

CONSTRUÇÃO DE CARTAS DE PREDISPOSIÇÃO A ESCORREGAMENTOS EM ÁREAS URBANAS USANDO ROTINAS DE APOIO À DECISÃO

ELABORATION OF LANDSLIDES PREDISPOSITION CHARTS IN URBAN AREAS USING ROUTINES OF DECISION SUPPORT

Rodrigues, Berenice Bitencourt, *Belo Horizonte (MG), Brasil,*
berenicerodrigues@yahoo.com.br.

Zuquette, Lázaro Valentim, *Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos (SP), Brasil, lazarus1@sc.usp.br*

RESUMO

O trabalho apresenta uma sistematização para análise de áreas sujeitas aos processos naturais, por meio de um grupo de procedimentos, para regiões urbanizadas, baseado em informações registradas em mapeamentos geotécnicos. A área selecionada para aplicação dos procedimentos é uma porção da cidade de Ouro Preto, estado de Minas Gerais, na porção sudeste do Brasil, por apresentar características geológico-geotécnicas predisponentes a ocorrência de escorregamentos. Assim como, possui um conjunto de informações geológico-geotécnicas atualizadas que permitem a implementação da sistemática, possibilitando a tomada de decisão considerando a seleção de uma ou mais medidas de intervenção.

ABSTRACT

The work presents a systematic to assess urbanized areas affected by natural processes, as landslides. The systematic is composed of a group of procedures, based on geological and geotechnical information registered in engineering geological map. The area selected for application of the systematic is a part of the city of Ouro Preto, State of Minas Gerais, southeastern of Brazil. This area presents favorable conditions to landslides. There is updated information that allows the application of the systematic, and the results permit to select a decision measures more adequate to adopt for avoiding and control of the natural process.

1. INTRODUÇÃO

Região urbanizada pode ser definida como o conjunto dos componentes de um ecossistema onde as atividades humanas estão interligadas aos outros componentes enquanto o sistema evolui dinamicamente. Qualquer alteração espacial e/ou estrutural em uma parte ou elemento deste sistema provoca uma reação em cadeia atingindo as outras partes e/ou elementos de maneira direta ou indireta, cumulativamente ou não.

A construção de sistemas para auxílio no processo de Tomada de Decisão para áreas sujeitas a movimentos de massa gravitacionais pode levar em consideração desde aspectos ambientais e construtivos até aspectos sociais e econômicos. A maioria destes sistemas baseia-se em relações complexas entre os componentes ambientais.

A metodologia utilizada baseia-se em uma técnica denominada Processo Analítico Hierárquico (Analytical Hierarchy Process – AHP) onde os diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão são comparados, atribuindo-se uma importância relativa, conforme uma escala definida

com base na influência de cada um dos fatores na ocorrência do processo de escorregamento. A técnica permite, ainda, a análise quanto a importância de cada um dos componentes analisados, mostrando seu grau de influência na ocorrência do evento.

A caracterização das áreas favoráveis à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais foi definida com base na individualização da área de estudo em 736 celas de dimensões regulares (50m X 50m) onde foram considerados 24 atributos relativos aos 7 componentes selecionados (Substrato Rochoso, Material Inconsolidado, Vegetação, Uso do Solo e Feições dos Movimentos de Massa Gravitacionais, Características do Relevo e Feições dos Movimentos de Massa Gravitacionais), e para cada atributo, foram definidas as classes que melhor refletem a instabilidade.

Para a aplicação do AHP, foram definidos 4 níveis de hierarquização, sendo o primeiro nível ocupado pela meta, ou seja, a predisposição quanto a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais, o segundo, pelos componentes do meio físico ou antrópico, o terceiro, ocupado pelos atributos referentes a cada um dos componentes selecionados e o quarto, ocupado pelas classes dos atributos.

O estudo possibilitou a classificação de cada cela quanto ao grau de predisposição para ocorrência de escorregamentos, assim como as medidas mais adequadas para controle ou prevenção.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo encontra-se localizada na porção sudoeste do estado de Minas Gerais e inserida na região de expansão urbana de Ouro Preto (UTM 656.800E; 7.746.600N e 655.000E; 7.745.000N) apresentando, aproximadamente, 2km² (Figura 1).

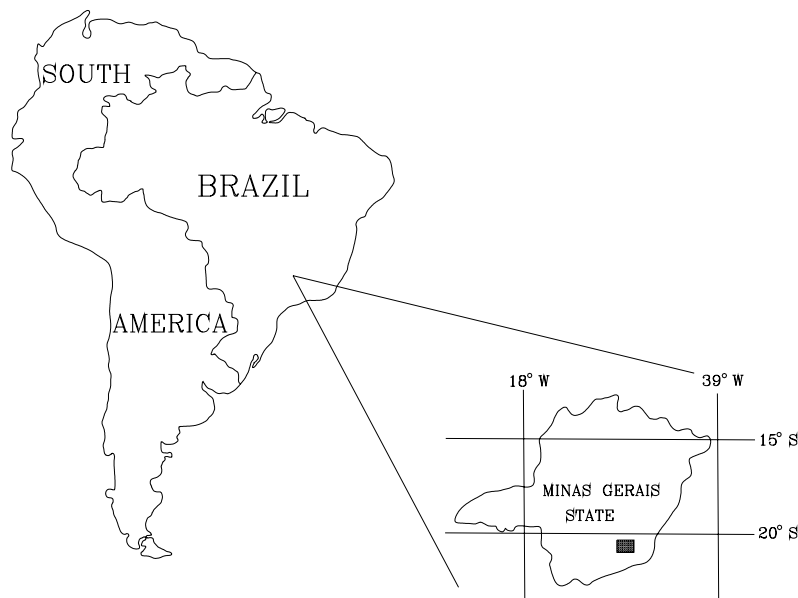


Figura 1- Localização da área de estudo.

O clima da região é tropical de altitude com inverno seco e verão moderado (Cwb de acordo com a classificação de Köppen). A temperatura média anual é de 18,5°C com precipitação média variando em torno de 1005 a 2317mm (IGA, 1995).

A área encontra-se geologicamente localizada em uma porção do Quadrilátero Ferrífero e é composta por litologias que apresentam grau de metamorfismo de intermediário a baixo (filitos, xistos, quartzitos). A região sofreu grande atividade tectônica pretérita e apresenta intenso fraturamento. A declividade é bastante elevada - predominantemente superior a 30% - onde pode ser observada uma densa rede de drenagem (Figura 2).



Figura 2 - Vista geral da área de estudo onde podem ser observadas diversas cicatrizes de movimentos de massa gravitacionais.

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para a caracterização das áreas favoráveis a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais foram definidos os atributos (naturais e antrópicos) que influenciam diretamente ou indiretamente na ocorrência dos eventos.

Para a aplicação da Sistemática de Análise Hierárquica (AHP), foram definidos 4 níveis de hierarquização utilizados na análise do problema. O primeiro nível é ocupado pela meta ou a predisposição quanto a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais, o segundo, pelos componentes do meio físico ou antrópico que favorecem (menos ou mais) a ocorrência dos eventos, o terceiro, ocupado pelos atributos referentes a cada um dos componentes selecionados e o quarto, ocupado pelas classes dos atributos definidos para a área em estudo.

A adequabilidade das informações foi analisada com base na proposta de Rodrigues (2003), constituída por 10 etapas sequenciais e envolve a avaliação e análise de atributos quantitativos e qualitativos do meio físico e antrópico caracterizados pela transformação (dos atributos qualitativos) em atributos quantitativos através da valoração (transformação em pesos) considerando as relações de preferência/importância dos mesmos entre si e com relação a predisposição a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais.

A definição da área mínima para a tomada de decisão levou em conta as dimensões da área de aplicação, a escala de trabalho, o objetivo do estudo, a necessidade de extrapolação da Tomada de Decisão - portanto não sendo possível trabalhar com encostas ou bacias o que levaria a superestimar algumas áreas e subestimar outras.

Sabendo que o objetivo da aplicação da metodologia é definir ações mitigadoras para as áreas já ocupadas, e disciplinar as ocupações daquelas que ainda não o foram, optou-se por trabalhar na escala 1:2.000, considerando, ainda, que estudos desta natureza (detalhamento) devem ser apresentados em escalas superiores a 1:10.000.

Uma parcela da área urbanizada de Ouro Preto (MG) foi escolhida para aplicação da sistemática em função da existência de dados geológico-geotécnicos produzidos por diversos trabalhos de mapeamento geotécnico desenvolvidos em escalas maiores que 1:10.000, e por ser uma região afetada por Movimentos de Massa Gravitacionais de diferentes intensidades.

Considerando que a maior parte dos dados obtidos (Souza, 1996; Bonuccelli, 1999 e Zenóbio, 2000) encontravam-se nas escalas 1:5.000 e 1:10.000 - existindo, assim, uma coerência entre os dados obtidos e a escala selecionada - foram efetuadas adaptações, atualizações (vegetação, inventário dos eventos, etc) e detalhamento, através de levantamento de campo, a fim de suprir a necessidade quanto a validade temporal e espacial.

As informações obtidas dos trabalhos existentes, selecionadas de mapas, cartas e dados tabulares, após algumas transformações, foram representadas por codificação específica. No total foram considerados 24 atributos representados em 12 mapas e cartas que deram origem a 36 cartogramas, após análise e sistematização das informações, considerando um grid de dimensões 50 x 50 m (Figura 3), com relação à predisposição a ocorrência de movimentos de massa gravitacionais.

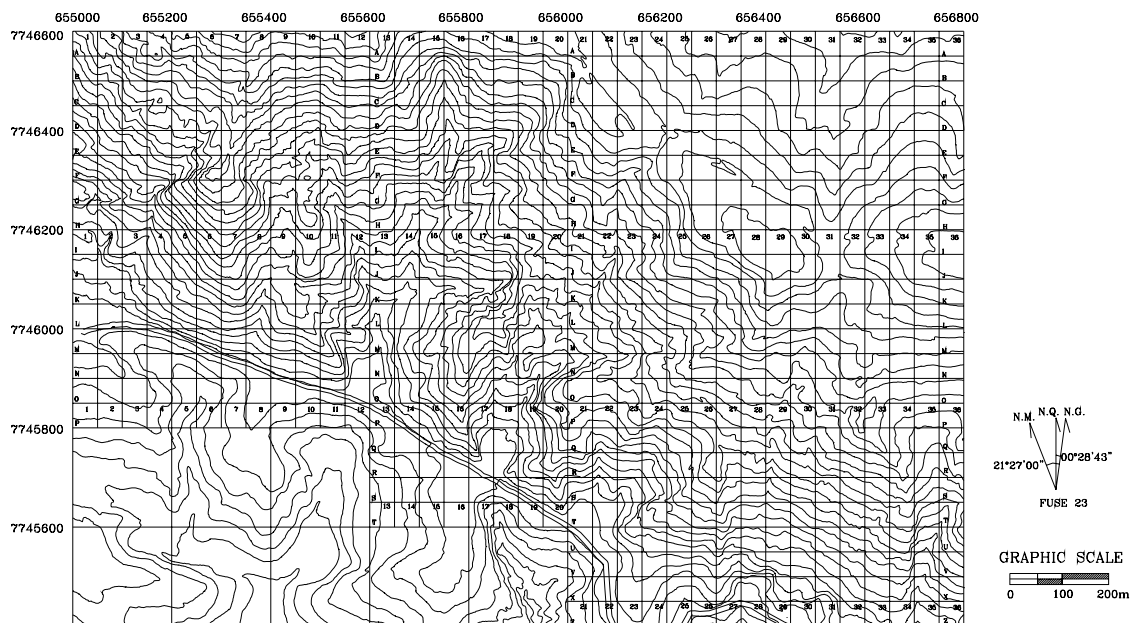


Figura 3 - Mapa da área de estudo apresentando a distribuição das celas (área mínima para a Tomada de Decisão).

Considerando-se o conjunto de dados disponíveis, verificou-se a adequabilidade de uso de cada uma das informações selecionadas para uso na análise de predisposição a ocorrência dos movimentos de massa gravitacionais. As informações classificadas como adequadas foram selecionadas para uso nas análises; aquelas que se mostraram inadequadas foram descartadas e aquelas que apresentaram uma formatação diferente da necessária foram tratadas de forma a se adequarem à necessidade de uso.

Os dados referentes ao Material Inconsolidado, obtidos do trabalho apresentado por Bonuccelli (1999) foram subdivididos conforme o tipo, grau de alteração e profundidade, quando utilizados conforme a autora apresentou na documentação gráfica. Já o atributo referente à descontinuidade mais provável para ocorrer ruptura foi obtido através do tratamento da informação sobre descontinuidades presentes no material.

Os atributos referentes à Topografia/Relevo obtidos do trabalho apresentado por Zenóbio (2000) e sofreram diversos tratamentos, ou seja, a partir do mapa topográfico apresentando curvas de nível com frequência de 2m, foram executados os seguintes tratamentos: obtenção da curvatura da encosta em cada cela, considerando as direções vertical e horizontal (côncava, convexa ou linear); determinação do número de celas que contribuem no escoamento superficial de uma determinada cela; a determinação da declividade em cada cela; a amplitude de relevo em cada uma das celas; identificação do número de taludes inseridos dentro de cada cela; a posição da encosta da cela em relação à área como um todo e a determinação do comprimento da encosta em cada cela.

As informações referentes ao Uso do Solo foram obtidas através da atualização de dados (trabalhos de campo), tendo como base o mapa topográfico apresentado no trabalho de Zenóbio (2000) com curvas de nível com frequência de 2m, com o auxílio das ortofotos (CEMIG, voo Projeto 03/86) na escala 1:10.000 e fotografias locais. Estas informações são referentes ao tipo de uso, percentagem da área ocupada e número de taludes artificiais presentes em cada cela.

Quanto a Vegetação, as informações referentes ao tipo foram obtidas diretamente do mapa apresentado no trabalho de Bonuccelli (1999), com atualização de dados através de trabalhos de campo, fotografias aéreas e ortofotos disponíveis. As informações referentes a densidade, foram obtidas a partir da atualização dos dados em campo com apoio em fotografias aéreas e ortofotos disponíveis.

Os atributos referentes a litologia foram obtidos da documentação gráfica apresentada no trabalho de Bonuccelli (1999) e foram subdivididos nas seguintes classes: tipo predominante, composição de todos os tipos presentes, características de relação entre os tipos e resistência do material.

As informações referentes às Feições de Movimentos de Massa Gravitacionais foram obtidas a partir do cruzamento das informações disponibilizadas por Bonuccelli (1999) e Zenóbio (2000), que sofreram um tratamento no sentido de filtrar as feições referentes a movimentos de massa gravitacionais e erosões, definindo-se o tipo de atividade de cada uma delas e obtendo-se o número e a área ocupada por elas em cada uma das celas.

As demais informações obtidas através da documentação apresentada pelos autores foram descartadas em termos de uso no tratamento das informações, sendo consideradas somente, em termos de conhecimento da área para subsidiar a Tomada de Decisão.

Para a aplicação da Sistemática de Análise Hierárquica (AHP), foram definidos os pesos de cada um dos componentes, atributos ou classes (dependendo do nível avaliado). Tomou-se como base a proposta de Saaty (1990b) que objetiva determinar, em termos numéricos, dentro de uma escala de valores pré-definidos, as prioridades dos elementos de um nível em relação a um nível superior - considerando sua importância - permitindo, ainda, a análise quanto a importância de cada um dos componentes selecionados, mostrando seu grau de influência na ocorrência do evento.

A fim de auxiliar e conduzir com maior segurança a definição dos pesos, foram considerados dois modelos teóricos relacionados ao fator de segurança, sendo o primeiro modelo caracterizado pela seguinte equação:

$$A [\Sigma (\text{Atributos favoráveis a estabilidade} + \text{Atributos que afetam positivamente os favoráveis})] = B [\Sigma (\text{Atributos favoráveis a instabilidade} + \text{Atributos potencializadores dos favoráveis a instabilidade})] \quad (1)$$

Este modelo permite considerar uma análise temporal, a variabilidade espacial das informações e os diferentes tipos de informações (qualitativas e quantitativas), já que desta maneira os atributos podem ser classificados em relação à instabilidade e quanto ao efeito potencializador dos problemas de movimentos de massa gravitacionais.

O segundo considera o modelo do talude infinito conforme diretrizes de Wu & Abdel-Latif (2000), sendo o fator de segurança (visão determinística) assumido como:

$$F_s = \frac{Cr + C' + [\gamma(Z - h_w) + (\gamma_s - \gamma_w)h_w] \cos^2 \beta \cdot \tan \theta}{[\gamma(Z - h_w) + \gamma_s h_w] \sin \beta \cdot \cos \beta} \quad (2)$$

Onde: Cr: coesão para áreas vegetadas; C': coesão efetiva; γ : peso específico para não saturado; γ_s : peso específico para saturado; γ_w : peso específico da água; β : declividade; θ : ângulo de atrito efetivo; h_w : altura da lâmina de água; Z: profundidade da superfície de escorregamento.

Foram elaboradas, ainda, as matrizes de pesos (ou pareadas) para cada um dos sete componentes em relação aos atributos e para cada um dos 24 atributos e as respectivas classes.

Para cada matriz foram obtidos os *autovalores* e *autovetores*. Os *autovetores* obtidos em relação ao *autovalor* mais significativo - ou considerado máximo - foram normalizados, obtendo-se, assim, os pesos relativos normalizados.

Para uma matriz ser considerada consistente, é necessário que seu autovalor máximo ($\lambda_{\max} = A.V_{\max}$) seja aproximadamente igual a sua ordem n . Quanto maior for essa proximidade, melhor será seu resultado, portanto, foram calculados o Índice de Consistência (IC) e a Razão de Consistência (RC) a partir das seguintes equações:

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n - 1} \quad (3)$$

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4)$$

Onde: λ_{\max} : maior autovalor encontrado ou próximo da ordem da matriz; n: ordem da matriz; IR: índice randômico (Saaty, 1990a)

Para garantir a consistência das matrizes, duas condições foram verificadas: a consistência será tanto maior quanto IC for próximo de zero e a razão de consistência (RC) deve ser um valor abaixo de 0,10, ou seja, qualquer matriz é considerada consistente se atender as seguintes condições: $\lambda_{\max} \cong n$; $\lambda_{\max} < n + 5\%$; $IC \cong 0$ e $RC \leq 0,10$.

Após a obtenção dos pesos relativos normalizados para os componentes (nível 2), atributos (nível 3) e classes dos atributos (nível 4), foram obtidos os Índices Finais de Instabilização das Encostas (IFIE) de acordo com a seguinte equação:

$$IFIE_c = \sum_n^1 PRN \times PRA \times PRC \quad (5)$$

Onde: IFIE_c: Índice Final de Instabilização da Encosta na cela; PRN: Peso Relativo Normalizado das Classes; PRA: Peso Relativo Normalizado dos Atributos; PRC: Peso Relativo Normalizado dos Componentes; n: componentes.

Para a confecção da carta de predisposição foi elaborada uma classificação baseada em uma gradação onde foram definidas três classes quanto a predisposição: (A) alta, (M) média e (B) baixa. Quanto a definição dos valores limites entre as classes, foram considerados a média e o desvio padrão dos valores de IFIE para o conjunto das 736 celas.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Considerando os dados disponíveis e aqueles obtidos em trabalhos de campo, foram selecionados os componentes, atributos e classes para análise da predisposição aos movimentos de massa gravitacionais, que se encontram sistematizadas na Tabela 1 (os índices IPRCO, IPRA e IPRC representam os índices parciais relativos normalizados dos Componentes, Atributos e Classes, respectivamente). A divisão de componentes em 7 categorias deve-se às condições da área em estudo, assim como aos mecanismos considerados para os diferentes tipos de movimentos de massa gravitacionais.

Tabela 1. Componentes atributos e classes, e respectivos Índices Parciais Relativos Normalizados.

COMPONENTE LITOLOGIA (IPRCO) 0,101521	
ATRIBUTO (IPRA)	CLASSES (IPRC)
TIPO PREDOMINANTE (0,209652)	1 – XISTO (0,237288); 2 – QUARTZITO (0,091404); 3 – ITABIRITO (0,140436); 4 – FILITO (0,530872)
COMPOSIÇÃO DOS TIPOS (0,209652)	1 – QUARTZITO/XISTO (0,112658); 2 – QUARTZITO/ITABIRITO (0,075316); 3 – QUARTZITO/XISTO /ITABIRITO (0,244304); 4 – FILITO/QUARTZITO /ITABIRITO (0,567722)
CARACTERÍSTICAS DE RELAÇÃO (0,209652)	1 – INTERCALADOS (0,571709); 2 – ASSOCIADOS (0,142764); 3 – LENTES OU PRESENÇA (0,285527)
QUANTO A RESISTÊNCIA (0,3710430)	1 – BRANDA (0,229419); 2 – DURA (0,059322); 3 – INTERCALADA /ASSOCIADA (0,185835); 4 – FRIÁVEL (0,525424)
COMPONENTE MATERIAL INCONSOLIDADO (IPRCO) 0,17576	
ATRIBUTO (IPRA)	CLASSES (IPRC)
TIPO (0,353003)	1 – COLÚVIO/TALUS (0,204767); 2 – RESIDUAL MADURO ARENOSO (0,106292); 3 – RESIDUAL MADURO SILTO/ARGILOSO (0,062134); 4 – RESIDUAL JOVEM ARENOSO (0,136772); 5 – RESIDUAL JOVEM SILTO/ARGILOSO (0,053146); 6 – SAPRÓLITO ARENOSO (0,155139); 7 – SAPRÓLITO SILTO /ARGILOSO (0,048066); 8 – ATERROS (0,217663); 9 – AUSÊNCIA (0,016022)
CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA (0,165964)	1 – A5 (ISRM) – SOLOS SAPROLÍTICOS (0,077798); 2 – A6 (ISRM) – SOLOS RESIDUAIS (0,063694); 3 – COLÚVIOS (0,295723); 4 – ATERROS NÃO COMPACTADOS (0,203822); 5 – DEPÓSITOS DE REJEITOS E RESÍDUOS (0,247953); 6 – ALUVIÕES (0,066424); 7 – AUSÊNCIA (0,044586)
ESPESSURA (0,310854)	1 – < 2 m (0,594156); 2 – 2 a 10 m (0,222078); 3 – > 10 m (0,129221); 4 – AUSÊNCIA (0,054545)

Tabela 1 (continuação). Componentes atributos e classes, e respectivos Índices Parciais Relativos Normalizados.

DESCONTINUIDADE MAIS PROVÁVEL P/ RUPTURA (0,170179)	1 – MATERIAL INCONSOLIDADO/ROCHA (0,401504); 2 – MATERIAL INCONSOLIDADO RESIDUAL SOBRE SAPRÓLITO (0,213033); 3 – FRATURAS, FOLIAÇÃO, JUNTAS, OUTRAS DESC, TECTÔNICAS (0,158396); 4 – CONTATOS LITOLÓGICOS (0,109774); 5 – OUTROS (0,079198); 6 – AUSÊNCIA (0,038095)
COMPONENTE RELEVO 1 (IPRCO) 0,32109	
ATRIBUTO (IPRA)	CLASSES (IPRC)
DECLIVIDADE (0,700955)	1 – < 10% (0,034607); 2 – 10 a 30% (0,053719); 3 – 30 a 45% (0,094525); 4 – 45 a 70% (0,155992); 5 – 70 a 100% (0,257231); 6 – > 100% (0,403926)
AMPLITUDE DE RELEVO (0,19324)	1 – < 10 m (0,055345); 2 – 10 a 20 m (0,094411); 3 – 20 a 35 m (0,155182); 4 – 35 a 50 m (0,255562); 5 – > 50 m (0,439501)
COMPRIMENTO DA ENCOSTA (0,105805)	1 – < 20 m (0,087995); 2 – 20 a 35 m (0,15676); 3 – 35 a 70 m (0,272145); 4 – > 70 m (0,087995)
COMPONENTE RELEVO 2 (IPRCO) 0,145349	
ATRIBUTO (IPRA)	CLASSES (IPRC)
CURVATURA-V/H (0,467279)	1 – LINEAR/CÔNCAVA (0,161087); 2 – CONVEXA/CÔNCAVA (0,139819); 3 – CÔNCAVA/CÔNCAVA (0,269791); 4 – LINEAR/CONVEXA (0,086254); 5 – CONVEXA/CONVEXA (0,034659); 6 – CÔNCAVA/CONVEXA (0,081134); 7 – LINEAR/LINEAR (0,057503); 8 – CONVEXA/LINEAR (0,039779); 9 – CÔNCAVA/LINEAR (0,129972)
TRAJETÓRIA (0,160161)	1 – CONTRIBUIÇÃO DE UMA CELA (0,093057); 2 – CONTRIBUIÇÃO DE DUAS CELAS (0,150916); 3 – CONTRIBUIÇÃO DE TRÊS CELAS (0,197203); 4 – CONTRIBUIÇÃO DE QUATRO CELAS (0,225169); 5 – CONTRIBUIÇÃO DE MAIS DE QUATRO CELAS (0,333655)
NÚMERO DE SUPERFÍCIES (0,095293)	1 – UMA (0,095293); 2 – DUAS (0,160161); 3 – TRÊS (0,277268); 4 – QUATRO OU MAIS (0,467279)
POSIÇÃO NA ENCOSTA (0,277268)	1 – TERÇO SUPERIOR (0,217178); 2 – TERÇO MÉDIO (0,49816); 3 – TERÇO INFERIOR (0,284663)
COMPONENTE VEGETAÇÃO (IPRCO) 0,046959	
ATRIBUTO (IPRA)	CLASSES (IPRC)
TIPO (0,599856)	1 – CAMPO CERRADO (0,241964); 2 – CERRADO COM ROCHAS (0,138515); 3 – QUINTAIS E POMARES (0,120397); 4 – MATA (0,499123)
ÁREA/DENSIDADE (0,4001440)	1 – < 5% (0,054003); 2 – 5 a 20% (0,10864); 3 – 20 a 70% (0,280813); 4 – > 70% (0,556544)
COMPONENTE USO DO SOLO (IPRCO) 0,033095	
ATRIBUTO (IPRA)	CLASSES (IPRC)
TIPO DE OCUPAÇÃO (0,230769)	1 – EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E INFRAESTRUTURA - vias, energia, água, saneamento, etc, (0,402792); 2 – EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS, PRIVADAS OU PÚBLICAS DE USO CONTÍNUO OU ESPORÁDICO, INFRAESTRUTURA - vias, energia, água, saneamento, etc, (0,217846); 3 – EDIFICAÇÕES COMERCIAIS E INDUSTRIAIS (0,129611); 4 – ÁREAS ABERTAS - praças, parques esportivos, quadras, etc, (0,110668); 5 – AGROPECUÁRIA (0,080259); 6 – SEM USO - sem construção (0,058824)
ÁREA OCUPADA (0,307692)	1 – < 5% (0,402792); 2 – 5 a 20% (0,217846); 3 – 20 a 50% (0,129611); 4 – 50 a 90% (0,110668); 5 – > 90% (0,080259)
NÚMERO DE TALUDES ARTIFICIAIS (0,461538)	1 – MENOS DO QUE 2 (0,055521); 2 – DOIS A CINCO (0,106675); 3 – CINCO A DEZ (0,310044); 4 – MAIS DO QUE 10 (0,52776)
COMPONENTE CARACTERÍSTICAS DE INSTABILIZAÇÃO DAS ENCOSTAS (IPRCO) 0,176208	
ATRIBUTO (IPRA)	CLASSES (IPRC)
NÚMERO DE FEIÇÕES (0,420648)	1 – NENHUMA (0,052872); 2 – UMA (0,108355); 3 – DUAS (0,246736); 4 – MAIS DO QUE DUAS (0,592037)
CARACTERÍSTICAS DE INSTABILIDADE (0,27732)	1 – NENHUMA (0,016807); 2 – ESCORREGAMENTO T. ROCHA (0,192877); 3 – ESCORREGAMENTO T. SOLO (0,251701); 4 – MOVIMENTO COMPLEXO (0,17487); 5 – EROSIÃO (0,041617); 6 – EROSIÃO INTERNA (0,060824); 7 – ATERRRO (0,071228); 8 – BOTA-FORA (0,09964); 9 – QUEDA DE BLOCO (0,090436)
ÁREA TOTAL (0,119165)	1 - AUSÊNCIA (0,035223); 2 – < 25% (0,097413); 3 – 25 a 50% (0,159604); 4 – 50 a 75% (0,264172); 5 – 75 a 100% (0,443588)
ATIVIDADE (0,182867)	1 - AUSÊNCIA (0,067342); 2 – ATIVO (0,494636); 3 – DORMENTE (0,290822); 4 – ESTABILIZADO (0,147199)

Após a execução dos cálculos referentes a obtenção dos valores de IFIE obteve-se um gráfico onde pode ser observada a distribuição estatística destes valores (Figura 4). O eixo das abcissas representa os números das celas (variando de 1 a 736) e no eixo das ordenadas estão representados os valores de IFIE, correspondentes a cada uma delas. Estes valores (IFIE's) foram agrupados em categorias, frequência e porcentagem por cela e encontram-se representados na Tabela 2.

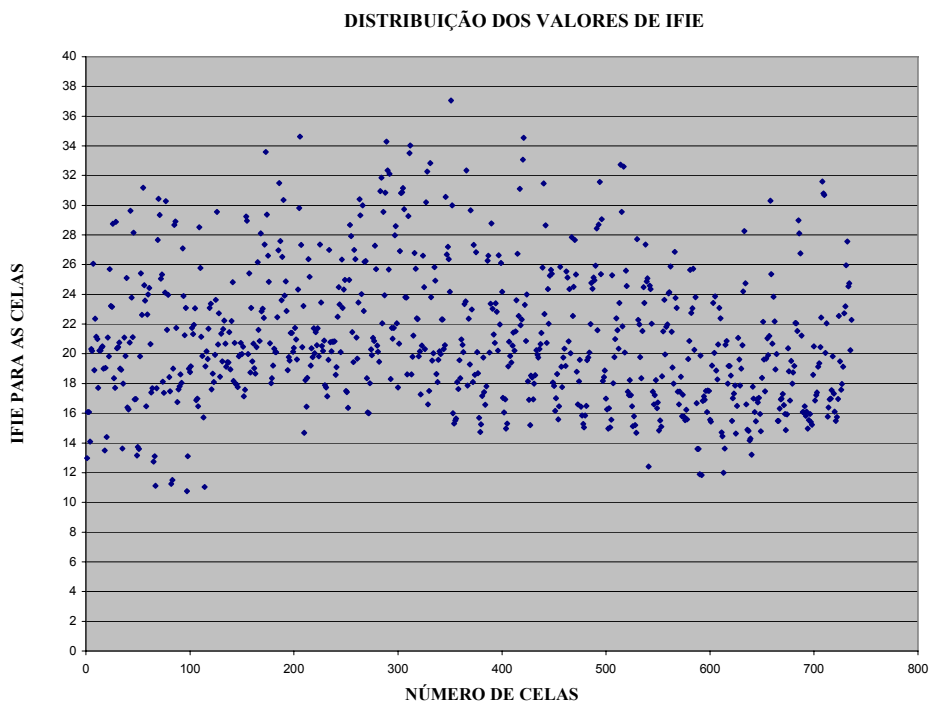


Figura 4 - Distribuição das classes de predisposição aos movimentos de massa gravitacionais.

Tabela 2. Categorias, frequência e porcentagem de celas por categoria definidas a partir dos Índices Finais de predisposição das Celas (IFIE).

CLASSES	FREQÜÊNCIA	PORCENTAGEM
37,062 - 31	23	3,125
31 - 28	45	6,11413
28 - 25	72	9,782609
25 - 23	78	10,59783
23 - 20	178	24,18478
20 - 18	137	18,61413
18 - 15	163	22,14674
15 - 13	29	3,940217
13 - 12	3	0,407609
12 - 9,73	8	1,086957

Os valores máximo e mínimo encontrados para os IFIE's - calculados para toda a área estudada - foram $IFIE_{max}=37,062$ e $IFIE_{min}=9,073$ e apresentam como média e desvio padrão, respectivamente: 21,035 e 4,585.

Os valores de IFIE máximo, mínimo, média e desvio padrão serviram de base para a classificação de cada cela quanto ao grau de predisposição à ocorrência de movimentos de massa gravitacionais e, a partir destes valores individuais, foi desenvolvido um zoneamento considerando as 3 categorias de predisposição. Em função da diversidade de classes geradas e apresentadas em Rodrigues (2003) foi elaborado um agrupamento em 3 classes quanto ao grau de predisposição (alto, médio e baixo) para apresentação devido aos problemas de representação dos mesmos em espaço reduzido.

Para a definição do grau de predisposição foram considerados os limites extremos, a média e o desvio padrão, conseqüentemente, os limites definidos foram: alto grau (A) com valores superiores a 23, médio grau (M) com valores entre 23 e 15 e baixo grau (B) apresentando valores inferiores a 15. A distribuição das classes com relação à posição das celas pode ser observadas na Figura 5.

A distribuição das classes, considerando todos os componentes, apresentou uma porcentagem em torno de 30% de celas classificadas como de alta predisposição à instabilidade, 65% de celas como de média predisposição à instabilidade e 5% de celas como de baixa predisposição à instabilidade.

A validação da sistemática pode ser observada na Figura 6 onde se encontra a combinação da distribuição espacial das classes de predisposição aos movimentos de massa gravitacionais e as feições registradas na área de estudo.

	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
A	B	M	M	B	B	M	B	M	M	M	M	M	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
B	M	B	M	B	B	B	B	B	M	M	M	M	M	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
C	M	M	B	B	B	B	M	M	M	M	M	M	M	A	M	A	M	M	M	A	M	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
D	B	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	A	A	M	M	B	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
E	M	M	M	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
F	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	A	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	B	M	M	M	M	M	M	M	B	M
G	A	A	A	A	A	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	B	M	M	M	M	M	M	M	
H	M	A	M	A	A	M	M	A	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
I	M	A	M	A	A	M	A	M	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	B	M	M	M	B	B	B	M	M	
J	M	A	M	M	M	M	M	M	M	A	A	A	M	M	M	A	M	A	M	M	M	A	M	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	
K	M	M	A	M	M	M	M	M	M	A	M	A	M	M	A	A	A	A	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
L	M	M	A	A	A	M	M	M	M	M	A	A	A	M	A	A	A	A	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	A	M	M	M	M	M	M	M	
M	M	A	M	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	M	A	M	A	A	M	A	A	M	M	M	M	M	M	M	M	A	A	M	M	M	M	M	M	
N	M	M	A	M	M	A	A	A	M	M	A	A	A	A	A	A	A	M	A	A	A	A	M	A	A	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
O	M	M	M	M	A	M	M	M	M	A	A	A	A	M	A	M	A	A	A	M	A	A	A	A	A	M	A	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
P	M	M	M	M	M	A	M	M	M	M	A	A	M	M	A	A	A	A	A	M	M	M	A	M	A	M	A	M	A	A	A	M	A	M	M	M	M	
Q																																						
R																																						
S																																						
T																																						
U																																						
V																																						
X																																						
Z																																						

Nº DE CELAS	CLASSES	PERCENTUAL
217	ALTA (A)	29,48
479	MÉDIA (M)	65,08
40	BAIXA (B)	5,44

Figura 5 - Distribuição das classes de predisposição aos movimentos de massa gravitacionais.

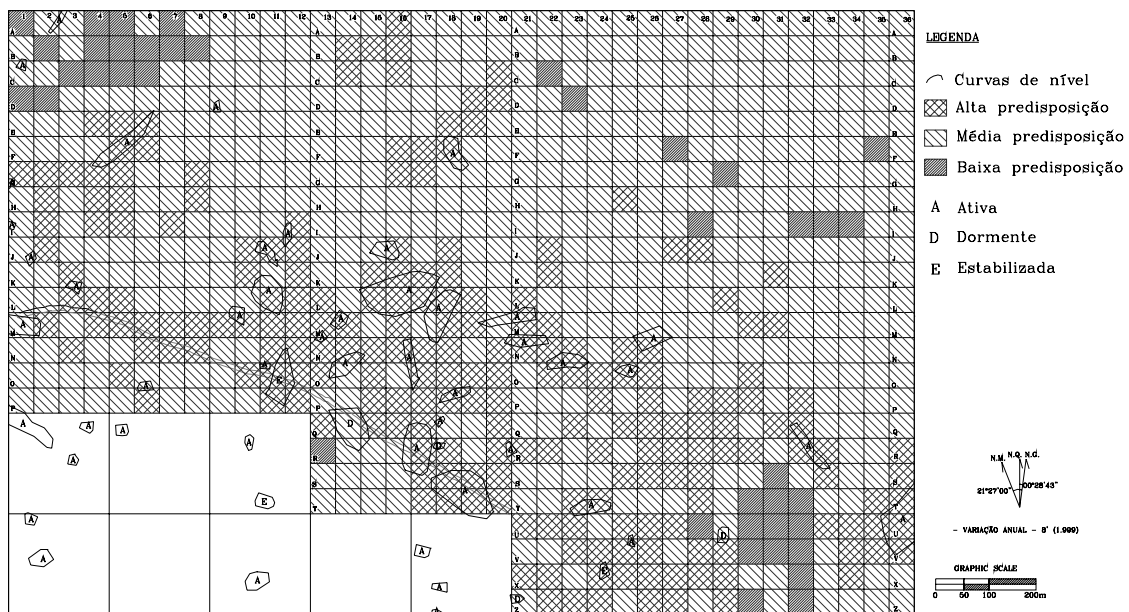


Figura 6 - Distribuição das feições de escorregamento e das classes de predisposição aos movimentos de massa gravitacionais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se estudar determinado tipo de evento natural ou antrópico (como no caso da predisposição a instabilização das encostas) é necessária a avaliação dos eventos com base em todos os componentes que caracterizam e/ou influenciam a ocorrência de tal evento, uma vez que a supressão de um ou mais componentes pode vir a alterar a definição do grau de instabilização de todo o terreno ou de partes deste. Isto pode ser altamente prejudicial, uma vez que esta definição pode levar a classificar uma área que apresenta alta predisposição à instabilidade em áreas que apresentam média até baixa predisposição a instabilidade.

6. REFERÊNCIAS

BONUCCELLI, T. **Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos com aplicação na área urbana de Ouro Preto/MG – Escala 1:10.000.** Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP (1999)3v.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS - IGA **Desenvolvimento Ambiental de Ouro Preto** – Microbacia do Ribeirão do Funil, Belo Horizonte/MG (1995).

RODRIGUES, B. B. **Proposta de sistemática para tomada de decisão relativa a movimentos de massa gravitacionais:** Aplicação em Ouro Preto (MG), Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro/SP (2003)359p, 3v.

SAATY, THOMAS L. **The analytic hierarchy process.** (1990a). Pittsburg: RWS, 2^a ed.

SAATY, THOMAS. L. **How to make a decision:** the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research 48 (1990b)9-26.

SOUZA, M.L. **Mapeamento Geotécnico da Cidade de Ouro Preto/ MG (escala 1:10.000)**, Susceptibilidade aos Movimentos de Massa e Processos Correlatos. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP (1996)2v.

WU, T. H. ABDEL-LATIF, & MOHAMED A. Prediction and mapping of landslide hazard. **Canadian Geotech. Journal**. 37 (2000) 781-795,

ZENÓBIO, A. A. **Avaliação geológico-geotécnica de encostas naturais rochosas: área urbana de Ouro Preto (MG) escala 1:5.000**. Dissertação (Mestrado) , Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos/SP (2000)2v.