Dias com precipitação acima de 10 mm.

agente efetivo, preparatório e imediato, do evento, segundo a classificação de Guidicini & Nieble (1984).

## 6.2. Fatores condicionantes

Seguindo o raciocínio da hipótese inicial, de que a excepcionalidade das chuvas destacou os fatores condicionantes mais relevantes, retomam-se aqui as observações de campo dos diversos aspectos fenomenológicos, desprezando-se aqueles que nas diversas manifestações tem expressão restrita, específica ou local e retendo-se aqueles mais presentes, evidentes e frequentes. Dentre estes últimos, destacam-se os seguintes aspectos:

Os movimentos de massa se iniciaram nas porções mais altas das encostas (primeira ruptura de declive) ou no pé de bermas em áreas submetidas a corte/aterro (rupturas de declive introduzidas nas encostas retilíneas);

Seguiram linhas de concentração de escoamento superficial, preferencialmente em eixos de drenagem natural, em concavidades de encostas, ou linhas de drenagem estabelecidas pela própria ocupação;

Envolveram solo, vegetação, escombros das habitações, lixo e, por vezes, blocos de rocha alterada de pequenas dimensões;

Comprometeram pequena espessura de solo (em média 1 m e até 2 m), larguras variáveis (de 1 a mais de 10 m) mas extensos comprimentos, de até uma centena de metros ou mais, em geral até a base da encosta; e

Manifestaram-se em forma de fluxo de materiais heterogêneos como uma avalanche com grande velocidade de escoamento. O Sr. Paulo (morador do Britador e guarda noturno da Prefeitura), que perdeu sua casa, descreve o processo como o de um rio de lama, o que ele denominou *lavange* (Fig. 3)

Uma outra evidência corresponde à verificação de que as cicatrizes dos taludes acima e abaixo da EFCJ apresentavam-se interligadas por sinais de escoamento (sedimentos, restos vegetais e outros materiais, vegetação derrubada) entre uma cicatriz e outra (Fig. 2).

Diversos outros exemplos apontam a concentração do escoamento superficial como importante fator responsável pelos processos.

O balanço das observações realizadas destaca também a declividade como agente preponderante nas manifestações. Assim, estes dois agentes, água e declividade - expressões mais simples e decisivas do clima e do relevo - podem ser adotados como variáveis nos modelos de análise para se avaliar seus pesos relativos nas instabilizações, seja de forma isolada ou combinada.

## 7. Análise dos Fatores Condicionantes

Adotou-se um modelo de escorregamento em solo, pouco profundo, com superfície de ruptura planar em talude infinito e sem a formação de nível d'água. Nesta condição, considerou-se um perfil de alteração típico das encostas serranas, sustentadas por rochas cristalinas, um

horizonte de solo menos permeável, sobreposto a um horizonte mais permeável, configurando um regime de linhas de fluxo sub-vertical, com o nível d'água regional situado a dezenas de metros de profundidade, na rocha alterada. A ruptura foi considerada à profundidade de 1 m, tendo-se em conta as observações empíricas e as modelagens teóricas desse tipo de escorregamento. Esse modelo de ruptura é o mais aceito entre vários pesquisadores que investigaram esses processos nas regiões serranas tropicais do Sudeste Brasileiro (Terzaghi, 1950; Matos, 1974; Wolle *et al.*, 1978; Wolle, 1980, entre outros).

Segundo este modelo, o cálculo do *FS* pode ser obtido pela Eq. 1 apresentada abaixo:

$$FS = \frac{c + \gamma \cdot \cos^2 i \cdot \tan \phi}{\gamma \cdot z \cdot \cos i \cdot \sin i} \quad (1)$$

onde *c* = coesão;  $\gamma$  = peso específico; *i* = inclinação da encosta;  $\phi$  = ângulo de atrito; e *z* = profundidade da ruptura.

Para facilitar a análise, adotou-se a ruptura em um horizonte de solo relativamente homogêneo, envolvendo o horizonte de solo laterítico, argilo-arenoso, também denominado de solo superficial ou residual maduro, podendo ser também de origem coluvionar. Os valores dos parâmetros geomecânicos foram obtidos de dados bibliográficos.

As principais questões que orientaram a análise proposta foram as seguintes:

- Como as declividades atuam nos escorregamentos?
- Porque as corridas se iniciam no alto das encostas e nas rupturas positivas de declive?
- Como a água condiciona os escorregamentos?
- Como se combinam - água e declividade - para condicionar os movimentos de massa?
- Qual é o papel das linhas de drenagem, naturais ou não, que concentram o escoamento superficial?

### 7.1. Influência do fator declividade

A influência do fator condicionante declividade foi analisada considerando três condições distintas de parâmetros geomecânicos e o intervalo de declividade ou inclinação da encosta variando de 15° (27%) a 60° (173%), com acréscimos de 2,5°. A Tabela 6 apresenta as três condições distintas de parâmetros geomecânicos, considerando seus valores mínimo, médio e máximo, dentro da faixa de variação apresentado na bibliografia (Wolle, 1980).

A Fig. 6 apresenta, nas três condições de parâmetros geomecânicos, o resultado gráfico da variação do *FS* em função do acréscimo de declividade.

Os resultados indicam que os *FS* tendem a reduzir exponencialmente com o aumento da inclinação da encosta. Este decréscimo é mais acentuado até 30°, reduzindo-se nos valores maiores de declividade.

Observa-se comportamento semelhante para as três condições de parâmetros geomecânicos consideradas, sendo que a condição menos favorável ( $FS_{\min}$ ) atinge a condi-



Tabela 6 - Valores de parâmetros geomecânicos adotados na análise.

Parâmetros	Valores	Mínimo	Médio	Máximo	Unidades (S.I.)
Peso específico ( $\gamma$ )		12,0	13,5	15,0	( $\text{kN/m}^3$ )
Coesão (c)		1,0	10,5	20,0	(kPa)
Ângulo de atrito ( $\phi$ )		26,0	33,0	40,0	( $^\circ$ )

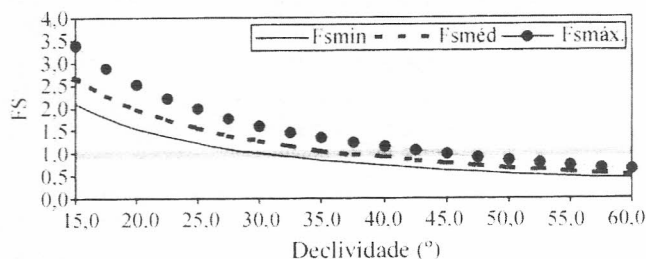


Figura 6 - Variação do FS em função da declividade da encosta (ruptura a 1 m).

ção de ruptura ( $FS = 1,0$ ) com declividade próxima a  $30^\circ$ , enquanto que na condição mais favorável ( $FS_{\max}$ ) isto só ocorre para declividades em torno de  $45^\circ$ .

É interessante destacar que, para declividades muito acentuadas, em torno de  $60^\circ$ , os valores de FS ficam muito semelhantes para as três condições analisadas de parâmetros geomecânicos (em torno de 0,5).

## 7.2. Influência do fator água

A influência do fator água pode ser considerada segundo seu papel como causa mais conhecida da ruptura (Guidicini & Nieble, 1984), em função do aumento do grau de saturação do solo: aumento do peso específico, redução da coesão, aumento do empuxo em trincas.

### 7.2.1. Influência do fator peso específico

A influência do fator condicionante peso específico na variação dos valores de FS da encosta foi analisada considerando seu aumento devido ao acréscimo do grau de saturação do solo durante os episódios pluviométricos. Além da profundidade de ruptura a 1 m, foram consideradas encostas com declividade de  $30^\circ$  e a mesma faixa de valores de coesão apresentados na Tabela 6.

Para o peso específico, considerou-se um valor inicial de  $12 \text{ kN/m}^3$ , para um grau de saturação de 16%, índice de vazios de 1,4, peso específico dos grãos de  $27 \text{ kN/m}^3$  e peso específico da água de  $10 \text{ kN/m}^3$ .

A partir da Eq. 2, que relaciona esses índices físicos do solo, foram calculados os diferentes pesos específicos do solo, considerando-se o aumento do grau de saturação. Os FS foram calculados com esses valores de peso específico e para os valores de coesão mínima, média e máxima apresentados na Tabela 6. A Fig. 7 apresenta esta variação do FS, nas três condições de coesão ( $FS_{\min}$ ,  $FS_{\text{méd}}$ ,  $FS_{\max}$ ),

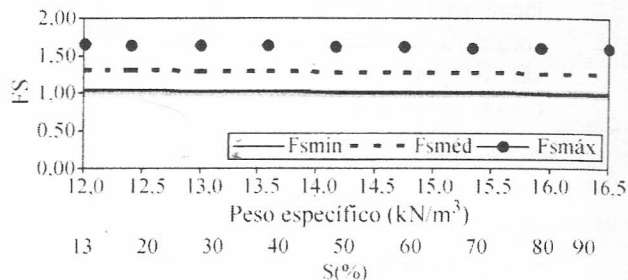


Figura 7 - Variação do FS em função do aumento do peso específico decorrente do acréscimo do grau de saturação do solo.

para pesos específicos entre 12 a  $16,5 \text{ kN/m}^3$ , correspondendo a uma variação do grau de saturação entre 13% e 90%.

$$\gamma_{\text{nat}} = \frac{S \cdot e \cdot \gamma_{\text{água}} + \gamma_s}{1 + e} \quad (2)$$

onde  $\gamma_{\text{nat}}$  = peso específico natural;  $S$  = grau de saturação;  $e$  = índice de vazios;  $\gamma_{\text{água}}$  = peso específico da água e  $\gamma_s$  = peso específico dos grãos.

Os resultados indicam que os FS tendem a reduzir linearmente com o aumento do peso específico, porém a taxas bem reduzidas (para  $FS_{\min}$ , de 1,04 a 0,98). Observa-se comportamento semelhante para as três condições de coesão consideradas, sendo que a condição menos favorável ( $FS_{\min}$ ) é a única que atinge a condição de ruptura devido ao aumento de peso específico.

Desta forma, o acréscimo do peso específico, devido à saturação pode ser considerado um fator condicionante pouco influente na deflagração dos escorregamentos, conforme modelo de instabilização analisado.

### 7.2.2. Influência do fator coesão

A influência do fator condicionante coesão na variação dos valores de FS da encosta foi analisada considerando seu decréscimo devido ao acréscimo do grau de saturação do solo durante os episódios pluviométricos. Também foram consideradas encostas com declividade de  $30^\circ$  e a mesma gama de valores de parâmetros geomecânicos apresentados na Tabela 6. A Fig. 8 apresenta a variação dos FS nas três condições de parâmetros geomecânicos e para rupturas a 1 m de profundidade, considerando valores de coesão 20,0 a 1,0 kPa, equivalendo a uma variação do grau de saturação entre 65 e 100%. Esta variação dos

valores de coesão em função do grau de saturação foi obtida a partir dos resultados apresentados por Carvalho (1991).

Os resultados indicam que os  $FS$  tendem a reduzir linearmente com a redução da coesão e aumento do grau de saturação. Este decréscimo do  $FS$  é marcante, sendo da ordem de 74% para uma redução de 95% no valor da coesão, na condição de parâmetros geomecânicos mais críticos ( $FS_{min}$ , Fig. 8). Observa-se comportamento semelhante para as três condições de parâmetros geomecânicos consideradas, sendo que apenas a condição menos favorável ( $FS_{min}$ ) atinge a condição de ruptura ( $FS = 1,0$ ) com coesão próxima a 4,0 kPa.

### 7.2.3. Influência do empuxo em trinças

Considerando a existência de uma trinca com 1 m de profundidade junto à crista do escorregamento planar potencial, teríamos um empuxo da ordem de  $1 \text{ Pa/m}^2$  ou  $1 \text{ N}$  para uma área de  $1 \text{ m}^2$ . Esse empuxo se somaria à componente tangencial da força peso (componente que atua como favorável à ruptura, ver Eq. 1).

Este valor pode ser considerado pouco importante quando comparado aos valores totais envolvidos nessa componente tangencial, dentro do modelo de ruptura considerado. Porém, numa situação de equilíbrio limite, pode ser o acréscimo necessário para levar a deflagração do escorregamento. Por outro lado, a trinca, preenchida de água, facilitaria o avanço da frente de saturação, gerando os efeitos de redução de coesão aparente e aumento de peso específico, que contribuem para o aumento das forças motoras e redução das forças resistentes, induzindo à deflagração do processo.

### 7.3. Análise da interação dos fatores água - declividade

A chuva ao se precipitar sobre as superfícies dos terrenos, reparte-se em dois caminhos principais, a água do escoamento superficial e a água de infiltração, cujas parcelas dependem de uma série de fatores, destacando-se a permeabilidade dos solos e a declividade. A declividade, destacada como um fator preponderante no evento de Campos de Jordão, atua de forma inversamente proporcional à

infiltração: quanto maior mais induz ao escoamento superficial, reduzindo a possibilidade da água se infiltrar. Ao contrário, as porções dos terrenos com declividades menores são as mais favoráveis à infiltração.

Se por um lado os maiores declives favorecem a ruptura, por outro lado não favorecem a infiltração, decisiva para o avanço da saturação e da mobilização das causas acima analisadas. Assim, destaca-se a porção das encostas cuja declividade começa a aumentar para favorecer a instabilidade, mas ainda permite, por não ser ainda muito íngreme, importante parcela de infiltração. Esta porção é justamente o trecho da encosta em que se verifica a ocorrência da feição morfológica conhecida por ruptura de declive.

A Fig. 9 apresenta uma análise qualitativa da composição dos fatores declividade ( $d$ ) e infiltração da água da chuva ( $i$ ), considerando-se o comportamento da encosta quanto a cada um desses fatores e à sua interação, representada pelo produto ( $d \times i$ ), que define uma zona crítica no trecho superior da encosta - a ruptura de declive - como observado no evento de Campos de Jordão, 2000.

A Fig. 10 apresenta a mesma análise para encostas alteradas por sucessivos cortes/aterros como é comum nas encostas ocupadas. Neste caso, são as rupturas introduzidas

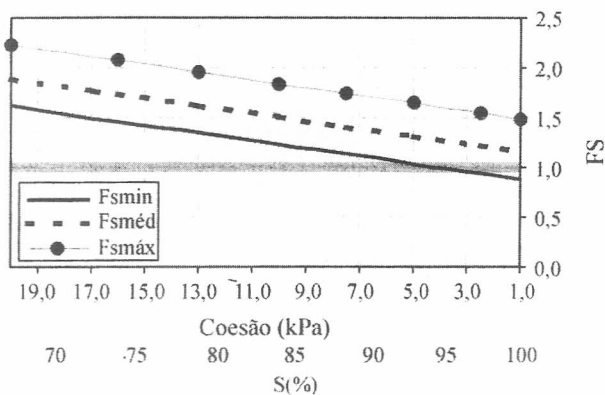


Figura 8 - Variação do  $FS$  em função da redução da coesão devido ao aumento do grau de saturação do solo.

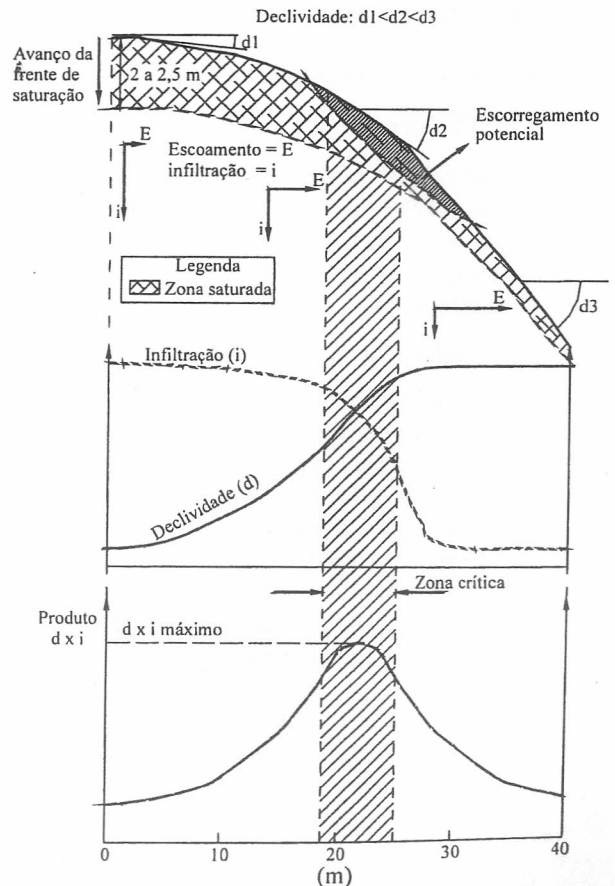


Figura 9 - Composição dos fatores declividade e infiltração numa encosta sem cortes.

pela ocupação - rupturas de declive tecnogênicas (Oliveira, 1990) - que determinam as zonas críticas ao produto ( $d \times i$ ) favoráveis à instabilização. Entre elas destaca-se, como mais suscetível ao escorregamento, a zona crítica de jusante, pois é formada pelo aterro e por poder estar submetida ao escoamento d'água que se concentra na berm; além disso, é a zona onde frequentemente se encontra lixo lançado.

A análise quantitativa, apresentada a seguir, procura avaliar a consistência desta análise fenomenológica resultante das observações realizadas.

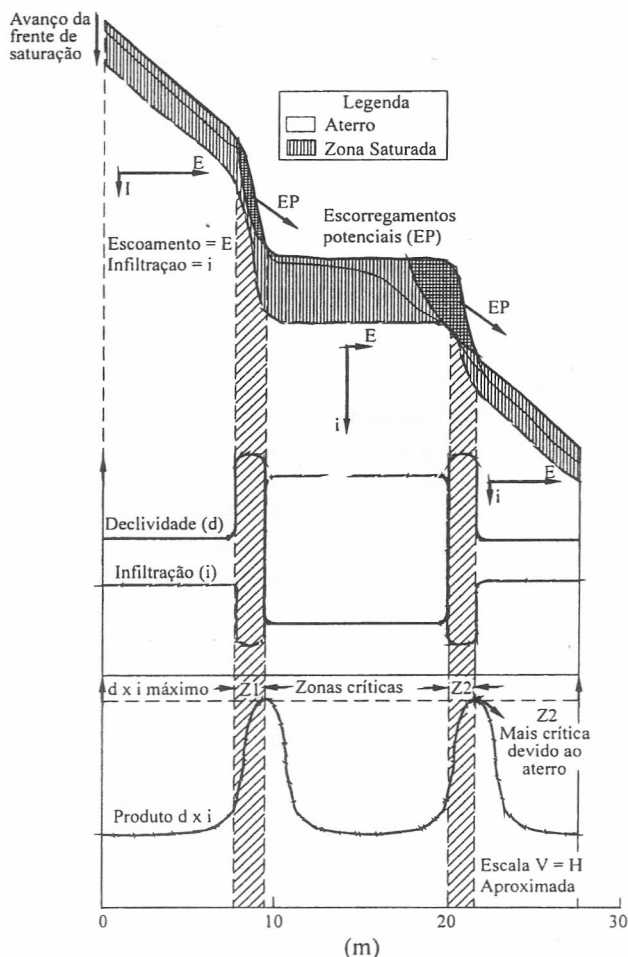


Figura 10 - Composição dos fatores declividade e infiltração numa encosta ocupada.

### 7.3.1. Influência da posição no perfil da encosta

A influência do fator posição no perfil de encosta na variação dos valores de  $FS$  da encosta foi analisada considerando um perfil de vertente típico de uma região serrana, próximo uma ruptura de declive positiva (mudança de declividade média de  $14^\circ$  para  $30^\circ$ ). Foram consideradas três posições entre relação à ruptura de declive e profundidades de ruptura, conforme ilustrado na Fig. 11. A faixa de valores de parâmetros geomecânicos utilizados é a mesma do apresentado na Tabela 6. A Tabela 7 apresenta a variação dos  $FS$  nas três posições no perfil e diferentes condições de parâmetros geomecânicos.

As profundidades de ruptura pesquisadas representam posições possíveis da frente de umedecimento, dentro do modelo de instabilização considerado (linhas de fluxo vertical), e a variação da espessura do horizonte superficial (solo laterítico, residual maduro e coluvionar) em função da declividade da encosta.

Os resultados indicam que o  $FS$  tende a ser mais crítico (menor valor) próximo a ruptura de declive (P2), onde ocorre o aumento da declividade, principal fator condicionante predisponente dos escorregamentos e, ao mesmo tempo, existem condições para um avanço mais profundo da frente de umedecimento (relação infiltração e escoamento superficial) além de maiores espessuras de solo superficial. A jusante da ruptura de declive (P3), mantendo-se a declividade constante e a tendência da redução do horizonte de superficial, os  $FS$  tendem a sofrer um leve acréscimo.

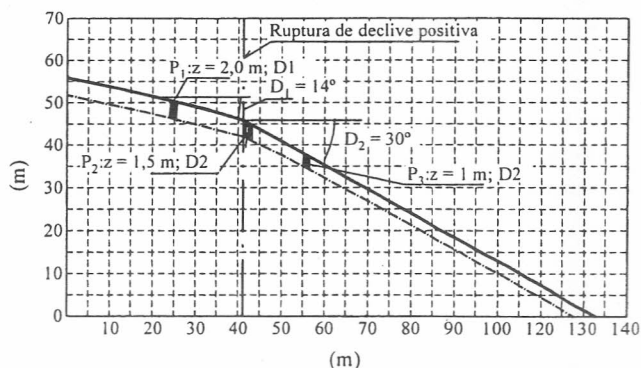


Figura 11 - Posições no perfil de encosta e respectivas profundidades de ruptura consideradas.

Tabela 7 - Variação do  $FS$  em função da posição no perfil (ruptura de declive) nas três condições de parâmetros geomecânicos analisadas.

Posição (Fig. 11)	Condição	$\gamma_{max}, c, \phi_{min}^*$	$\gamma_{max}, c_{min}, \phi_{med}$	$\gamma_{max}, c_{min}, \phi_{max}$
		$FS_{min}$	$FS_{med}$	$FS_{max}$
P1	$z = 2 \text{ m}; i = 14^\circ$	2.10	2.75	3.51
P2	$z = 1,5 \text{ m}; i = 30^\circ$	0.95	1.23	1.56
P3	$z = 1,0 \text{ m}; i = 30^\circ$	1.00	1.28	1.61

\* $\gamma_{max}, c, \phi_{min}$  = valores máximo para peso específico e mínimo para coesão e ângulo de atrito (Tabela 6).

#### 7.4. Efeito do escoamento superficial na potencialização do poder destrutivo do escorregamento

A esses resultados, condizentes com as observações empíricas e qualitativas apresentadas anteriormente, de-se somar a provável ocorrência do fenômeno de liquefação nos solos superficiais, permitindo que os escorregamentos de solo planares e rasos transformem-se em corridas de massa do tipo primário, conforme descrito por IPT (1988), Ellen & Fleming (1987), Augusto Filho (1993), GeoRio (2000), entre outros.

A Fig. 12 ilustra um modelo que procura explicar a ação do escoamento superficial potencializando o efeito destrutivo de um escorregamento, transformado, pela concentração desse escoamento em um fluxo de detritos, na forma de corrida ou avalanche, o que foi denominado "lavange" por morador que os presenciou, no evento de 2000 de Campos de Jordão.

### 8. Conclusões

As observações práticas realizadas no campo e as análises teóricas em modelos confirmam o papel preponderante da declividade e da água como condicionantes dos escorregamentos de solo e de sua transformação em corridas de origem primária, processos esses que predominaram no evento de Campos de Jordão - 2000.

O fator declividade se expressa em valores absolutos, reduzindo significativamente o *FS* dos perfis de inclinação

suave até 30° e também como rupturas de declives junto ao topo dos morros, ocupados ou não, bem como nos cortes / aterros existentes ao longo das encostas ocupadas.

O fator água se expressa, através da sua componente *infiltração*, pela redução da coesão, nas frentes de saturação dos solos, decisiva na redução do *FS*, conforme já apontado por Carvalho (1991), mas é pouco influente no peso específico e tampouco no empuxo em eventuais trincas, que, aliás, já denunciariam uma ruptura em progressão, devida portanto a causas anteriores.

Assim, declividade e água interagem de forma expressiva, determinando setores críticos onde o produto da componente *infiltração* (responsável pelo avanço da saturação e conseqüente redução da coesão) e do grau de declividade atingem valores máximos, ou seja, nas rupturas de declive. A análise acusou, para os parâmetros adotados, o trecho da ruptura de 14° (25%) para 30° (58%) com uma *FS* sempre inferior a dos trechos acima (trecho de 14°), o que seria de se esperar, e a dos trechos abaixo, no perfil da encosta com inclinação superior (trechos de 30°), o que já não seria tão esperado.

Os cálculos paramétricos de *FS* realizados adotaram um modelo de escorregamento planar de solo, pouco profundo, deflagrado pelo avanço em profundidade da frente de umedecimento, em condição de linhas de fluxo subverticais e sem a influência da formação ou elevação do nível d'água. Este modelo de ruptura parece ser o predominante, conforme o observado por outras pesquisas e trabalhos tra-

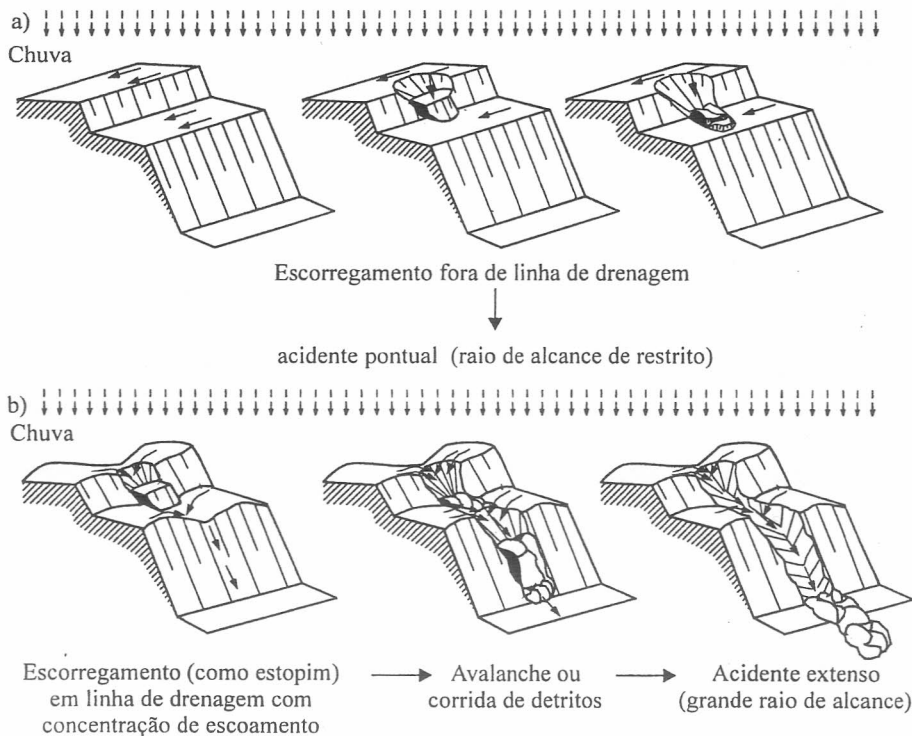


Figura 12 - Modelo fenomenológico esquemático de um escorregamento sem (A) e com (B) evolução para corrida.

tando de escorregamentos de solos nas regiões serranas cristalinas do Estado de São Paulo. Porém cabe ressaltar, que alguns estudos apontam a ocorrência de outros tipos de mecanismos de escorregamentos de solo nestas regiões em condições de saturação total e atuação de poro pressões positivas e forças de percolação, decorrentes da formação/elevação do N.A. e de linhas de fluxo subparalelas às superfícies das encostas/taludes. Mesmo considerando este outro tipo de mecanismo, as observações e conclusões aqui apresentadas continuariam válidas, e reforçariam o papel fundamental do agente água na dinâmica destes processos.

Entretanto, a água ainda se manifesta de forma notável nas corridas pela sua parcela de *escoamento superficial*, cuja concentração constitui condição de geração destes processos, potencializando os efeitos danosos, pelo fluxo que carrega os detritos encosta abaixo.

O escoamento superficial, cujo papel já foi destacado por autores como Vieira *et al.* (1999) e adotado em modelagens hidrológicas combinadas com as de estabilidade de encostas, como por Guimarães *et al.* (1999), resulta não só da configuração da rede de drenagem natural das bacias hidrográficas, mas também das linhas de concentração do escoamento, intensamente alteradas nas encostas ocupadas.

Por conseguinte, destacam-se, como indicadores fundamentais dos eventos extremos como o de Campos de Jordão - 2000, caracterizados pela produção generalizada de corridas individualizadas, a declividade (e suas rupturas) e a água (e seus componentes de infiltração e escoamento superficial concentrado).

A aplicação de tais indicadores em estudos de estabilidade de encostas, por meio da elaboração de mapa de declividade e do traçado das linhas de concentração de escoamento superficial, poderia ser considerada um primeiro passo, relativamente simples, mas suficiente para uma primeira identificação de áreas ou setores de risco em encostas ocupadas e adoção das primeiras medidas preventivas. Posteriormente, esses indicadores poderiam ser complementados por outros parâmetros relativos aos solos potencialmente mobilizáveis pelos escorregamentos, tais como, percentagem da fração argila, relação entre o teor de umidade e o limite de liquidez, que também atuam de forma decisiva na transformação dos escorregamentos planares rasos de solo em corridas de massa de origem primária.

Salienta-se que a caracterização da potencialidade dessa passagem de escorregamento de solo para corrida traz implicações profundas na delimitação de áreas passíveis de serem afetadas pelos processos de instabilização, e conseqüentemente na definição das medidas de prevenção mais adequadas.

Finalmente, os resultados obtidos reforçam a idéia de que é de fundamental importância, na prevenção de tais processos, o disciplinamento do escoamento das águas, através da microdrenagem e impermeabilizações superficiais, criteriosamente aplicadas, em encostas ocupadas, que constituem, dentre as diversas obras de contenção de encos-

tas, obras relativamente simples e pouco onerosas, mas de significativa eficiência para a prevenção de corridas.

## Referências

- Amaral, C.P. (1996) Escorregamentos em Encostas no Rio de Janeiro: Inventário, Condicionantes Geológicos e Programa para Reprodução dos Acidentes Associados. Tese de Doutorado, DEC/PUC, Rio de Janeiro.
- Augusto Filho, O. (1992) Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. Anais da 1ª Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, ABMS/ABGE/PUCRJ, Rio de Janeiro, v. 2, p. 721-733.
- Augusto Filho, O. (1993) O estudo das corridas de massa em regiões serranas tropicais: Um exemplo de aplicação no município de Ubatuba-SP. Anais do 7º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, v. 2. p. 63-72
- Augusto Filho, O. & Virgili, J.C. (1998) (1991) Estabilidade de taludes. Oliveira, A.M.S. & Brito S.N.A. (eds) Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo.
- Carvalho, P.A.S. (coord.) Taludes e Rodovias. Orientação para Diagnóstico e Soluções de Problemas. Publicação IPT 1843, IPT, São Paulo, 388 p.
- CBH-SM/CPTI (2000) Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI - 1 - Serra da Mantiqueira. Relatório Zero. Relatório CPTI 096/00, São Paulo; Comitê da Bacia Hidrográfica da Serra da Mantiqueira (CBH-SM), Campos de Jordão, 276 p.
- DAEE (2000) <http://www.daee.sp.gov.br/hidrometeorologia>. Consultado em 2004. Os dados pluviométricos estavam atualizados até 2000.
- Ellen, S.D. & Fleming, R.W. (1987) Mobilization of debris flow from soil slips, San Francisco Bay region, California. Reviews in Engineering Geology. Geological Society of America, v. VII, p. 31-40.
- GeoRio (2000) Investigações e Análises. Coleção Manual Técnico de Encostas. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 253 p.
- Guidicini, G. & Nieble, C. (1984) Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação, 2a ed. Edgard Blücher, São Paulo, 194 p.
- Guidicini, G. & Iwasa, O.Y. (1976) Ensaio de Correlação entre Pluviosidade e Escorregamentos em Meio Tropical Úmido. Publicação IPT 1080, IPT, São Paulo, 48 p.
- Guimarães, R.F.; Montgomery, D.R.; Greenberg, H.M.; Gomes, R.A.T.; Vieira, B.C. & Fernandes, N.F. (1999) Aplicação do modelo Shalstab para a determinação de áreas de risco a escorregamentos rasos em regiões tropicais. Anais do 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, em CD-Rom.
- Gumbel, E.J. (1958) Statistics of Extremes. Columbia University Press, New York, 375 p.

- IBGE (2003) Base de Informações Municipais. Malha Municipal Digital 2003. [www.ibge.gov.br/cidadesat](http://www.ibge.gov.br/cidadesat). Acessado em 13 de agosto de 2004.
- IPT (1981a) Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo. Escala 1:500.000. Publicação 1183, IPT, Monografia, 5, 2 v., 130 p.
- IPT (1981b) Mapa Geológico do Estado de São Paulo. São Paulo. Escala 1:1.000.000. Publicação 1184, IPT, Monografia, 6, 126 p.
- IPT (1988) Estudo das Instabilizações de Encostas na Serra do Mar na Região de Cubatão Objetivando a Caracterização do Fenômeno "Corrida de Lama" e da Prevenção dos seus Efeitos. Relatório 26258, IPT, São Paulo, 305 p.
- Matos, M.M. (1974) Stability of Slopes in Residual Soils M.Sc. Thesis, University of Alberta, Canada, 220 p.
- Oliveira, A.M.S. (1990) Depósitos tecnogênicos associados à erosão atual. Anais do 6º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, v. 1, p. 411-418.
- Oliveira, J.B.; Camargo, M.N.; Rossi, M. & Calderano Filho, B. (1999) Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. Instituto Agrônomo, Campinas e Embrapa - Solos, Rio de Janeiro, 64 p.
- Ridente Junior, J.L.; Ogura, A.T.; Macedo, E.S.; Gomes, L.A.; Diniz, N.C.; Alberto, M.A. & Santos, P.H.P. (2002) Acidentes associados a movimentos gravitacionais de massa ocorridos no Município de Campos de Jordão, SP, em janeiro do ano de 2000: Ações técnicas após o desastre. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, em CD-Rom.
- Santos, A.R. (2002) Geologia de Engenharia. Conceitos, Métodos e Prática. ABGE/IPT, São Paulo, 222 p.
- Setzer, J. (1946) Contribuição para o Estudo do Clima do Estado de São Paulo. Boletim DER n. V, IX a XI, São Paulo, 239 p.
- Tatizana, C.; Ogura, A.T.; Cerri, L.E.S. & Rocha, M.C.M. (1987a) Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, v. 2, p. 225-236.
- Tatizana, C.; Ogura, A.T.; Cerri, L.E.S. & Rocha, M.C.M. (1987b) Modelamento numérico da análise de correlação entre chuvas e escorregamentos aplicado às encostas da Serra do Mar no município de Cubatão. Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo, v. 2, p. 237-248.
- Terzaghi, K. (1950) Mechanism of Landslides. Harvard Soil Mechanics Series 36, Department of Engineering, Harvard.
- Vargas, M. (1999) Revisão histórico conceitual dos escorregamentos da Serra do Mar. Solos e Rochas, v. 2:1, p. 53-83.
- Varnes, D.J. (1978) Slope movement types and process. In: Landslide Analysis and Control. National Academy of Sciences, Washington.
- Vieira, B.C.; Fernandes, N.F.; Guimarães, R.F. & Gomes, R.A.T. (1999) Análise qualitativa de fatores condicionantes de escorregamentos rasos a partir de um modelo de previsão de áreas de risco. Anais do 9º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, ABGE, São Paulo.
- Wolfe, C.M. & Carvalho, C.S. (1989) Deslizamentos em encostas na Serra do Mar - Brasil. Solos e Rochas, v. 12:1.
- Wolfe, C.M.; Guidicini, G.; Araujo, J.S. & Pedrosa, A. (1978) A slide mechanism in the slopes of the Serra do Mar Southern Brazil. 3º International Conference of Engineering Geology, IAEG, Paris.
- Wolfe, C.M. (1980) Taludes naturais: mecanismos de instabilização e critérios de segurança. São Paulo. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 245 p.