



**RISCOS DE ESCORREGAMENTOS NUMA BACIA DE DRENAGEM
URBANA NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA - MG**

Ricardo T. Zaidan

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geografia - Ppge

Orientador: Nelson F. Fernandes PhD.

Rio de Janeiro
2006

**RISCOS DE ESCORREGAMENTOS NUMA BACIA DE DRENAGEM
URBANA NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA - MG**

Ricardo T. Zaidan

Tese submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos à obtenção do grau de Doutor em Geografia.

Aprovado por:

Prof. Dr. Nelson Ferreira Fernandes – Orientador (UFRJ)

Prof^a. Dr^a. Maria Hilde de Barros Goes (UFRRJ)

Prof. Dr. Jorge Soares Marques (UERJ)

Prof. Dr. Paulo Márcio Leal de Menezes (UFRJ)

Prof^a. Dr^a. Maria Naíse Oliveira Peixoto (UFRJ)

Prof^a. Dr^a. Telma Mendes da Silva (UFRJ)

Rio de Janeiro
2006

Zaidan, Ricardo Tavares.

Riscos de Escorregamentos numa Bacia de Drenagem Urbana no Município de Juiz de Fora – Mg/ Ricardo Tavares Zaidan. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 2006.

xi, 100 p. il.

(Tese) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGG, 2006. Orientador: Nelson Ferreira Fernandes.

1. Geografia Física. 2. Modelagem Matemática. 3. Previsão de Escorregamentos. 4. Risco.

I – UFRJ/ PPGG.

II – Título (série)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a duas grandes pessoas, que realmente fizeram-me sentir importante quando passei no vestibular para o Curso de Geografia e quando iniciei minha titulação. Dois exemplos de dedicação e perseverança: minha querida avó Ighes Bizaggio Tavares e meu respeitável tio Raimundo Alexandre Pereira.

Dedico a minha querida filha Laura, que durante seu primeiro ano de vida teve que dividir minhas atenções com meu trabalho de elaboração de tese.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador por dar-me a oportunidade de subir mais esse degrau em minha carreira profissional, além do ótimo exemplo de conduta e relacionamento com seus orientandos, exemplo esse que certamente será multiplicado ao longo de minha carreira profissional.

Agradeço a minha querida e admirável esposa pela tolerância nos momentos difíceis que só os mais próximos de um doutorando sabem o que é.

Agradeço aos meus pais pelo apoio e ajuda ao longo de toda minha formação.

Agradeço a minha querida prima Maria Angélica por todo o apoio e incentivo.

Agradeço aos colegas de doutorado, em especial Ana Cristina e

Sandra, pelo apoio e ajuda nos momentos de dificuldade e também nos momentos de felicidade.

Agradeço à Prefeitura Municipal de Juiz de Fora na pessoa do profissional José Ricardo (membro do antigo IPPLAN) pelo compartilhamento de fontes cartográficas inerentes a este trabalho.

Agradeço à Petrobrás na pessoa da profissional Lis Maria por colaborar no processo de modelagem matemática utilizando o programa SHALSTAB.

ABSTRACT
RISCOS DE ESCORREGAMENTOS NUMA BACIA DE DRENAGEM URBANA
NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA - MG

Z Aidan, Ricardo Tavares. Riscos de Escorregamentos numa Bacia de Drenagem Urbana no Município de Juiz de Fora – MG. Rio de Janeiro: PPGG/UFRJ, 2006. 100p. (Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro)

O desenvolvimento de metodologias para a previsão de ocorrência de escorregamentos e a análise de riscos associados, vem assumindo importância crescente na literatura geomorfológica e geotécnica. Dentre as metodologias de previsão destes eventos, tem se destacado a utilização de modelos matemáticos, principalmente os modelos determinísticos que são baseados em processos físicos naturais e que levam em consideração os fatores topográficos no processo de modelagem e previsão da susceptibilidade dessas áreas. Desta forma, este trabalho buscou contribuir através do desenvolvimento de uma metodologia para a determinação de áreas de risco atual e potencial a escorregamentos aplicado na bacia de drenagem urbana do Córrego Independência na escala 1:2.000, localizada no Município de Juiz de Fora - MG, através da utilização de um modelo determinístico – o Modelo SHALSTAB. O zoneamento de risco atual apontou cinco áreas bem distintas de risco: O Morro do Granbery se estendendo até o Bairro Bom Pastor, que não se caracterizou como uma área de alto risco, pois não é totalmente habitado, apresentando num geral classificação de baixo e médio risco. O Morro do Teixeira e a vertente para o bairro Santa Cecília, apresentando alto risco somente a última área. O Bairro Cascatinha, que apresentou alto risco apenas na vertente do lado oeste. A quarta área, a UFJF, que apresentou classificação de baixo a médio risco, devido à presença da cobertura de vegetação arbórea, que diminui a presença do risco. Por último, a região da encosta da porção norte, que passa pela noroeste (???) e chega na porção oeste, a jusante da Estação Meteorológica e do campus da UFJF. Foi a que apresentou o maior número de áreas de alto risco, distinguindo bem a porção do extremo norte do mapa, com maior frequência de áreas de alto risco e a porção do extremo sudoeste, com um menor número de áreas de alto risco, porém com o registro de ocorrência de escorregamentos nos últimos anos.

Acredita-se aqui que tal abordagem venha a contribuir para o desenvolvimento de metodologias que possam servir como subsídio para a definição de políticas de ocupação das encostas, de forma a apoiar o processo de modernização do Código de Obras Municipal em busca de eliminar e/ou reduzir os riscos já instalados e evitar a instalação de novas áreas de risco. Temos em vista que o desenvolvimento desse tipo

ABSTRACT

Risks of landslides in an Urban Draining Basin in the City of Juiz de Fora - MG. Rio De Janeiro: PPGG/UFRJ, 2006. 100p. (Tese)

The development of methodologies aimed to predict the occurrence of landslides and the analysis of the associated risks, has been gaining importance in the geomorphological and the geotechnical literature. Among these methodologies, deterministic mathematical models, which are based on natural physical processes and that take into consideration the topographic factors in modeling and in predicting the unstable sites areas, have stood out. Therefore, the objective of this study is to contribute towards the development of a methodology to determine the areas at immediate risk and those that are potentially at risk of landslides. This research was carried out in an urban drainage basin ("Córrego Independência"), located in the city of Juiz de Fora – MG, at a 1:2,000 scale. Landslide susceptibility was predicted by the usage of a deterministic mathematical model (SHALSTAB). The results suggested five different areas considered with immediate risk: Granbery Hill, which stretches out to Bom Pastor neighborhood, was not characterized as an area of high risk because it is not densely populated; therefore it was rated as low to medium risk. Teixeiras Hill was not considered a risk area and the hillside of Santa Cecília neighborhood was rated as a high risk area. Cascatinha neighborhood was rated as a high risk area only on its western slope. The fourth area was rated as low to medium risk due to the vegetation that covers it and that decreases the risks. Finally, the region of the Northern Hillside that stretches out to the Northwest and reaches the Western part of the town, close to the Meteorological Office and the UFJF campus, showed the biggest number of high risk areas. We observed a higher number of high risk areas in the extreme Northern part of the basin and a lower number of high risk areas at the extreme Southwestern part, but the latter has an important history of landslides over the last years. It is believed that such approach may contribute to the development of methodologies that may be useful to define policies of hillside urban areas, and that it may also contribute by giving support to the process of modernization of the City's Construction and Maintenance Code aiming at reducing the existing risks and avoiding the appearance of new risk areas. We believe that the development of such kind of may play a major role in government planning by providing scientific and technical support towards preventive measures. Finally, it can also help to educate the nearby population, improving their ability towards living in landslide risk areas.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FIGURA REPRESENTATIVA DE UM ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL ONDE FICAM BEM DEFINIDOS O PLANO DE RUPTURA SOB SOLOS POUCO ESPESSOS - ENCOSTA EM FRENTE AO POSTO DO GARRAFÃO BR-116 NA SERRA DE TERESÓPOLIS, PROF. NELSON F. FERNANDES, 1982. . 13	
FIGURA 2: CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE RISCOS (FONTE CERRI E AMARAL, 2004).	22
FIGURA 3: FIGURA REPRESENTATIVA DO FATOR DE SEGURANÇA E AS VARIÁVEIS ENVOLVIDAS NA SUA MENSURAÇÃO, COMO RC – RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO E TC – TENSÃO CISALHANTE.	30
FIGURA 4: COMPONENTES DA FORÇA PESO RELACIONADAS COM AS TENSÕES QUE AGEM EM UM ESCORREGAMENTO TRANSLACIONAL, DEMONSTRADA EM UM BLOCO DO TERRENO COM SEU PLANO DE RUPTURA DEFINIDO.	31
FIGURA 5: MODELO REPRESENTATIVO DA EQUAÇÃO DE ANÁLISE HIDROLÓGICA DE O'LOUGHLIN (O'LOUGHLIN, 1986).	34
FIGURA 6: REPRESENTAÇÃO DO GRADIENTE HIDRÁULICO EM RELAÇÃO AO ÂNGULO E O NÍVEL DE ÁGUA DA ENCOSTA.	36
FIGURA 7: QUADRO REPRESENTATIVO DAS CLASSES DE ESTABILIDADES QUE SÃO GERADAS PELO MODELO SHALSTAB (DIETRICH E MONTGOMERY, 1998) E UM POSSÍVEL AGRUPAMENTO DE CLASSES PARA SIMPLIFICAÇÃO DA INTERPRETAÇÃO DO MAPA GERADO.	40
FIGURA 8: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA E DA BACIA DA ÁREA DE ESTUDO.	44
FIGURA 9: A FOTOGRAFIA A MOSTRA A ÁREA URBANA NO VALE CENTRAL E PARTE DE SUA EXTENSÃO EM DIREÇÃO ÀS ENCOSTAS DA MARGEM DIREITA DO RIO PARAIBUNA. A FOTOGRAFIA B MOSTRA UM DETALHE DA ENCOSTA APRESENTADA NA FOTOGRAFIA A, ONDE EXISTEM MORADIAS INSTALADAS SOBRE O TERÇO INFERIOR DA ENCOSTA COM A PRESENÇA DE DEPÓSITOS DE TALOS CARACTERIZANDO INSTABILIDADE E FORMAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS.	59
FIGURA 10: REPRESENTAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS TRIBUTÁRIAS DO RIO PARAIBUNA, COM ÊNFASE NAS BACIAS LOCALIZADAS DENTRO DO PERÍMETRO URBANO DE JUIZ DE FORA. DESTAQUE TAMBÉM PARA A BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA COM CONTORNO EM PRETO. AMBAS SOBREPOSTAS A UMA IMAGEM LANDSAT COMPOSIÇÃO R4G5B3 DE 10/08/2001 CEDIDA PELO INPE.	61
FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO DA ÁREA DE MATA ONDE A FOTOGRAFIA A NOS MOSTRA A COBERTURA TÍPICA DE MATA URBANA E A FOTOGRAFIA B NOS DÁ UM DETALHE DA ÁREA DE BORDA, ONDE AVANÇAM AS EDIFICAÇÕES SOBRE A MATA	63

FIGURA 12: A FOTOGRAFIA A CARACTERIZA A CLASSE DE PASTAGEM LOTEAMENTO NÃO EDIFICADO E SUA PROXIMIDADE DAS ÁREAS URBANAS. A FOTOGRAFIA B MOSTRA UM DETALHE DA ÁREA DA FOTOGRAFIA A, ONDE A PAISAGEM DE EDIFICAÇÕES AVANÇA ATRAVÉS DE CORTES NAS ENCOSTAS DE ELEVADA DECLIVIDADE.	64
FIGURA 13: A FOTOGRAFIA A MOSTRA PARTE DO VALE CENTRAL COM OCUPAÇÃO URBANA E SUAS EXTENSÕES EM DIREÇÃO ÀS ÁREAS COM MAIOR ÂNGULO DE ENCOSTA. A FOTOGRAFIA B DETALHA UMA PARTE DA ENCOSTA REPRESENTADA NA FOTOGRAFIA A, ONDE A OCUPAÇÃO URBANA GANHA DENSIDADE EM ÁREAS DE DECLIVIDADE INADEQUADA PARA TAL TIPO DE OCUPAÇÃO.....	65
FIGURA 14: COBERTURA AEROFOTOGRAFICA DA ÁREA DA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA ONDE CONTRASTAMOS AMBIENTES URBANOS DOS NÃO URBANOS, COMO AS PASTAGENS E MATAS.	66
FIGURA 15: MAPA REPRESENTATIVO DAS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA ÁREA DA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA.	67
FIGURA 16: MAPA REPRESENTATIVO DO FATIAMENTO DE ALTITUDE NA ÁREA DA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA.	68
FIGURA 17: MAPA REPRESENTATIVO DAS CLASSES DE DECLIVIDADES ENCONTRADAS NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA.	69
FIGURA 18: MAPA REPRESENTATIVO DA SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA, RESSALTANDO AS CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS PRETÉRITOS. NOTA-SE QUE A CLASSIFICAÇÃO TEM DESTAQUE APENAS NAS MORFOLOGIAS DE ENCOSTAS E PARA SE FACILITAR AS LOCALIZAÇÕES FORAM TRAÇADAS AS RUAS EM BRANCO.....	71
FIGURA 19: MORRO DO GRANBERY (FOTOGRAFIA A) NO CENTRO DA CIDADE, ONDE SE ENCONTRAM CICATRIZES DE POSSÍVEIS ESCORREGAMENTOS SEGUIDOS DE PROCESSO EROSIVO (FOTOGRAFIA B).....	72
FIGURA 20: AMBAS FOTOGRAFIAS NOS MOSTRAM DETALHES DE CICATRIZES NO MORRO DO TEIXEIRA, PORÇÃO SUL DA BACIA. A FOTOGRAFIA A MOSTRA UMA CICATRIZ ACIMA DE UMA ANTIGA PRAÇA DE PEDREIRA. A FOTOGRAFIA B NOS MOSTRA CICATRIZES ENTRE DOIS CORTES DE ESTRADAS.	73
FIGURA 21: A FOTOGRAFIA A E B SÃO REFERENTES AO BAIRRO CASCATINHA E REPRESENTAM A MESMA ENCOSTA, PORÉM VISTAS POR ÂNGULOS DIFERENTES. ENCOSTA DE GEOMETRIA CÔNCAVA EM PERFIL E PLANTA, DE SOLOS RASOS COM ALGUNS AFLORAMENTOS, AMBIENTE TÍPICO DE ESCORREGAMENTOS RASOS.	74
FIGURA 22: FOTOGRAFIA REPRESENTATIVA DE UMA ÁREA DE CICATRIZES NAS ENCOSTAS A MONTANTE DO BAIRRO DOM BOSCO À JUSANTE DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA UFJF.....	75
FIGURA 23: REPRESENTAÇÃO DO MAPA DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NAS ENCOSTAS DA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA.	77

FIGURA 24: REPRESENTAÇÃO DO MAPA DE RISCO ATUAL NAS ENCOSTAS

DA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA.	79
FIGURA 25: ÁREAS DE OCUPAÇÃO INADEQUADA ONDE SE INSTALARAM LOTEAMENTOS DE CLASSE MÉDIA NO ALTO DO BAIRRO GRANBERY (FOTOGRAFIA A) E BOM PASTOR (FOTOGRAFIA B).....	80
FIGURA 26: REPRESENTAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DO BAIRRO TEIXEIRAS COM SUAS EDIFICAÇÕES DE CLASSE MÉDIA (FOTOGRAFIA A) E DO BAIRRO SANTA CECÍLIA COM EDIFICAÇÕES MAIS POBRES (FOTOGRAFIA B).....	81
FIGURA 27: REPRESENTAÇÃO DA ENCOSTA OESTE DO BAIRRO CASCATINHA (FOTOGRAFIA A) COM UM DETALHE DE UMA ÁREA ONDE HOUVE UM ESCORREGAMENTO RECENTE (FOTOGRAFIA B).....	81
FIGURA 28: REPRESENTAÇÃO DE UMA DAS ENCOSTAS DA UFJF ONDE AS SETAS DEMONSTRAM EXEMPLOS DE ÁREAS EDIFICADAS E ÁREAS DE MATAS.....	82
FIGURA 29: REPRESENTAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO DA ENCOSTA QUE CORTA O MAPA DE RISCO DE NORTE A SUDOESTE DA BACIA.	83

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: GRÁFICO COM O PERCENTUAL (%) DE ÁREA DAS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO MAPEADOS NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA. .. 63

GRÁFICO 2: PERCENTUAL DE OCORRÊNCIA DAS CLASSES DO ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS NAS ENCOSTAS DA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA..... 76

GRÁFICO 3: PERCENTUAL DE OCORRÊNCIA DAS CLASSES DO ZONEAMENTO DE RISCO ATUAL NAS ENCOSTAS DA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA..... 78

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
2 – EMBASAMENTO TEÓRICO: PREVISÃO DE ÁREAS CRÍTICAS A ESCORREGAMENTOS E SUA RELAÇÃO COM O PARCELAMENTO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	6
2.1 – USO E OCUPAÇÃO DO SOLO: ASPECTOS GERAIS.....	6
2.2 – MOVIMENTOS DE MASSA: TEORIA, PREVISÃO E RISCO.....	9
2.2.1 – Aspectos Geomorfológicos	9
2.2.1 – Movimentos de Massa	11
2.2.2 – Mecanismos de Ruptura e Fatores Condicionantes	14
2.2.3 – Metodologias de Previsão.....	17
2.3 - RISCO DE DESLIZAMENTOS.....	21
2.4 – O USO DOS SIGS NA PREVISÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA COMO SUBSÍDIO PARA O PLANEJAMENTO MUNICIPAL.....	25
2.5 – SHALSTAB: MODELAGEM DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS EM ENCOSTAS	28
2.5.1 – Análise de Estabilidade da Encosta	29
2.5.2 – O Modelo Hidrológico.....	33
2.5.3 – Combinação entre o Modelo de Estabilidade de Encosta e o Modelo Hidrológico.....	38
2.5.4 – Classes de Estabilidade Geradas pelo Modelo SHALSTAB.....	40
3 –MUNICÍPIO DA ÁREA DE ESTUDO	41
3.1 - EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO MUNICÍPIO	41
3.2 - ORGANIZAÇÃO DO TERRITÓRIO	42
3.3 - LEGISLAÇÃO URBANA VIGENTE.....	43
3.4 - LOCALIZAÇÃO.....	43
3.5 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL.....	45
3.5.1 - Aspectos Geológicos	45
3.5.2 - Aspectos Geomorfológicos	46
3.5.3 - Dados Pedológicos.....	47
3.5.4 - Clima	48
3.5.5 - Dinâmica Urbana e seus Impactos no Perímetro Urbano.....	50
4 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
4.1 – A CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA.....	52
4.2 – DA CARACTERIZAÇÃO DO RISCO ATUAL NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA .	53
4.2.1 – Da Caracterização do Mapa de Uso e Ocupação e a Bacia do Córrego Independência	54
4.2.2 – Da Previsão de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos até o Zoneamento de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos na Bacia do Córrego Independência	55
4.2.3 – Do Zoneamento de Risco Atual nas Encostas da Bacia do Córrego Independência	56
5 – RESULTADOS	58
5.1 – A CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA.....	58
5.2 –RISCO ATUAL NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA	62
5.2.1 – Uso e Ocupação e a Bacia do Córrego Independência	62
5.2.2 – Previsão de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos na Bacia do Córrego Independência	70
5.2.2.1 – A Validação do Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos Aplicado na Bacia do Córrego Independência	72

5.2.2.2 – Análise do Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos Aplicado na Bacia do Córrego Independência.....	75
5.2.3 – <i>Zoneamento de Risco Atual nas Encostas da Bacia do Córrego Independência</i>	78
6 – CONCLUSÃO	84
6.1 – QUANTO A CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA	84
6.2 – QUANTO AO USO E OCUPAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA	84
6.3 – QUANTO A PREVISÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ESCORREGAMENTOS NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA	85
6.4 – QUANTO AO ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS APLICADO NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA	86
6.5 – QUANTO AO ZONEAMENTO DE RISCO ATUAL NAS ENCOSTAS DA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA	86
– REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

1 – INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o país passou por grandes transformações na organização do espaço territorial. De majoritariamente rural, no início do século passado, tornou-se essencialmente urbano nos dias de hoje (CARVALHO e PRANDINI, 1998). Tais transformações culminaram em um processo de crescimento das cidades, carentes de um planejamento mínimo em áreas periféricas, onde os eventos calamitosos muitas vezes se tornaram freqüentes (COELHO, 2001).

O Brasil, por sua grande extensão e diversidade de condições climáticas, está sujeito aos desastres naturais, principalmente aqueles associados às porções susceptíveis do seu relevo. Além da freqüência elevada destes desastres de origem natural, ocorrem no país, também, um grande número de eventos induzidos pela ação antrópica. Exemplo disto é o fato das metrópoles brasileiras conviverem com acentuada incidência de eventos induzidos por cortes nas encostas para implantação de moradias e de estradas, desmatamentos, atividades de extração de recursos minerais, disposição final do lixo e de esgotos (AMARAL, 1996b; FERNANDES e AMARAL, 1996).

É neste contexto que se destacam os movimentos de massa nas encostas, onde, os primeiros estudos remontam há mais de 2000 anos, em países como China e Japão, e no Brasil, quando os primeiros relatos foram registrados na época do império (1671) nas encostas baianas de Salvador (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004).

Tal processo, que ocorre freqüentemente ao longo da paisagem montanhosa do território brasileiro, não somente em regiões naturais, mas também nos grandes adensamentos humanos das grandes e médias cidades, como os relatados em estudos realizados desde a região nordeste até o sul do país (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004), têm causado acidentes em várias cidades brasileiras, muitas vezes com a presença de vítimas (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004), principalmente na região sudeste, devido às grandes descargas hidráulicas que ocorrem no verão (WOLLE e HACHICH, 1989; LACERDA, 1997), como relatam estudos realizados na região de cidades como o Rio de Janeiro, São Paulo e Belo

Horizonte (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; FERNANDES e AMARAL, 1996; AMARAL e FEIJÓ, 2004; AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004). De acordo com

dados da defesa civil da ONU, na última década do século passado, os movimentos de massa já chegaram a ocupar o terceiro lugar no ranking de vítimas fatais e destruição de edificações, perdendo apenas para os terremotos e inundações no mundo inteiro (FERNANDES e AMARAL, 1996), mesmo assim, a procura pelo espaço urbano é um fenômeno que aumenta a cada ano. Desta forma, a investigação do que afeta diretamente o bem estar da população deveria ser mais freqüente, principalmente, direcionado ao desenvolvimento de metodologias que auxiliem a previsão de instabilidades, principalmente as geradas pelas ocupações em áreas críticas, em busca da minimização do risco desses eventos sob a população. Dentre os diversos tipos de movimentos de massa que ocorrem no Brasil destacam-se os escorregamentos rasos, como no caso do Município do Rio de Janeiro, onde se demonstrou maior freqüência de ocorrência com enormes danos associados, tanto em termos econômicos quanto em perda de vidas (AMARAL, 1996b; AMARAL e FEIJÓ, 2004).

Vários têm sido os esforços da comunidade científica e governamental para se prever as porções do relevo mais susceptíveis à ocorrência de escorregamentos, porém, essa predição envolve vários fatores, naturais e antrópicos, sendo de difícil solução (GUIMARÃES, 2000). São muito complexas as interações entre os diversos fatores condicionantes e os mecanismos de ruptura dos solos. Além disso, a interferência antrópica, cada vez mais freqüente, dificulta ainda mais o desenvolvimento de estudos voltados para a previsão. E quando ocorrem nos centros urbanos os escorregamentos assumem freqüentemente proporções catastróficas, uma vez que podem acontecer em áreas ocupadas (FERNANDES *et al.*, 2001).

O desenvolvimento de metodologias para a previsão de ocorrência dos escorregamentos e das análises dos riscos associados vêm assumindo importância crescente na literatura geomorfológica e geotécnica. No entanto, há diferentes concepções do problema e diversas formas de investigação. Grande parte das metodologias propostas, por exemplo, visa à definição de áreas críticas a escorregamentos, ou seja, áreas com maior susceptibilidade de ocorrência do processo (por exemplo: GUZZETTI *et al.*, 1999; GARCIA e

ZÊZERE, 2004), e outros a probabilidade de ocorrência (por exemplo: XAVIER-DA-SILVA, 2001; LEE *et al.*, 2004). Seguindo uma abordagem diferente, outros estudos, por sua vez, buscam caracterizar o risco envolvido, englobando tanto a possibilidade de ocorrência do processo quanto os danos decorrentes (por exemplo: AUGUSTO FILHO e WOLLE, 1996; CRUDEN, 1997; SOUZA *et al.*, 2001; AMARAL e FURTADO, 2004). Dentre as metodologias de previsão destes eventos, tem se destacado a utilização de modelos matemáticos, principalmente os modelos determinísticos que são baseados em processos físicos naturais e que levam em consideração os fatores topográficos no processo de modelagem e previsão da susceptibilidade dessas áreas (FERNANDES *et al.*, 2001).

Dentre os modelos matemáticos determinísticos podemos destacar o SHALSTAB, que tem sido utilizado com sucesso em diversas regiões da costa oeste dos EUA (como mencionado por MONTGOMERY, 1994; DIETRICH e MONTGOMERY, 1998), e mais recentemente utilizado em países como Itália, Argentina e Nova Zelândia, apresentando também resultados satisfatórios (RAFAELLI *et al.*, 2001; CLAESSENS *et al.*, 2005).

No Brasil, já foi utilizado no Estado do Rio de Janeiro, nas proximidades do Parque Nacional da Tijuca (GUIMARÃES, 2000; FERNANDES *et al.*, 2001; GUIMARÃES *et al.*, 2002; FERNANDES *et al.*, 2004) e em Minas Gerais, na determinação de susceptibilidade a escorregamentos nas margens da rodovia Br 356 no município de Ouro Preto (REDIVO *et al.*, 2004) e para zoneamentos na região do Quadrilátero Ferrífero (RAMOS *et al.*, 2002), mas ainda não se tem registros de sua utilização em áreas urbanas.

Juiz de Fora é uma cidade de porte médio que não fugiu a regra. O relevo norteou o crescimento da sua malha urbana, correspondendo ao vale do rio Paraibuna a ocupação inicial da cidade, expandindo-se em forma de tentáculos em torno das elevações e dos vales secundários, chegando nos atuais dias, a atingir as encostas, o que tem gerado inúmeros problemas, dentre os quais destacam-se os escorregamentos (AGUIAR, 2000).

Destacam-se algumas áreas no município, caracterizadas por serem bacias de drenagem com ocupação urbana, que já tem registrado um número significativo de ocorrências de escorregamentos, como é o caso da Bacia do

Córrego Independência, próxima ao campus da UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora. Tal área tem sido alvo de alguns pesquisadores, e trabalhos relativos a zoneamentos de riscos para ocupação urbana já foram realizados através da utilização de modelos estatísticos de análise em geoprocessamento (CASTELLANI, 2000) e estudos ligados à percepção do risco ambiental (CASTRO, 2002).

Desta forma, buscou-se com este trabalho contribuir através do desenvolvimento de uma metodologia para a determinação de áreas críticas a escorregamentos no Município de Juiz de Fora, aplicada a uma bacia de drenagem urbana, através da utilização de um modelo determinístico – o Modelo SHALSTAB (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998), comparando seus resultados com o uso e ocupação local, estabelecendo-se assim as áreas de risco atual (CERRI e AMARAL, 2004). Acredita-se que tal abordagem venha contribuir com o desenvolvimento de metodologias que possam servir como subsídio para a definição de políticas de ocupação das encostas, de forma a apoiar o processo de modernização do Código de Obras Municipal em busca de eliminar e/ou reduzir os riscos já instalados e evitar a instalação de novas áreas de risco. Temos em vista que o desenvolvimento desse tipo de metodologia possa também, vir auxiliar os órgãos públicos competentes para futuras ações que preparem a população para que haja uma convivência com os riscos já instalados e até mesmo contribuir com o setor de Defesa Civil Municipal, através de material técnico científico para seus Planos de Ações Preventivas.

Desta forma, os objetivos específicos deste trabalho foram:

- A caracterização de Áreas Críticas no Município de Juiz de Fora na escala de 1:50.000 através da fisiologia de bacias hidrográficas, apontando a Bacia do Córrego Independência como detentora de vários locais de criticidade;
- Classificação e descrição do Uso e Ocupação na Bacia do Córrego Independência na escala 1:2.000;
- Classificação, validação do modelo e análise da distribuição espacial das Áreas Susceptíveis a Escorregamentos na Bacia do Córrego Independência na escala de 1:2.000;
- Zoneamento e análise da distribuição espacial das classes de Susceptibilidade a Escorregamentos Aplicado na Bacia do Córrego Independência;

- Zoneamento e análise da distribuição espacial das classes do Zoneamento de Risco Atual nas Encostas da Bacia do Córrego Independência.

2- EMBASAMENTO TEÓRICO: PREVISÃO DE ÁREAS CRÍTICAS A ESCORREGAMENTOS E SUA RELAÇÃO COM O PARCELAMENTO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.

A temática central desta tese resume-se em um estudo sobre risco de movimentos de massa em áreas inadequadas á ocupação humana. Desta forma, este capítulo será conduzido de forma a organizar nosso raciocínio através de três vieses. O primeiro permeia a idéia de uso e de ocupação, levando em consideração aspectos práticos e legais. O segundo nos direciona para alguns dos aspectos físico-geográficos da inadequação de uso e ocupação, através de conceitos e definições ligados à área de conhecimentos da geomorfologia, conduzindo-nos aos movimentos de massa, seus fatores condicionantes e os mecanismos que levam a ruptura do solo, metodologias de previsão de susceptibilidade destes movimentos e algumas definições relativas à temática risco. O terceiro viés aborda conceitos ligados ao uso das geotecnologias, mais diretamente o geoprocessamento através dos SIGs – Sistemas de Informações Geográficas – tendo como fechamento o modelo SHALSTAB, que será utilizado para a previsão de susceptibilidade em nossa área de estudo.

2.2 – USO E OCUPAÇÃO DO SOLO: ASPECTOS GERAIS

A exploração irracional dos recursos naturais e as diversas formas desordenadas de uso e ocupação do solo têm provocado alterações significativas e de forma encadeada no meio ambiente (DREW, 1986). O homem enquanto ser componente deste sistema ambiental, não escapa de duas condições relativas à superfície da terra, a condição de usuário ou a condição de ocupante. Os estudos nessa área são de grande importância nos trabalhos de planejamento ambiental e gestão de recursos, e de sua aplicação como meio auxiliar na investigação das causas e conseqüências de vários dos processos que modelam a superfície. Desta forma, cabe ao homem definir políticas que regulamentem o uso e a ocupação da terra em direção a sustentabilidade de seus atos e até mesmo de minimizar o risco de vida. Mesmo assim, esta tal sustentabilidade urbana ainda está distante do ponto ideal. Um dos exemplos disso é que o tema Política Urbana está inserido na

ordem econômica, diversamente do que ocorre com o tema Meio Ambiente, que integra a ordem social do Título VII, Cap. VI, art. 225 na Constituição Nacional (MILARÉ, 2004).

Em termos gerais, a proteção do solo urbano é disciplinada pelas leis municipais de uso e ocupação do solo, notadamente pelas leis de Zoneamentos e pelo Plano Diretor do Município, através dos tradicionais Códigos de Obras, Edificações e de Posturas (MILARÉ, 2004).

Neste contexto torna-se interessante a definição de Zoneamento Ambiental, que é um importante instrumento de proteção ambiental, definido pela Política Nacional do Meio Ambiente. Este geralmente possui caráter de macro zoneamento, sendo efetuado em âmbito nacional, porém os Estados também podem estabelecer seus zoneamentos ambientais, como a criação de zonas industriais. No âmbito municipal, os zoneamentos são contemplados através da legislação que regulamenta os Planos Diretores, através dos micro zoneamentos ambiental e urbano. Salienta-se que os zoneamentos em todos os níveis devem cumprir os objetivos do plano nacional regulamentador (MUKAI, 2004). Desta forma, no âmbito municipal, zonear significa repartir o solo e dar a este designação de uso, como as zonas de uso industrial, residencial, comercial, diversificado e as de reservas de proteção ambiental (FIORILLO, 2004).

O Plano Diretor pode ser definido como o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana dentro da área municipal como um todo, sendo obrigatório para os municípios com mais de 20.000 habitantes, como definido pelo artigo 182 da Constituição Brasileira (MILARÉ, 2004).

Outro aspecto importante dentro do zoneamento de tipos de uso é a regulamentação do parcelamento ou fracionamento da terra. O parcelamento urbano do solo tem por finalidade efetivar o cumprimento das funções sociais da cidade, estabelecendo regras para o melhor aproveitamento do espaço urbano e, com isso, a obtenção da sadia qualidade de vida preceituada pela nossa Constituição Federal de 1988 (FIORILLO, 2004).

O parcelamento define-se através da criação de lotes com o propósito de edificação destinada à habitação, comércio ou atividade industrial, em conformidade com as normas estabelecidas no zoneamento de tipos de uso. Ressalta-se que a criação de lotes pode ser feita por loteamentos ou

desmembramentos. Entende-se por loteamento a subdivisão de glebas em lotes destinados a edificação, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes. Sendo assim, somente será possível falar em loteamento quando, além da divisão em lotes, houver a criação de infra-estrutura pública e cumprimento de demais exigências municipais àquela parcela do solo. Já o desmembramento, defini-se pela subdivisão de glebas em lotes destinados a edificação, com o aproveitamento da infra-estrutura pública já existente (FIORILLO, 2004).

Porém, esta regulamentação de uso e ocupação do solo não deverá apenas seguir aspectos legais baseados na condição social, econômica e de infra-estrutura da cidade. Há que se levar em conta aspectos ambientais, não somente voltados para a preservação de áreas verdes, mas, características existentes na superfície que pisamos, edificamos e transformamos. Características essas que vão além da simples declividade do terreno, não somente como nos têm sido evidenciado na maior parte dos Códigos de Obras municipais, quando os mesmos existem, o que não é a realidade de todos os municípios brasileiros. É neste contexto, que podemos destacar processos como enchentes e movimentos gravitacionais de encostas, como elementos de risco, que vêm ganhando destaque nas últimas décadas, mostrando-nos que as leis que regem o uso e a ocupação da terra não estão dotadas de total eficácia em conter o risco à população, pois estes fenômenos geralmente não obedecem aos limites estabelecidos pelo homem. Sendo assim, os estudos que buscam prever e zonear áreas susceptíveis e de risco a ocorrência destes eventos, principalmente os auxiliados pela utilização das novas tecnologias, vem contribuir para que a legislação possa realmente ordenar, não só através de aspectos sócio-econômicos e de infra-estrutura, mas também através do respeito aos aspectos ambientais, o uso e a ocupação da terra nos municípios.

2.2 – MOVIMENTOS DE MASSA: TEORIA, PREVISÃO E RISCO

2.2.1 – Aspectos Geomorfológicos

Dentre os processos causadores de catástrofes em áreas urbanas podemos destacar os movimentos gravitacionais de massa, inseridos no âmbito da geomorfologia, podendo ser definida, de forma simplificada, como a ciência que estuda as formas do relevo do nosso planeta, preocupando-se não somente com as formas regionais, como também, com escalas maiores, como bacias hidrográficas e encostas (SMALL, 1978; PARSONS, 1988; SELBY, 1993).

Em uma escala urbana destacam-se as encostas, que possuem aparência característica resultante da influência de diversos fatores combinados (CHORLEY e BECKINSALE, 1984). Podem ser definidas como porções inclinadas da superfície terrestre, influenciadas por aspectos diversos como o clima, vegetação, solos, a litologia e as estruturas geológicas, que são muito importantes no estudo dos seus processos formadores, principalmente quando analisados em conjunto com o gradiente e a hidrologia (CLARK e SMALL, 1982; PARSONS, 1988; SELBY, 1993; PENHA, 1995; JATOBA e LINS, 2001; CHRISTOFOLETTI, 2002).

É neste contexto que Coelho Netto (1995) define e ressalta a importância das encostas como espaços físicos situados entre os fundos de vales e os topos ou cristas da superfície terrestre. Estes definem a amplitude do relevo e seu gradiente (declividade), atuando como condicionantes dos processos erosivos-deposicionais, uma vez que é a área de ligação e de trânsito de sedimentos e elementos detríticos ou solúveis, através da interação das águas com as forças gravitacionais.

De uma maneira simplificada, as encostas podem ser divididas em três partes: a porção convexa, a retilínea e a côncava, o que corresponderia respectivamente aos terços superior, médio e inferior, porém, alguns autores a dividem em mais partes, como Dalrymple (1968; CLARK e SMALL, 1982; PARSONS, 1988) que define nove partes componentes, levando em consideração os processos ocorrentes. Outros ressaltam que as encostas não

podem ser analisadas apenas em duas dimensões, afirmando que, vistas em

três dimensões verifica-se que apresentam características próprias em relação à sua dinâmica de captação, escoamento, carreamento e deposição (CHORLEY e BECKINSALE, 1984).

Sendo assim, a classificação das encostas é muito importante para os estudos geomorfológicos ligados a processos erosivos (GUERRA, 1995; VIEIRA, 2002; VIEIRA e FERNANDES, 2004) e movimentos de massa (FERNANDES e AMARAL, 1996). Existem várias formas de se estudar os processos de evolução das encostas, dentre elas destacam-se os estudos teóricos com modelos matemáticos (FERNANDES, 1994) e estudos experimentais levando em consideração a declividade, o índice pluviométrico e demais forças erosivas (CLARK e SMALL, 1982).

Pode-se então, definir que o desenvolvimento das encostas está diretamente ligado a duas componentes, uma perpendicular e outra paralela à superfície da vertente. A relação entre estas duas componentes denomina-se de “Balanço Morfogenético”. A componente perpendicular corresponde aos processos de meteorização das rochas e a pedogênese. A componente paralela corresponde a processos mais variados, diretamente ligados à ação gravitacional, como os movimentos de massa (JAHN, 1954; TRICART e CAILLEUX, 1965; CLARK e SMALL, 1982; SELBY, 1993).

A partir dessas idéias afirma-se que a evolução de uma vertente depende da relação entre as respectivas componentes do Balanço Morfogenético. Quando a componente perpendicular é superior à componente paralela, a maior parte do material de alteração que se forma permanece no mesmo lugar e os solos se desenvolvem plenamente. Quando a componente perpendicular é inferior à componente paralela o resultado é o transporte do material formado. Por último, quando a componente paralela e a componente perpendicular possuem certo equilíbrio, o substrato permanece de certa forma estático, pois, da mesma forma que o material é fragmentado, também é carreado (CLARK e SMALL, 1982; SELBY, 1993; JATOBA e LINS, 2001; CHRISTOFOLETTI, 2002). É a partir desta concepção, que ganham destaque os processos modeladores relativos aos movimentos de massa, visto que provocam transformações visivelmente mais rápidas nas encostas.

2.2.1 – Movimentos de Massa

As encostas compõem grande parte da superfície terrestre, sendo parte integrante do relevo, onde ocorrem processos que atuam constantemente em sua dinâmica (SMALL, 1978; CHORLEY e BECKINSALE, 1984). O estudo destes processos ajuda na compreensão desta dinâmica, destacando-se os movimentos de massa, que são fenômenos erosivos de larga envergadura que ocorrem no regolito, podendo ser provocados por diversos fatores (SELBY, 1993), e especialmente no Brasil, as chuvas possuem grande significância na deflagração dos mesmos (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). Fernandes e Amaral (1996) atestam também, que estes são contínuos, de dinâmica externa, e que modelam a paisagem da superfície da terra, e ainda, a ação antrópica também pode acelerar sua deflagração.

De acordo com Guidicini e Nieble (1984), popularmente o termo deslizamento tem sido utilizado para designar qualquer evento gravitacional ou mesmo movimentos de massa ocorridos nas encostas brasileiras. Contudo, temos que nos atentar para o uso correto da nomenclatura. Sendo assim, os deslizamentos podem ser definidos pelo movimento gravitacional e descendente, para fora da encosta, do material desagregado sem a ajuda da água corrente como um agente de transporte (CROZIER, 1986; FERNANDES *et al.*, 2001; FERNANDES *et al.*, 2004; VIEIRA e FERNANDES, 2004; ARAUJO *et al.*, 2005).

Vários foram os autores que descreveram e classificaram os movimentos de massa (por ex. SHARPE, 1938; FREIRE, 1965; por ex. CARSON e KIRKBY, 1972; SCHEIDEGGER, 1975; TRICART, 1977; SMALL, 1978; VARNES, 1978; CLARK e SMALL, 1982; BRUNSDEN e PRIOR, 1984; CHORLEY e BECKINSALE, 1984; ABRAHAMS, 1986; FRANCIS, 1987; HUTCHINSON, 1988; PARSONS, 1988; SASSA, 1989; IPT, 1991; SELBY, 1993; MORGAN, 1995; KELLER, 1996; AHNERT, 1998; PRESS e SIEVER, 2000; CHRISTOFOLETTI, 2002), sendo que a maioria das classificações possui aplicabilidade regional, influenciadas pelo ambiente em que o autor que a elaborou se encontrava (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). Em geral, os movimentos de massa podem ser classificados de acordo com o tipo do material, a velocidade e o mecanismo do movimento, o modo de deformação, a

geometria da massa movimentada e o conteúdo de água (SELBY, 1993; FERNANDES e AMARAL, 1996).

Dentre as classificações existentes, uma das mais utilizadas internacionalmente até os dias de hoje, é a produzida por Varnes (1978). Já no Brasil, destaca-se o esquema proposto por Guidicini e Nieble (1984), que de forma simplificada, divide os movimentos de massa em escoamentos (englobando rastejos e corridas) escorregamentos (translacionais e rotacionais), subsidências e movimentos complexos (FERNANDES e AMARAL, 1996; FERNANDES *et al.*, 2001; FERNANDES *et al.*, 2004).

Neste contexto, Amaral e Feijó (AMARAL, 1997; AMARAL e FEIJÓ, 2004) mostraram que os escorregamentos rasos de solo, geralmente sob forma de movimentos translacionais, foram os mais importantes para a cidade do Rio de Janeiro nas últimas décadas, chegando a mais de 80% das ocorrências. Além disso, outros estudos nos levam a crer que tal comportamento não se limita ao Rio de Janeiro, sendo característico de todo o escarpamento da Serra do Mar (WOLLE e CARVALHO, 1989; LACERDA, 1997) e de áreas com características ambientais semelhantes, dentre as quais podemos mencionar as encostas da Serra da Mantiqueira, onde se localiza boa parte do município de Juiz de Fora. Apesar das ocorrências estarem muitas vezes ligadas à presença humana, os movimentos de massa da região assemelham-se com os escorregamentos do tipo translacional, sendo em alguns casos, seguidos de corridas, quando o material chega a atingir a calha do curso de água local.

Os Escorregamentos (*landslides*) são movimentos gravitacionais rápidos de curta duração, com volume e superfície de ruptura bem definidos, onde o material desprendido é jogado para fora da encosta, tendo como resultado, geralmente feições longas, como cicatrizes, podendo assumir geometria rotacional ou translacional. Os escorregamentos rotacionais (*slumps*) são escorregamentos com superfície de ruptura côncava, característicos de encostas em geral pouco fraturadas, com formações superficiais uniformes, solos espessos, como por exemplo, os originados de rochas argilosas como os argilitos e folhelhos. Já os escorregamentos translacionais (*translacional landslide*) são movimentos com plano de ruptura rasos bem definidos, que seguem muitas vezes paralelos à superfície da encosta. Tais planos podem ser formados por antigas estruturas geológicas, geomorfológicas ou pedológicas,

podendo ser compostos por rochas, solos residuais, talus, colúvio, detritos ou a mistura dos mesmos (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; FERNANDES e AMARAL, 1996) (Figura 1).



Figura 1 – Figura representativa de um Escorregamento translacional onde ficam bem definidos o plano de ruptura sob solos pouco espessos - Encosta em frente ao Posto do Garrafão BR-116 na Serra de Teresópolis, Prof. Nelson F. Fernandes, 1982.

Corridas são escoamentos rápidos de caráter essencialmente hidrodinâmico, devido à presença de excesso de água em superfícies pouco coesas, propensas à perda de resistência, com materiais detríticos que agem como um fluido e que ajustam ao modelado do relevo através dos canais de drenagem. Podem ser de terra, areia e silte, de lama, fragmentos de rocha e vegetação, sendo que, a grande maioria das corridas associa-se a momentos de precipitações pluviais abundantes (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; FERNANDES e AMARAL, 1996; PRESS e SIEVER, 2000).

A classificação dos movimentos de massa assume especial relevância quando possui um caráter genético associado, relacionando a tipologia dos movimentos com os processos e mecanismos necessários para a deflagração tornando-se, então, uma importante base teórica para o desenvolvimento de modelos e os estudos de previsão desses processos. Neste contexto, destacam-se os mecanismos de ruptura, os fatores condicionantes e o método de previsão destas áreas instáveis (FERNANDES *et al.*, 2001; FERNANDES *et al.*, 2004).

Vários autores estudaram e escreveram sobre os mecanismos de ruptura dos solos, dentre eles destacam-se (BARATA, 1969; BRUNSDEN e PRIOR, 1984; GUIDICINI e NIEBLE, 1984; SIDLE *et al.*, 1985; ANDERSON e RICHARDS, 1987; WOLLE e CARVALHO, 1989; SELBY, 1993; LACERDA, 1997; LACERDA *et al.*, 1997; ARAUJO *et al.*, 2005).

A ruptura pode ser deflagrada por uma variedade de processos que reduzem a resistência interna do solo, como por exemplo, após a ocorrência de eventos de grande pluviosidade, onde a resistência da encosta diminui por efeito da água. Dentre os mecanismos de ruptura, podemos destacar o aumento da poro-pressão positiva, devido ao aumento da quantidade de água intersticial, gerando a perda de sucção e da coesão aparente, resultando na diminuição do fator de segurança (que pode ser mensurado pela análise do equilíbrio limite) ou seja, quando as forças de resistência do solo (também chamada de resistência ao cisalhamento) tendem a diminuir em relação às forças a favor do movimento (também chamada de tensão cisalhante) (por ex. GUIDICINI e NIEBLE, 1984; VARGASJR *et al.*, 1986; WOLLE e CARVALHO, 1989; WOLLE e HACHICH, 1989; HARP, 1990; VARGAS JR *et al.*, 1992, 1992 #7036; FERNANDES *et al.*, 2001; FERNANDES *et al.*, 2004). Porém, temos que destacar que no caso da perda de sucção, ou seja, da coesão aparente, a ruptura poderá ocorrer sem que haja a condição de saturação total do solo (FERNANDES *et al.*, 2001; FERNANDES *et al.*, 2004).

Os movimentos de massa podem ser provocados por todos os eventos anteriores até o momento em que se dá sua deflagração, ou seja, um

conjunto de fatores naturais e intrínsecos dos terrenos, os quais o movimento pode ser provocado (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004). Na maioria dos casos, estes fatores, são recorrentes e resultam da conjugação de aspectos geológicos, por exemplo, litoestruturais e tectônicos, geomorfológicos, antrópicos entre outros (VARNES, 1978; GUIDICINI e NIEBLE, 1984; SIDLE *et al.*, 1985; CROZIER, 1986; SELBY, 1993; GUIMARÃES, 2000; FERNANDES *et al.*, 2001; GOMES, 2002; AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004; FERNANDES *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2005).

Os fatores condicionantes litoestruturais de alteração como dados geológicos da área, juntamente com o clima e o intemperismo condicionam o tipo de espessura do solo, a morfologia das encostas e seu comportamento geomecânico. Neste caso, as litologias se intemperizam em velocidades diferentes, produzindo características geotécnicas particulares. Sendo assim, as estruturas geológicas como a xistosidade, fraturas, textura constituem planos de fraqueza natural e caminhos preferenciais a aparecimento de descontinuidades para percolação da água, que coincidem com o plano de ruptura, nos escorregamentos translacionais (SANTOS, 2000).

Os fatores geomorfológicos, principalmente os parâmetros topográficos, tratam das relações entre a forma e a hidrologia (superficial e sub-superficial) da encosta, englobando parâmetros tais como: declividade, forma da encosta (tanto em perfil quanto em planta), área de contribuição, orientação das encostas (aspecto), espessura do solo, comprimento da encosta, (as)simetria dos vales e elevação, sendo que, dentre todos esses parâmetros, a declividade vem sendo utilizada como o principal parâmetro de caráter topográfico incorporado aos estudos de previsão e definição de áreas instáveis gerando análises, muitas vezes, incompletas dos deslizamentos. Como conseqüência, áreas com menor gradiente, definidas como de baixa susceptibilidade, apresentam com freqüência, a presença de deslizamentos no campo, evidenciando que mais fatores condicionantes devem também ser considerados nestas análises (GUIMARÃES *et al.*, 1999; GUIMARÃES, 2000; FERNANDES *et al.*, 2001; RAMOS *et al.*, 2003; FERNANDES *et al.*, 2004).

Neste contexto, vários estudos chamam a atenção para o papel das porções côncavas do relevo (*hollows*) na convergência dos fluxos de água, tanto em superfície quanto em sub-superfície (DUNNE e BLACK, 1970;

COELHO NETTO, 1985; DIETRICH e DUNNE, 1993; VIEIRA, 2002; VIEIRA e FERNANDES, 2004), favorecendo o desenvolvimento de condições de saturação nos solos (ANDERSON e BURT, 1978; O'LOUGHLIN, 1986; FERNANDES *et al.*, 1994; RAMOS *et al.*, 2003) e a geração de escorregamentos nas encostas (DIETRICH e DUNNE, 1978; TSUKAMOTO *et al.*, 1982; RENEAU *et al.*, 1984; LACERDA e SANDRONI, 1985; DIETRICH *et al.*, 1986; RENEAU, 1987; COELHO NETTO *et al.*, 1988; PEDROSA *et al.*, 1988; COELHO NETTO e FERNANDES, 1990; CROZIER *et al.*, 1990; FERNANDES e AMARAL, 1996). Dessa forma, a área de contribuição (por unidade de contorno), para cada ponto (célula) dentro de uma bacia possui grande importância uma vez que, relaciona-se diretamente com a concentração dos fluxos de água vindos das porções mais altas e com a consequente saturação dos solos (BEVEN e KIRKBY, 1979; O'LOUGHLIN, 1986; DIETRICH, 1995; FERNANDES *et al.*, 2001; RAMOS *et al.*, 2003; FERNANDES *et al.*, 2004).

Merecem destaque também os fatores condicionantes pedológicos, onde, as características físico-químicas do solo influenciam o comportamento geotécnico, principalmente a porosidade, espessura, composição química e mineralógica que determinam o comportamento geomecânico (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004).

Outro fator de destaque são os fatores hidrológicos, que podem influenciar diretamente o comportamento das águas superficiais, já que as águas provocam muitas das instabilizações, devido ao intemperismo químico dos materiais alterando a coesão, através de erosões interna dos materiais provocando tensões cisalhantes, atuando como agente erosivo fluvial, aumentando o peso dos materiais, criando fluxos subterrâneos e paralelos à superfície das vertentes (AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 2004).

Em relação aos fatores climáticos, é comum a vinculação dos escorregamentos à estação de chuvas nos países tropicais, que geralmente vai de outubro a abril com incidência de eventos de chuva intensa nos meses de verão, como é o caso de grande parte do território brasileiro. A chuva pode provocar a saturação dos solos das encostas induzindo à poro-pressões positivas, acarretando a redução das forças de resistência tornando as encostas mais instáveis (FREITAS, 2004).

Para finalizar, a vegetação pode também ser considerada um fator condicionante para a ocorrência de movimentos de massa, atuando como elemento de redistribuição da água sobre a encosta, e podendo ser considerada como um fator mecânico que influencia positivamente ou negativamente aos escorregamentos. A influência positiva se dá através da interceptação das águas da chuva, e a atuação do sistema radicular das raízes resultando na redução erosão superficial e a diminuição da poro-pressão e aumento de resistência do solo. Já, o efeito cunha, e efeito alavanca, provocado pelas raízes e o aumento de infiltração exemplificam os fatores negativos contribuindo para a deflagração dos escorregamentos (SANTOS, 2000). Não se pode deixar de mencionar que, o desmatamento, no início, pode até aumentar a estabilidade devido à perda do poder de alavancamento provocado pelo vento nos caules dos vegetais, porém com o tempo, provoca a perda do equilíbrio do conjunto vegetação e substrato pela perda da resistência ao cisalhamento conferida pelo apodrecimento do sistema radicular, acelerando os processos erosivos, aumentando temporariamente o nível do lençol freático e reduzindo os efeitos estabilizadores da vegetação provocando, desta forma, efeitos negativos na encosta.

2.2.3 – Metodologias de Previsão

Uma das maneiras de se prever os movimentos de massa é através da utilização dos modelos que podem representar, simular, prever a susceptibilidade e até mesmo o risco desses processos sob a população.

Os modelos são estruturas simplificadas da realidade que apresentam feições ou relações significativas. Constituem aproximações altamente subjetivas por não incluírem todas as variáveis associadas, resultado natural devido à tendência do homem em simplificar a complexidade do mundo ao seu redor (CHRISTOFOLLETI, 1999). Contudo, são valiosos por eliminar detalhes acidentais, preservando os aspectos fundamentais da realidade, embora esta seletividade implique vários graus de probabilidades e condições nas quais eles possam ser aplicados. Sua funcionalidade está diretamente relacionada com o número de variáveis que são utilizadas, ou seja, quanto

menos variáveis o modelo tiver, maior a probabilidade de eficiência do mesmo (MOORE, 1988).

Temos como uma das principais funções dos modelos a criação de respostas imediatas para tomada de decisões, na simulação e previsão de possíveis cenários de mudanças ambientais, na ligação entre mensurações de processos atuais com a evolução das formas e na sua aplicabilidade em todas as escalas (FERNANDES, 1996; CHRISTOFOLLETI, 1999).

O uso de modelos sempre foi muito difundido no campo das Geociências, porém, tornou-se mais explícito a partir da década de 60 com o lançamento das obras “An Introduction to Statistical Models in Geology” (KRUMBEIN e GRAYBILL, 1965) e a coletânea de ensaios “Models in Geography” (CHORLEY e HAGGETT, 1967) (ambos mencionados por CHRISTOFOLLETI, 1999), traduzida para o português em três obras: Modelos Integrados em Geografia, Modelos Sócio-Econômicos em Geografia e Modelos Físicos e de Informação em Geografia.

Estes estudos ganharam um grande avanço através da teoria probabilística e da adoção de modelos matemáticos na década de 1970, reforçada pelo uso dos computadores a partir de 1980, sendo nos dias de hoje, uma das mais importantes linhas de pesquisa geomorfológica (CHRISTOFOLLETI, 1999).

Os modelos matemáticos são instrumentos importantes para estimativas quantificadas e podem ser considerados abstrações, pelo fato de substituir objetos, formas, eventos geomorfológicos, por expressões que contenha variáveis, parâmetros e constantes matemáticas (KRUMBEIN e GRAYBILL, 1965; apud CHORLEY e HAGGETT, 1975”), nos permitindo a compreensão das causas dos fatos observados em maior extensão e detalhe (CHORLEY e HAGGETT, 1974a). Para um melhor entendimento R.J.Huggett (1985), através da obra *Earth Surface Systems*, definiu em três principais classes os modelos utilizadas pelos pesquisadores em Geociências: os modelos estocásticos, os estatísticos e os determinísticos (CHRISTOFOLLETI, 1999). Os estocásticos envolvem variáveis, parâmetros e constantes matemáticas, juntamente com componentes aleatórias, obtidas a partir de experimentos, por isso, alguns autores, englobam nos modelos estocásticos os modelos estatísticos (KRUMBEIN e GRAYBILL, 1965; apud CHORLEY e

HAGGETT, 1975). Por sua vez, os determinísticos são modelos baseados em noções matemáticas clássicas, como de causa e efeito, como relações previsíveis entre variáveis independentes e dependentes para a dedução de uma consequência, ou seja, os modelos matemáticos determinísticos possuem expressões que simulam os processos envolvidos, não havendo aleatoriedade (CHORLEY e HAGGETT, 1975).

A questão da previsão da ocorrência dos escorregamentos vem assumindo importância crescente na literatura geomorfológica e geotécnica (GARCIA e ZÊZERE, 2004; VAN WESTEN, 2004). São várias as concepções do problema e diversas as formas de investigação. Uma das formas que vem ganhando expressão ao longo dos últimos anos é a utilização de modelos matemáticos de previsão de áreas susceptíveis, que dependem diretamente de uma melhor compreensão dos diferentes mecanismos de ruptura e fatores condicionantes envolvidos, anteriormente mencionados (ANDERSON e BURT, 1978; COELHO NETTO, 1985; CRUDEN, 1997; apud FERNANDES *et al.*, 2001; FERNANDES *et al.*, 2004).

Uma variedade de metodologias tem sido desenvolvidas para a análise de predição dos movimentos de massa, podendo ser destacadas quatro (FERNANDES *et al.*, 2001; FERNANDES *et al.*, 2004): as baseadas em análise de inventários de ocorrências, cicatrizes e depósitos para delinear as áreas potenciais de perigo a ocorrência de movimentos de massa em que, a sua distribuição no campo sugere futuros padrões de instabilidade no relevo (AMARAL, 1996a; WIECZOREK, 1996; GONÇALVES e GUERRA, 2001; AMARAL e FEIJÓ, 2004), porém, de acordo com Van Westen (1993; 2004), as informações geradas a partir destes procedimentos ficam limitadas às áreas de ocorrências dos deslizamentos; as baseadas em análises estatísticas de correlação entre certos atributos morfológicos e de uso do solo em áreas deslizadas (CARRARA, 1983; CARRARA *et al.*, 1991; GAO, 1993; LARSEN e TORRES-SANCHEZ, 1998) porém Guzzetti *et al.* (1999; LEE *et al.*, 2004; ZÊZERE *et al.*, 2004), destaca que estes procedimentos possuem um nível muito alto de subjetividade, dependendo diretamente do nível de conhecimento do problema pelo investigador; as metodologias que confeccionam mapas de risco a partir da combinação de diversos tipos de planos de informação (por exemplo, geologia, vegetação, uso do solo, declividade, geomorfologia, etc) em

que, são atribuídos pesos e ou notas para cada atributo (plano de informação e item da legenda respectivamente) identificando o seu grau de importância para o movimento de massa (SEELEY, 1990; XAVIER-DA-SILVA e CARVALHO-FILHO, 1993b; MOREIRA, 1999; XAVIER-DA-SILVA, 2001), onde, Guzzetti et al. (BURROUGH, 1986; BURROUGH, 1990; BURROUGH e MCDONNELL, 1998; 1999) destaca que o princípio norteador, neste caso, é a existência de relações funcionais entre os fatores condicionantes da instabilidade e a distribuição dos deslizamentos na paisagem, o que torna necessário a disponibilidade de extensos bancos de dados representativos dos processos a serem previstos; e as metodologias baseadas em modelos determinísticos que levam em consideração a geometria da encosta para determinar a razão da estabilidade, através de procedimentos que utilizam a modelagem matemática a partir de processos e leis físicas naturais para o desenvolvimento de modelos de previsão (MONTGOMERY *et al.*, 1991; DIETRICH *et al.*, 1992; DIETRICH, 1993; MONTGOMERY e DIETRICH, 1994; WU e SIDLE, 1995; XIE *et al.*, 2004), onde as maiores limitações desses procedimentos encontram-se associadas ao conhecimento incompleto que possuímos de muitos dos processos envolvidos e à dificuldade de obtenção dos dados requeridos pelos modelos, principalmente se aplicados a grandes áreas (GOMES, 2002; GOMES *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2005).

Os modelos determinísticos em bases físicas ou em processos vêm crescendo por permitirem, entre outras coisas, que hipóteses bem específicas possam ser testadas, tanto na escala de encosta quanto na bacia de drenagem inteira (FERNANDES e AMARAL, 1996). Este tipo de modelo não tem interferência direta do operador no resultado, ou seja, a subjetividade está relacionada somente à escolha dos parâmetros a serem utilizados no modelo e não no seu resultado final, tornando a decisão baseada em processos seguindo as leis da natureza, não delegando às técnicas dos SIGs o poder de decisão (GOMES, 2002; GOMES *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2005).

2.3 - RISCO DE DESLIZAMENTOS

Salienta-se, que no âmbito da modelagem e previsão devem-se estar bem diferenciado os estudos relativos á susceptibilidade e ao risco envolvido. Sendo assim, faz-se necessário algumas definições relativas aos temas mencionados.

Há inúmeras formas de se analisar os riscos, principalmente nos dias de hoje, através da utilização de SIGs, que se pode utilizar modelos de avaliação destas situações. Dentre eles, destacam-se as categorias de modelos heurísticos, estatísticos, determinísticos, probabilísticos e os comparativos entre resultados dos diversos modelos (VAN WESTEN, 2004). Consideram-se os Riscos Ambientais como a classe maior dos riscos, subdividindo-os em classes e subclasses, como representado na figura 2. Destaca-se a categoria dos riscos geológicos, que podem ser divididos em riscos endógenos e riscos exógenos, sendo que, no Brasil, a maior parte dos acidentes geológicos registrados, bem como as mais graves e numerosas situações de risco geológico, associam-se aos processos geodinâmicos exógenos, destacando-se principalmente os escorregamentos e processos correlatos (CERRI e AMARAL, 2004).

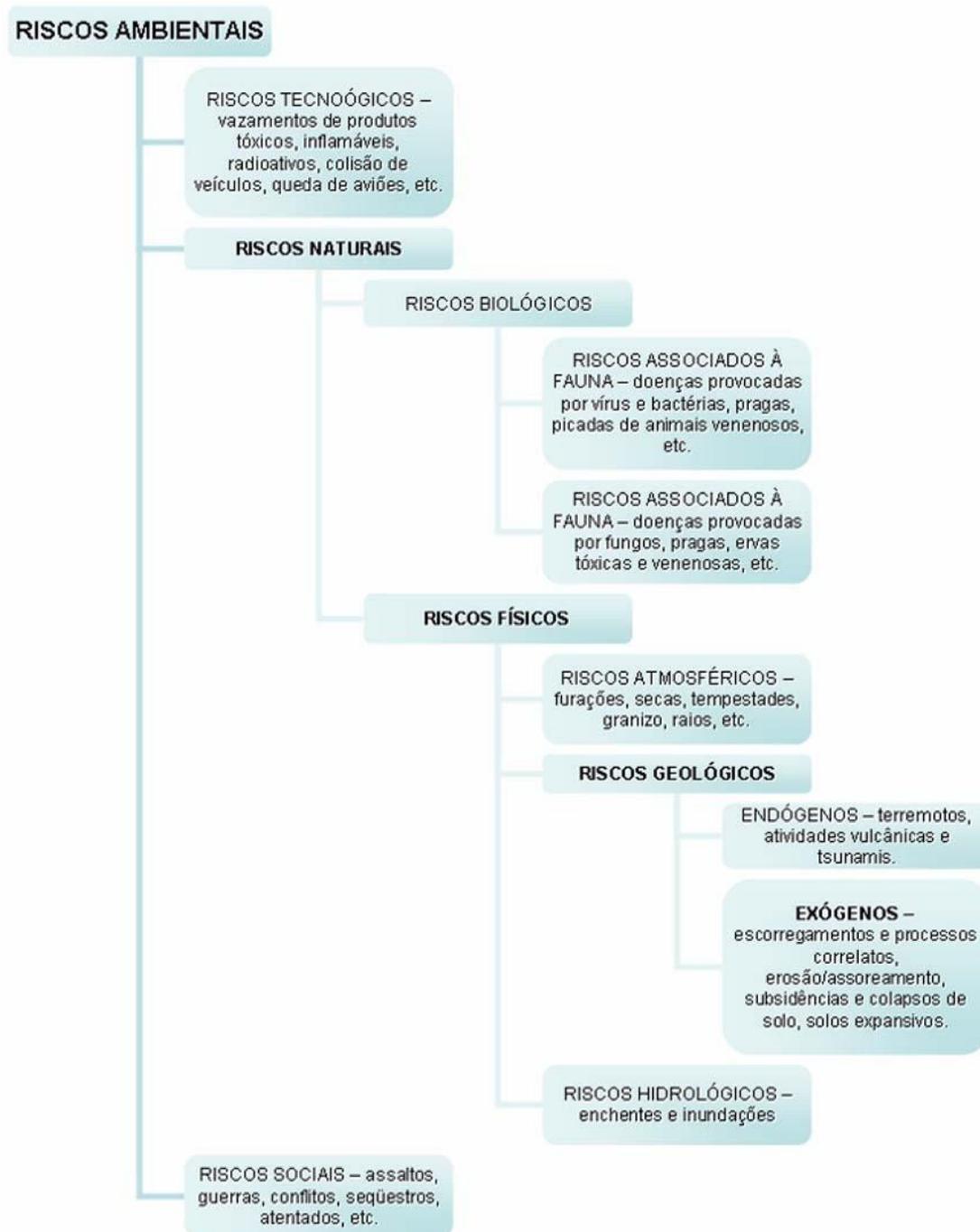


Figura 2: Classificação dos Tipos de Riscos (Fonte CERRI e AMARAL, 2004).

Define-se risco como uma situação de perigo, perda ou dano ao homem e a suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de alguns processos. Estes processos fazem parte da dinâmica natural do planeta, sendo independente da presença do homem. Contudo, através da intensidade da ação antrópica alguns processos podem ser induzidos, acelerados ou até mesmo potencializados decorrentes do uso e ocupação do solo, que podem ser identificadas e representadas na forma de risco atual ou

de risco potencial. O **risco atual**, defini-se pela situação instalada em áreas efetivamente ocupadas e o **risco potencial** pela situação de susceptibilidade, sem a presença humana. É importante destacar que, ao longo do desenvolvimento deste trabalho, foi utilizada a definição de risco potencial em analogia à situação de susceptibilidade e a definição de risco atual em analogia às situações de susceptibilidade a escorregamentos em áreas efetivamente ocupadas do ponto de vista urbano, como no caso do zoneamento de risco atual na Bacia do Córrego Independência. Desta forma, a susceptibilidade caracteriza-se pela possibilidade de ocorrência de um processo, também denominado de evento, ou seja, fato que poderá ocorrer sem o registro de conseqüências sociais e econômicas diretamente ligadas a ele.

O risco caracteriza-se pela possibilidade de ocorrência de um acidente, ou seja, a ocorrência de um evento onde possivelmente serão registradas conseqüências sociais e econômicas, as chamadas perdas e danos (CERRI e AMARAL, 2004).

Uma das formas de aplicação dos estudos de risco é a criação das cartas de risco geológico. Estas cartas podem ser elaboradas em diversas escalas, porém seu uso é mais apropriado através de escalas com maior detalhe, como um para dez mil, ou um para cinco mil, até mesmo maiores (AMARAL e FURTADO, 2004).

Estas cartas apresentam a distribuição do risco numa área ocupada e podem auxiliar no planejamento de infra-estrutura ou, ainda atender os que trabalham com a redução do risco em áreas específicas, como é o caso dos setores de Defesa Civil das prefeituras. Em geral, as áreas indicadas para realização destas cartas são áreas já discriminadas anteriormente, em zoneamentos de escalas médias.

As cartas de risco são reconhecidas e utilizadas internacionalmente há muito tempo, como instrumentos de apoio ao Poder Público. No Brasil, a preocupação com sua elaboração, teve início somente na década de 80, estimulada pela extensão dos acidentes em centros urbanos, principalmente ligados a escorregamentos, onde é lógica a constatação da necessidade de se definir medidas de prevenção de acidentes. Sua elaboração pode ser subdividida em três etapas: levantamento de dados básicos do meio físico e

antrópico, mapeamento de campo, e representação cartográfica (CERRI e AMARAL, 2004).

A possibilidade de se prever a ocorrência de acidentes naturais a partir da identificação e análise das áreas de risco, permite que sejam adotadas medidas de prevenção de acidentes, podendo assim, eliminar e/ou reduzir os riscos já instalados, evitar a instalação de novas áreas de risco, e até mesmo esclarecer a população para que haja a convivência com os riscos atuais (CERRI e AMARAL, 2004).

A redução das conseqüências dos acidentes por meio da adoção de medidas e de determinações técnicas e o momento exato de sua execução podem ser feitas com a elaboração e operação dos chamados PPDCs – Planos Preventivos de Defesa Civil. Estes visam a implantação de medidas anteriores à ocorrência de acidentes geológicos, reduzindo a possibilidade de serem registradas perdas de vidas humanas e criando condições para a convivência com as situações de risco, em níveis relativamente seguros para a população ameaçada, caracterizando-se por agirem diretamente sobre as conseqüências e não por impedirem a ocorrência ou reduzirem a magnitude dos processos. Em vários casos, estes planos buscam promover a remoção e o posterior retorno da população previamente removida ao local, após descaracterizada a iminência de um acidente. Desta forma, estes planos visam medidas temporárias, até que se obtenha a completa segurança da população ameaçada (SOUZA *et al.*, 2001; CERRI e AMARAL, 2004; MARQUES *et al.*, 2004; ROCHA, 2004; VAN WESTEN, 2004).

A redução dos acidentes naturais e induzidos só ocorrerá quando houver conhecimento suficiente de características tais como: freqüência, características e magnitude dos processos causadores de risco. Desta forma, a utilização dos modelos de previsão a escorregamentos acoplados aos sistemas de informação geográfica tornam-se importantes instrumentos aliados a essa causa.

2.4 – O USO DOS SIGS NA PREVISÃO DE MOVIMENTOS DE MASSA COMO SUBSÍDIO PARA O PLANEJAMENTO MUNICIPAL

Dentre as tecnologias que realmente podem apoiar os estudos e investigações ambientais destacam-se, as geotecnologias, principalmente o Geoprocessamento. O uso do geoprocessamento aplicado aos estudos ambientais tem sido bastante difundido nos últimos anos. O potencial interdisciplinar desta nova tecnologia, aliado a procedimentos metodológicos de extrema eficácia, tem despertado a atenção de renomados pesquisadores, estudiosos de temas ligados ao meio ambiente, que necessitam manipular grandes volumes de dados em busca de informações relevantes ao bem estar da humanidade.

Neste contexto, o Geoprocessamento é entendido como o ramo do processamento de dados que opera transformações nos dados contidos em uma base de dados referenciada territorialmente, para obtenção e apresentação das análises desejadas (XAVIER-DA-SILVA e CARVALHO- FILHO, 1993a), para isto utilizando-se os denominados SIGs, Sistemas de Informações Geográficas, ou seja, sistemas automatizados usados para armazenar, processar, editar e analisar dados geográficos, que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para sua análise.

De maneira geral, o desenvolvimento dos SIGs está diretamente relacionado aos avanços na área de computação, cuja história tem como marco, as décadas de quarenta e cinquenta, quando foram desenvolvidos equipamentos e métodos que viabilizaram a implantação de rotinas para a automação de determinados processos de análise espacial. Entretanto, os custos elevados e os problemas de implantação limitaram o seu uso. Nas décadas posteriores ocorreram avanços consideráveis em equipamentos e softwares, permitindo o desenvolvimento de sistemas mais poderosos e novas aplicações. Ao mesmo tempo, os novos equipamentos sofreram redução em seus custos, tornando os SIGs uma tecnologia de mais rápida difusão e aceitação (MEDRONHO, 1995).

Neste contexto, alguns exemplos se fazem importantes para ilustrar esta evolução. No final da década de 50, meteorologistas, geofísicos e

geólogos incorporaram em suas atividades rotineiras os mapas gerados por computadores. Nos estágios iniciais, a representação gráfica era oferecida de maneira muito simples, entretanto este procedimento iniciou a geração de uma cultura baseada em produtos gráficos gerados através dessa nova tecnologia. Em 1962, Tomlinson, do Canadian Land Inventory, desenvolveu o Sistema de Informações Geográficas Canadense (Canadian Geographic Information System — CGIS). Este sistema foi o primeiro SIG da era contemporânea, sendo aceito definitivamente como tal em 1965 (TOMLINSON, 1988). A característica mais importante do sistema desenvolvido por Tomlinson foi ter sido projetado para atender a mais de uma aplicação específica. Já em 1969, Ian McHarg publicou o *Design with nature*. Este trabalho foi um texto marcante na história dos SIGs, por combinar e comparar tipos de dados os mais variados, via modelos determinísticos, de maneira a produzir saídas gráficas, como mapas, que serviam de suporte para planejamentos globais. A década de 1970 foi marcada pelo desenvolvimento dos SIGs voltados para o planejamento e modelagem de situações relacionadas com o meio urbano. Esta mesma década foi contemplada com o aparecimento de imagens de sensoriamento remoto, que viriam a se tornar uma das fontes de informação mais importantes para os SIGs. Porém, a definitiva incorporação dos SIGs nos mais diversos setores da sociedade aconteceu na década de 80 juntamente com a evolução tecnológica da informática. Podemos citar, como exemplo, o aparecimento da plotagem eletrostática, do scanner e das estações de trabalho, destacando-se também a tecnologia de banco de dados, quando a ESRI (Earth System Research Institute) desenvolveu um banco de dados relacional comercial e a Intergraph produziu um banco de dados comercial tipo hierárquico. Na metade da década de 80 os sistemas, os periféricos e os aplicativos foram ligados em rede e, no final desta década, o conjunto possuía uma poderosa capacitação de produção gráfica, processamento de atributos e análises espaciais, desta forma, as funções dos SIGs estavam muito bem estabelecidas e, no início da década de 90, o que prevaleceu foi o aumento crescente da integração do usuário com os SIGs (SILVA, 2003).

O desenvolvimento das técnicas computacionais gerou, para as investigações ambientais, novas possibilidades analíticas. Entre estas, destaca-se a varredura minuciosa de áreas geográficas contidas em bases de

dados em uso, por um SIG. Além da varredura, os SIGs permitem conjugar numerosos dados, de natureza diversa, de tipos, escalas e resoluções diferentes (XAVIER-DA-SILVA, 1997).

O domínio de aplicações em SIG está se ampliando cada vez mais, acompanhando a evolução dos dispositivos de coleta e as facilidade computacionais em geral agilizando o processamento nas aplicações ambientais (CÂMARA; CASANOVA *et al.*, 1996).

Um SIG é uma ferramenta poderosa para gerenciar, integrar e analisar dados espaciais em meio digital e de grande qualidade e velocidade para sua manipulação (ARONOFF, 1991). Devido ao volume e à variedade de componentes que integram o meio ambiente, a preparação de um conjunto de informações que seja representativo de uma dada área em estudo pode demandar tempo e recursos excessivos principalmente para coleta e processamento dos dados, devido á complexidade do inter-relacionamento das variáveis ambientais. Os SIG permitem a compilação e a organização desses dados e facilitam a sua integração (FRANCISCO, 1995).

A integração dos SIGs com os modelos matemáticos, principalmente os que simulam que prevêm processos modeladores do relevo, se dá pela possibilidade do SIG nos oferecer a modelagem de pequenas porções do relevo de forma conjunta (BURROUGH, 1986; BURROUGH e MCDONNELL, 1998; CHRISTOFOLLETI, 1999), sendo constantemente utilizados para o processamento de dados espaciais, elaboração de mapas relacionados com a entrada dos dados ou resultados de modelos e na própria elaboração de modelos matemáticos em suas funções, podendo-se destacar duas grandes linhas de uso na modelagem ambiental, a de modelos de suporte a decisão, baseados em sistemas de informações geográficas, e os modelos desenvolvidos em bases físicas ou em processos (GOMES, 2002; GOMES *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2005) atuando principalmente na previsão de processos que possam afetar a vida e a atividade humana, como é o caso do modelo SHALSTAB, a ser utilizado neste trabalho.

Porém, algumas precauções devem ser tomadas quanto à utilização dos SIGs. Temos que levar em consideração que um dos maiores problemas na utilização de um SIG é que, implicitamente, é assumido que todas as informações contidas em um modelo são absolutamente corretas e que suas

componentes não apresentam erros (BURROUGH e MCDONNELL, 1998). Temos que nos atentar para um outro aspecto que deve ser levantado, a veracidade dos dados armazenados nos SIGs, ou seja, o seu grau de representatividade do mundo real. É importante destacar que a veracidade está relacionada com a forma como o pesquisador coletou e processou seus dados (FRANCISCO, 1995). Outro problema a ser enfatizado é não considerar o uso dos SIGs como um instrumento decisório para o resultado do trabalho. Os SIGs devem apenas funcionar como uma ferramenta na análise espacial dos dados e ou informações utilizadas na metodologia empregada (GOMES, 2002; GOMES *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2005).

2.5 – SHALSTAB: MODELAGEM DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS RASOS EM ENCOSTAS

O SHALSTAB é um modelo matemático determinístico distribuído que trabalha sobre uma estrutura matricial, podendo ser transiente ou não, ou seja, possibilitando-se a adoção de valores diferenciados para suas variáveis ao longo da estrutura matricial, observando-se a não existência de qualquer tipo de aleatoriedade destes valores. Seu desenvolvimento se deu no início da década de 90 por Willian Dietrich, na Universidade da Califórnia em Berkeley (DIETRICH *et al.*, 1992; DIETRICH, 1993; MONTGOMERY e DIETRICH, 1994), recebendo finalmente esta nomenclatura quando lançada uma versão mais amigável para ser utilizada em ambiente Windows através de uma extensão do software Arcview, a partir da versão 3 (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998).

O SHALSTAB é utilizado para prever áreas susceptíveis a ocorrência de escorregamentos translacionais rasos onde esteja bem definido um plano de transição com forte diminuição do processo de infiltração, como transição solo rocha, não sendo tão eficaz para aplicação em áreas de solos espessos, áreas com baixa declividade, afloramentos de rochas, e áreas escarpadas (GUIMARÃES, 2000).

Este modelo tem sido utilizado com sucesso em diversas regiões da costa oeste dos EUA (como mencionado por MONTGOMERY, 1994; DIETRICH e MONTGOMERY, 1998) apresentando resultados com excelente precisão (CASADEI *et al.*, 2003), e também em países como Itália, Argentina e

Nova Zelândia, onde tem sido utilizado com diversos tipos de resolução, testado e comparado com outros modelos de previsão (RAFAELLI *et al.*, 2001; CLAESSENS *et al.*, 2005).

No Brasil, foi introduzido através de estudos e testes em bacias do Estado do Rio de Janeiro, nas proximidades do Parque Nacional da Tijuca (GUIMARÃES, 2000; FERNANDES *et al.*, 2001; GUIMARÃES *et al.*, 2002; FERNANDES *et al.*, 2004), e testada sua precisão em diversas escalas (GOMES, 2002; GOMES *et al.*, 2004), sendo posteriormente estendida sua área de aplicação para Minas Gerais como na determinação de susceptibilidades a escorregamentos nas margens da rodovia Br 356 no município de Ouro Preto (REDIVO *et al.*, 2004) e para zoneamentos na região do Quadrilátero Ferrífero (RAMOS *et al.*, 2002).

O modelo SHALSTAB é um modelo tipo *steady-state*, cujo método de funcionamento baseia-se na análise de equilíbrio dinâmico, o qual se utiliza de um modelo de estabilidade de encostas acoplado a um modelo hidrológico. Este conjunto visa a previsão de onde se pode ocorrer saturação na superfície analisada e a consecutiva diminuição da sua resistência ao cisalhamento, ou seja, quando ocorrerá a quebra da coesão do solo, surgindo um ponto de ruptura para o início da ocorrência do escorregamento.

2.5.1 – Análise de Estabilidade da Encosta

As duas abordagens básicas para prognósticos de estabilidade de encostas e de taludes são: a análise do equilíbrio-limite e a análise da deformação, sendo que a maior parte dos métodos em uso hoje em dia faz parte da análise do equilíbrio-limite, por serem mais fáceis de serem aplicados (ARAUJO *et al.*, 2005).

A análise do equilíbrio-limite é utilizada para determinar o fator de segurança (FS) para uma dada encosta. Existem vários métodos e procedimentos baseados neste tipo de análise, porém são comuns a todos, os princípios de que é necessária uma superfície ou um mecanismo de ruptura, que a resistência ao cisalhamento seja a mesma em todo o plano de ruptura e que o Fator de Segurança (FS) seja igual a razão entre a resistência e a tensão de cisalhamento (Figura 3), sendo que este valor sempre terá que ser igual ou

maior que um para que haja estabilidade (MORGENSTERN e SANGREY, 1978).

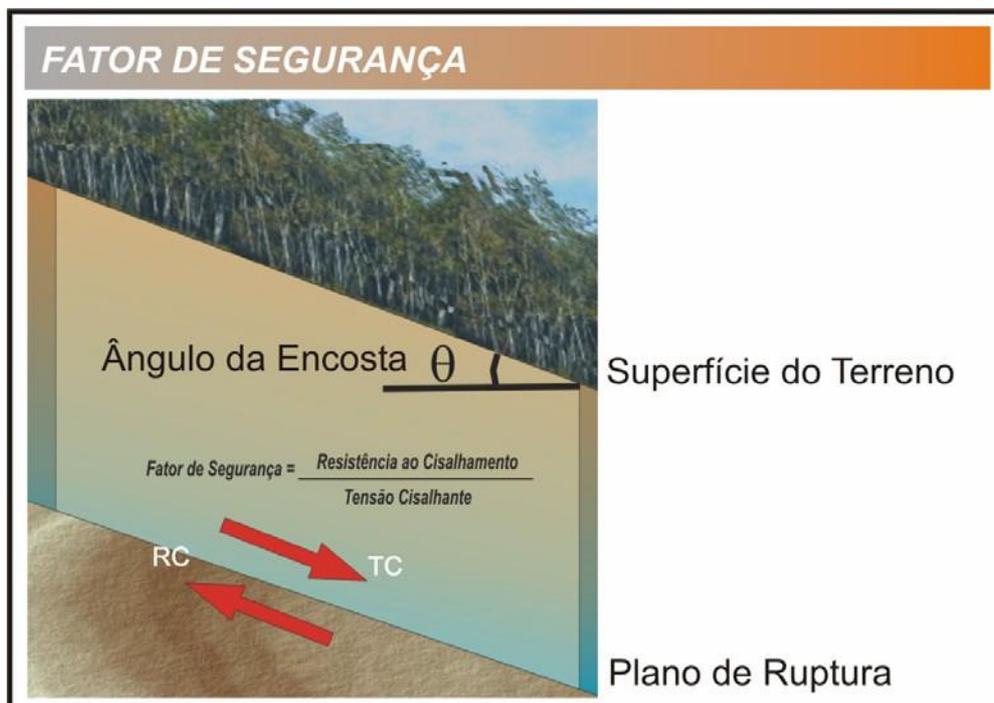


Figura 3: Figura representativa do Fator de Segurança e as variáveis envolvidas na sua mensuração, como RC – Resistência ao Cisalhamento e TC – Tensão Cisalhante.

A determinação do fator de segurança (*FS*) pelos métodos de equilíbrio-limite necessita de uma estimativa da resistência ao cisalhamento que pode ser mobilizada ao longo da suposta superfície de ruptura e da força ou tensão de cisalhamento do solo. Esta estimativa pode ser dada através da equação de Mor-Coulumb (Equação 1), baseada na teoria de talude infinito (CARSON e KIRKBY, 1972).

$$\tau = C + (\sigma - u) \tan \phi \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- - tensão tangencial
- C - coesão efetiva do solo
- σ - tensão normal
- u - poro-pressão
- ϕ - ângulo de atrito interno do solo

Nesta equação a estabilidade da encosta é expressa através da razão entre as tensões responsáveis pela sustentação do material da encosta (σ - tensão normal, C - coesão efetiva do solo e ϕ - ângulo de atrito interno) e

as tensões responsáveis por sua desestabilização (τ - tensão tangencial e u - poro-pressão) (CARSON e KIRKBY, 1972). Desta forma, torna-se importante destacar que, na análise por talude infinito, o bloco a ser deslocado está inserido no interior do regolito como um material homogêneo (figura 4), onde são desprezados os efeitos causados pelo atrito nas laterais e nas extremidades do material que se desloca (solo) sob um plano infinito inclinado, para se justificar as diferenças entre a espessura do solo e o tamanho da cicatriz. Considera-se também que esse plano de ruptura tem que ser abrupto, ou seja, um contato solo-rocha ou horizontes ou camadas impermeáveis.

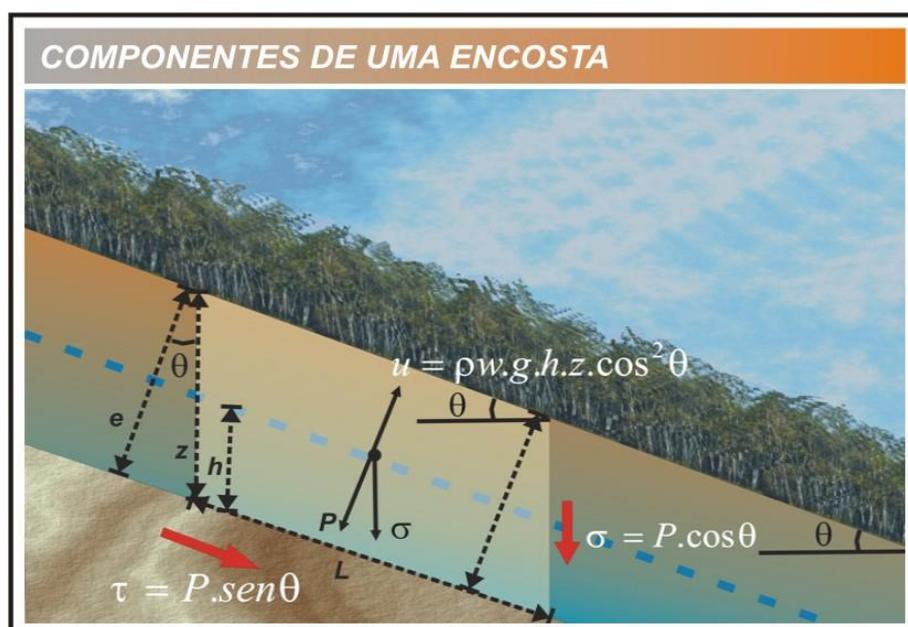


Figura 4: Componentes da força peso relacionadas com as tensões que agem em um escorregamento translacional, demonstrada em um bloco do terreno com seu plano de ruptura definido.

Onde:

- P - peso do bloco
- z - espessura vertical do solo
- e - espessura perpendicular do solo
- L - comprimento do bloco
- s - massa específico do solo
- w - massa específico da água
- h - altura da coluna d'água
- g - aceleração da gravidade

Neste caso, o valor do peso do bloco (P) terá que ser obtido em função da espessura vertical do solo (z), devido à dificuldade de se medir a espessura perpendicular do solo (e) através das equações 2 e 3:

$$e = z \cdot \cos \theta \quad (\text{Equação 2})$$

$$P = L \cdot \rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos \theta \quad (\text{Equação 3})$$

Como vimos na figura 4, a tensão tangencial (τ) e a tensão normal (σ) podem ser escritos substituindo o valor do peso (P) e eliminando o valor do comprimento do bloco (L) por se tratar de um talude infinito através das equações 4 e 5:

$$\tau = \rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (\text{Equação 4})$$

$$\sigma = \rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \cos \theta \quad (\text{o mesmo que} \quad (\text{Equação 5}) \\ \sigma = \rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos^2 \theta)$$

A poro-pressão (u) é um dos componentes da tensão cisalhante (Figura 4) e pode ser expressa pela mesma equação que representa a tensão normal (σ - Equação 5), por serem forças inversas, porém, substituindo-se a variável de peso específico do solo (ρ_s) pelo peso específico da água (ρ_w) e acrescentando a altura da coluna d'água (h - Equação 6):

$$u = \rho_w \cdot g \cdot h \cdot z \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{Equação 6})$$

Levando em consideração todas estas variáveis e fazendo a substituição na equação de Mor-Coulumb (Equação 1) dos valores de tensão tangencial (τ), tensão normal (σ) e poro-pressão (u), obteremos a equação 7.

$$\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta = C + (\rho_s \cdot g \cdot z \cdot \cos^2 \theta - \rho_w \cdot g \cdot h \cdot z \cdot \cos^2 \theta) \cdot \tan \phi \quad (\text{Equação 7})$$

A equação 7 pode ser reescrita de modo a representar o fator de segurança (FS), como nos mostra a equação 8.

$$FS = \frac{C + (\rho_s.g.z.\cos^2\theta - \rho_w.g.h.z.\cos^2\theta).\tan\phi}{\rho_s.g.z.\cos\theta.\text{sen}\theta} \quad (\text{Equação 8})$$

A equação anterior também poderá ser reescrita em termos da proporção da coluna de solo saturado $\frac{h}{z}$ através da equação 9:

$$\frac{h}{z} = \frac{C}{\rho_w \cdot g \cdot z \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi} + \frac{\rho_s \cdot (1 - \tan \theta)}{\rho_w \cdot \tan \phi} \quad (\text{Equação 9})$$

Caso não seja considerado a coesão (C), a poro-pressão (u) da coluna de solo saturado $\frac{h}{z}$ poderá ser resolvida através da equação 10:

$$\frac{h}{z} = \frac{\rho_s \cdot (1 - \tan \theta)}{\rho_w \cdot \tan \phi} \quad (\text{Equação 10})$$

2.5.2 – O Modelo Hidrológico

O modelo hidrológico utilizado pelo SHALSTAB baseia-se nos modelos desenvolvidos por BEVEN e KIRKBY (1979) e O'Loughlin (1986). BEVEN e KIRKBY (1979) definiram um padrão de saturação na topografia baseado na relação entre a área drenada (a), o seu fechamento ou exultório, através do comprimento do contorno ao longo de sua curva de nível (b) e o ângulo da encosta do terreno (θ) (Equação 11):

$$(a|b)|\theta \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

- a - área drenada
- b - comprimento do contorno da célula exultório

Partindo deste modelo, O'Loughlin (1986) definiu outro modelo de análise através de um padrão de equilíbrio de saturação do solo baseado na análise da área de contribuição a montante (a), na transmissividade do solo (T) e na declividade (θ), partindo do princípio de que o fluxo infiltra na coluna de solo (z) até um plano de mais baixa condutividade, ou seja, de diferenças abruptas entre a transmissividade entre horizontes do solo, ou com a ocorrência de concreções ou através de um contato abrupto solo-rocha,

gerando uma zona de saturação (h) o que faz com que o controle topográfico redirecione este fluxo acumulado.

Nessa abordagem, a condição necessária para que exista uma zona de saturação (h) em uma encosta, é que o fluxo de água acumulado em um ponto de fechamento de bacia, ou seja, o produto entre a área drenada a montante (a) e a precipitação (Q) que passa pela linha de contorno do ponto de fechamento (b), seja maior do que o produto da transmissividade do solo (T) e a declividade (θ). Observando que em sua concepção inicial, a discretização da topografia é feita em polígonos irregulares que são definidos a partir da interseção das curvas de nível com as linhas de gradiente máximo (Figura 5).

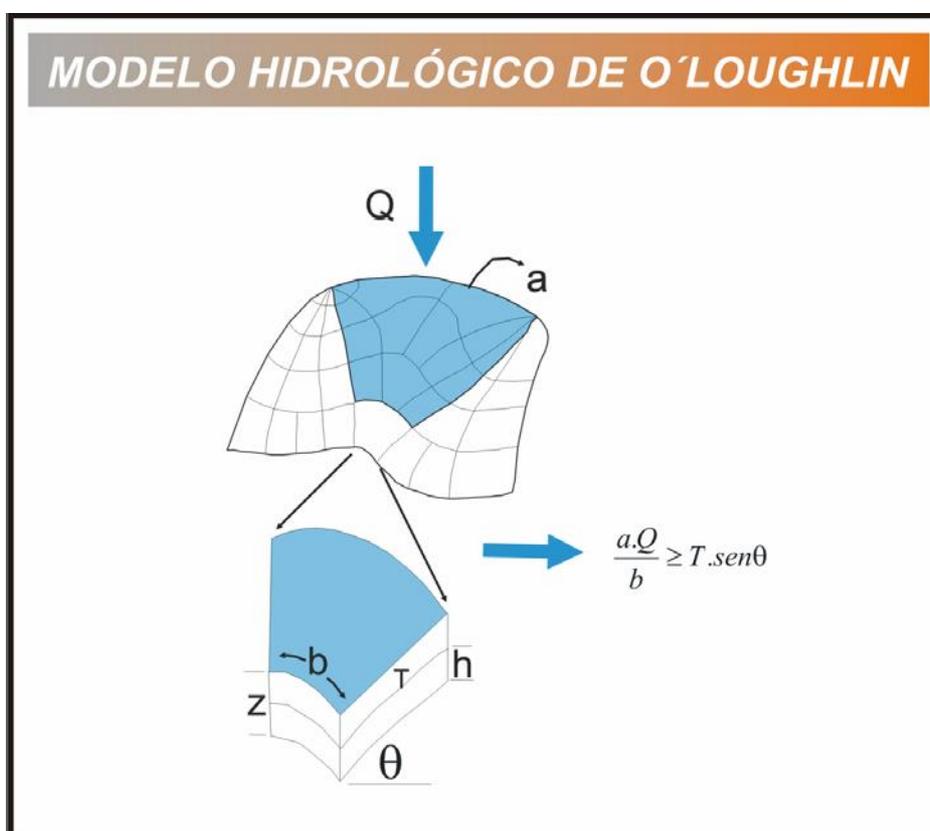


Figura 5: Modelo representativo da equação de análise hidrológica de O'Loughlin (O'LOUGHLIN, 1986).

Onde:

- h - zona de saturação
- a - área drenada a montante
- b - linha de contorno do ponto de fechamento
- Q - precipitação
- T - transmissividade do solo
- θ - declividade

Sendo assim, a condição de saturação pode ser definida por um índice de umidade (W - Equação 12), que define a condição de saturação que ocorre sempre onde o fluxo de drenagem a montante excede a capacidade do perfil de solo de transmitir este fluxo, sendo que a razão $\frac{Q}{T}$ corresponde às variáveis do controle hidrológico e que a razão $\frac{a}{b \cdot \sin \theta}$ corresponde às variáveis do controle morfológico (DIETRICH, 1993).

$$W = \frac{Q}{T} \cdot \frac{a}{b \cdot \sin \theta} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

- W - índice de umidade

De acordo com Montgomery (1994), o modelo hidrológico desenvolvido por O'Loughlin (1986), pode ser também escrito em função da razão $\frac{h}{z}$. Desta forma, o fluxo de água (q) pode ser expresso pelo produto da velocidade (v) pela área da seção transversal (S - Equação 13).

$$q = v \cdot S \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

- q - fluxo de água
- v - velocidade
- S - seção transversal

(Equação 14)

(Equação 15)

A partir da Lei de Darcy, que relaciona a condutividade hidráulica (K_{sat}) com o gradiente hidráulico (i), os autores fazem uma aproximação para este último termo, que é descrito na equação 14, no sentido de se considerar apenas o potencial gravitacional (potencial de elevação) na variação do potencial total (ΔH_{total}), haja vista, que as variações no potencial relativo aos poros do solo (potencial de pressão) são muito menores do que aquelas relativas ao relevo (Equação 15). Esta é uma aproximação bastante razoável, porque o modelo é aplicável sempre em áreas de relevo acidentado.

$$i = \frac{\Delta H_{total}}{L} \quad (\text{Equação 14})$$

$$v = K_{sat} \cdot i \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

- K - condutividade hidráulica
- i - gradiente hidráulico

A figura 6 mostra como o gradiente hidráulico (i) pode ser aproximado pela razão entre a diferença de potencial gravitacional entre os pontos Hg_1 e Hg_2 o comprimento (L), que também é igual ao seno θ .

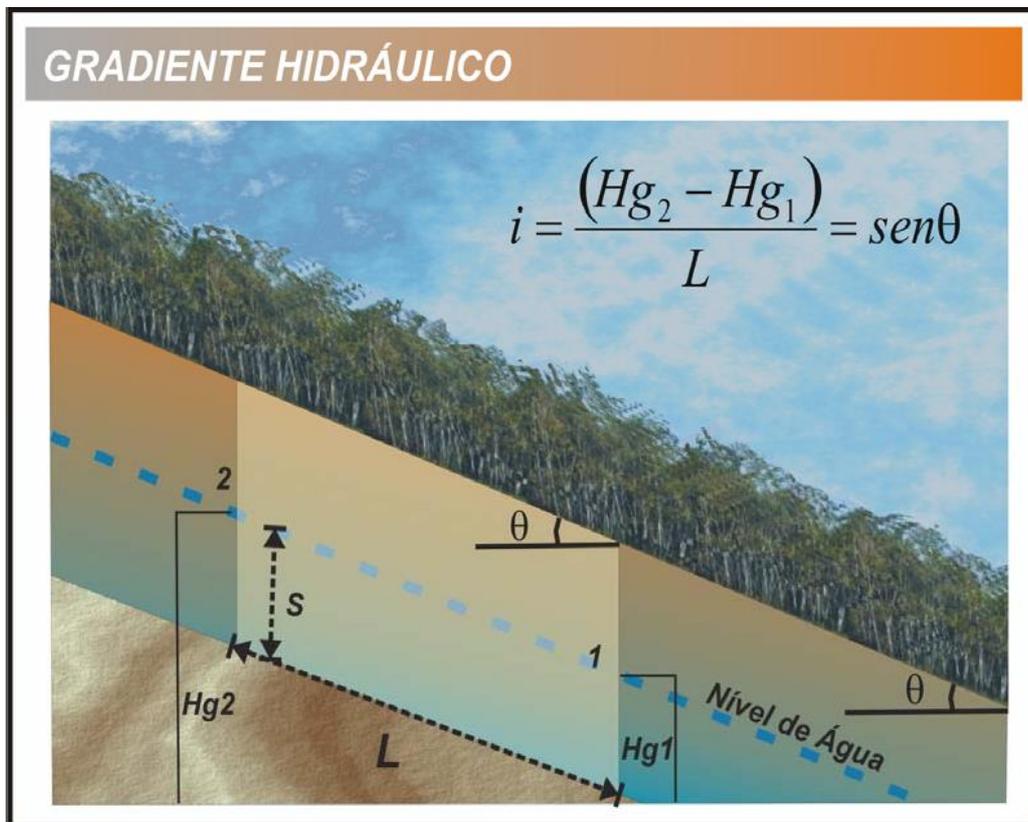


Figura 6: Representação do Gradiente Hidráulico em relação ao ângulo e o nível de água da encosta.

Onde:

- Hg - potencial gravitacional

A partir disso, podemos substituir (i) por $\text{sen}\theta$ na equação 15, obtendo-se a equação 16, que define a velocidade do fluxo.

$$v = K_{sat} \cdot \text{sen}\theta \quad (\text{Equação 16})$$

De acordo com a figura 6 podemos demonstrar a área da seção transversal saturada (S) em função da projeção vertical de (h), originando a equação 17:

$$S = h \cdot \cos\theta \quad (\text{Equação 17})$$

Deste modo, o fluxo de água (q) pode ser expresso substituindo-se na equação $q = v.S$ seus respectivos valores (Equação 18):

$$q = K_{sat} \cdot \text{sen} \theta \cdot h \cdot \cos \theta \cdot b \quad (\text{Equação 18})$$

Assumindo que o fluxo superficial e o fluxo na rocha são desprezíveis em vales não canalizados, os autores afirmam que a precipitação efetiva (Q) multiplicada pela área de contribuição, será a quantidade de *runoff* que ocorre através do comprimento (b) na condição de equilíbrio, portanto, tornou-se necessário acrescentar este comprimento da equação anterior (18). Para o modelo hidrológico, o fluxo é expresso pelo produto da precipitação por unidade de tempo e a área drenada a montante, ou seja, esta equação pode ser escrita da seguinte forma (Equação 19):

$$Q \cdot a = K_{sat} \cdot \text{sen} \theta \cdot h \cdot \cos \theta \cdot b \quad (\text{Equação 19})$$

O parâmetro transmissividade (T), descrito anteriormente é função do produto da permeabilidade saturada (K_{sat}) pela espessura do solo (e), como pode ser observado na Equação 20.

$$T = k_{sat} \cdot e \quad (\text{Equação 20})$$

Desta forma, uma vez que $e = z \cdot \cos \theta$, temos a Equação 21:

$$T = K_{sat} \cdot z \cdot \cos \theta \quad (\text{Equação 21})$$

Sendo assim, o denominador da equação (12) $W = \frac{Q}{T} \cdot \frac{a}{b \cdot \text{sen} \theta}$ pode

ser escrito de acordo com a equação (22) $T \cdot b \cdot \text{sen} \theta = K_{sat} \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \text{sen} \theta \cdot b$.

Deste modo, substituindo-se as equações (19) $Q \cdot a = K_{sat} \cdot \text{sen} \theta \cdot h \cdot \cos \theta \cdot b$ e (22) $T \cdot b \cdot \text{sen} \theta = K_{sat} \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \text{sen} \theta \cdot b$ na equação (12)

$$W = \frac{Q}{T} \cdot \frac{a}{b \cdot \text{sen} \theta}, \text{ obteremos a equação (23)}$$

$$W = \frac{K_{sat} \cdot \text{sen} \theta \cdot h \cdot \cos \theta \cdot b}{K_{sat} \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \text{sen} \theta \cdot b}$$

(Equação 23)

Resolvendo esta equação é possível colocar o modelo hidrológico em função do índice de umidade (W), ou seja, da razão h/z (Equação 24).

$$\frac{h}{z} = \frac{Q}{T} \cdot \frac{a}{b \cdot \text{sen} \theta} \quad (\text{Equação 24})$$

2.5.3 – Combinação entre o Modelo de Estabilidade de Encosta e o Modelo Hidrológico

Como mencionado, o modelo SHALSTAB é um modelo construído através da combinação dos modelos de estabilidade de encosta (Equação 9) e do modelo hidrológico (Equação 24). Esta combinação pode ser feita de duas formas: a primeira contempla todas as variáveis do modelo e a segunda forma, desconsidera a variável de coesão do solo (C).

Esta combinação pode ser escrita em função da razão $\frac{h}{z}$ (Equação

25), em função também da quantidade de chuva (Q) em estado de equilíbrio necessário para a ocorrência de escorregamentos (Equação 26), em função da razão hidrológica $\frac{Q}{T}$ (Equação 27) ou em função da razão área drenada por

unidade de contorno $\frac{a}{b}$ (Equação 28).

$$\frac{h}{z} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (\text{Equação 9 – Modelo de Estabilidade})$$

$$\frac{h}{z} = \frac{Q}{T} \cdot \frac{a}{b \cdot \text{sen} \theta} \quad (\text{Equação 24 – Modelo Hidrológico})$$

$$\frac{Q \cdot a}{b \cdot T \cdot \text{sen} \theta} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (\text{Equação 25 – em função da razão } \frac{h}{z})$$

$$Q = \frac{T}{(a \cdot b) \cdot \text{sen} \theta} \cdot \frac{\rho_w}{\rho_s} \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right) \quad (\text{Equação 26 – em função da quantidade de chuvas - } Q)$$

$$\frac{Q}{T} = \frac{\rho_s \cdot \sin \theta \cdot \tan \theta}{\rho_w \cdot (1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi})} \quad \text{(Equação 27 – em função da razão hidrológica)}$$

$$\frac{a}{b} \leq \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \cdot \frac{T}{Q} \cdot \sin \theta \quad \text{(Equação 28 – em função da razão área drenada por unidade de contorno)}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \cdot \tan \phi \cdot \frac{Q}{T} \quad \square \square$$

Caso existam dados referentes à coesão do solo (C), o modelo SHALSTAB também poderá ser utilizado considerando esta variável (Equação 29), apesar de o modelo sem a utilização da variável coesão do solo (C) ser considerado a pior estimativa de avaliação, pois, hiper-estima as áreas com susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos.

$$\frac{Q}{T} = \frac{\rho_s \cdot \sin \theta \cdot \left[\frac{C}{\rho_w \cdot g \cdot z \cdot \cos^2 \theta \cdot \tan \phi} + 1 - \frac{\tan \theta}{\tan \phi} \right]}{\rho_w \cdot \tan \phi} \quad \text{(Equação 29 - em função da quantidade de chuvas - Q, considerando a coesão do solo - C)}$$

2.5.4 – Classes de Estabilidade Geradas pelo Modelo SHALSTAB

As classes de estabilidades geradas pelo modelo SHALSTAB são sete (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998; traduzido por GUIMARÃES, 2000) e seguem a condição apresentada pela igualdade entre a razão área drenada por unidade de contorno $\frac{a}{b}$ e razão hidrológica $\frac{Q}{T}$ (Figura 7):

$$\frac{a}{b} \quad \frac{Q}{T}$$

CLASSE	CLASSE DE ESTABILIDADE	CONDIÇÃO	CLASSE AGRUPADA
A	Incondicionalmente estável e saturado	$\frac{a}{b} > \frac{Q}{T} \cdot \text{sen} \alpha \text{ e } \tan \alpha \leq \tan \phi' (1 - \rho_w \rho_s)$	Áreas Estáveis
B	Incondicionalmente estável e não saturado	$\frac{a}{b} \leq \frac{Q}{T} \cdot \text{sen} \alpha \text{ e } \tan \alpha \leq \tan \phi' (1 - \rho_w \rho_s)$	
C	Estável e não saturado	$\frac{a}{b} < \frac{\rho_s}{\rho_w} \left[1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} \right] \cdot \frac{T}{Q} \cdot \text{sen} \alpha$ $\frac{a}{b} < \frac{Q}{T} \cdot \text{sen} \alpha \text{ e } \tan \phi (1 - \rho_w \rho_s) < \tan \alpha < \tan \phi'$	Áreas de Média Instabilidade
D	Instável e não saturado	$\frac{a}{b} \geq \frac{\rho_s}{\rho_w} \left[1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} \right] \cdot \frac{T}{Q} \cdot \text{sen} \alpha$ $\frac{a}{b} < \frac{Q}{T} \cdot \text{sen} \alpha \text{ e } \tan \phi (1 - \rho_w \rho_s) < \tan \alpha < \tan \phi'$	
E	Instável e saturado	$\frac{a}{b} > \frac{\rho_s}{\rho_w} \left[1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \phi} \right] \cdot \frac{T}{Q} \cdot \text{sen} \alpha$ $\frac{a}{b} > \frac{Q}{T} \cdot \text{sen} \alpha \text{ e } \tan \phi (1 - \rho_w \rho_s) < \tan \alpha < \tan \phi'$	
F	Incondicionalmente instável e não saturado	$\tan \alpha > \tan \phi' \text{ e } \frac{a}{b} < \frac{Q}{T} \cdot \text{sen} \alpha$	Áreas Instáveis
G	Incondicionalmente instável e saturado	$\tan \alpha > \tan \phi' \text{ e } \frac{a}{b} > \frac{Q}{T} \cdot \text{sen} \alpha$	

Figura 7: Quadro representativo das classes de estabilidades que são geradas pelo Modelo SHALSTAB (DIETRICH e MONTGOMERY, 1998) e um possível agrupamento de classes para simplificação da interpretação do mapa gerado.

3 –MUNICÍPIO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende uma sub-bacia do Rio Paraibuna, a bacia do Córrego Independência, localizada dentro do perímetro urbano do Município de Juiz de Fora.

3.1 - EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO MUNICÍPIO

A história de Juiz de Fora iniciou na época das bandeiras paulistas, quando o Brasil do século XVIII não possuía estradas, mas picadas nas selvas abertas pelos índios, chamadas de “caminhos” pelos que a trafegavam. Nessa época, um contingente de trabalhadores entre índios, escravos, assalariados e familiares de Garcia Rodrigues Paes Leme construiu o “Caminho Novo”, concluído em 1704, propiciando a origem de diversas cidades, dentre elas, a ocupação do vale onde se encontra uma parcela significativa da cidade de Juiz de Fora.

Vários foram os incentivos, por parte da coroa portuguesa, para o povoamento desta região, dentre eles, a distribuição de grandes porções de terra (sesmarias) ao titular que se comprometesse a cultivá-las para alimentar funcionários, soldados em trânsito e mesmo viajantes que, porventura, passassem ou quisessem se fixar nos arredores do Caminho Novo.

Contemplada em 1710, uma dessas sesmarias, a de João de Oliveira, secretário do governador da capitania, correspondia à área hoje ocupada pela cidade de Juiz de Fora. Em 1713, foi vendida ao Dr. Luís Fortes Bustamante e Sá, um juiz de fora da cidade, natural do Rio de Janeiro. Daí, o local começou a ser designado como “Sesmaria do Juiz de Fora” e documentos da época já mencionavam Juiz de Fora como indicação geográfica. A sede da fazenda, conhecida como “Fazenda Velha”, tornou-se um dos referenciais, da época, no Município (PMJF, 1999).

3.2 - ORGANIZAÇÃO DO TERRITÓRIO

Com uma área aproximada de 1429,8 Km², o Município de Juiz de Fora é dividido em 4 distritos: o Distrito-Sede com área de 724,385 Km², o Distrito de Torreões, com 374,5 Km², o distrito de Rosário de Minas, com 225,6Km² e o Distrito de Sarandira, que ocupa uma área de 103,8 Km².

De acordo com a Lei Municipal 6910/86 (que trata da divisão territorial do Município em seus Capítulos II e III) o Distrito-Sede (Juiz de Fora) tem sua superfície dividida em Área Urbana e Área Rural. O Decreto Municipal 4047/88 descreve o seu Perímetro Urbano, ou seja, estabelece os limites de Área Urbana que abrange cerca de 400 Km², correspondente a 56% do total da área do Distrito-Sede, restando cerca de 320 Km², ou seja, 44%, de Área Rural. Os demais Distritos são compostos por Núcleos Urbanos e a Área Rural. A Lei estabeleceu, também, sete Núcleos Urbanos – que tiveram seus perímetros descritos posteriormente pelo Decreto Municipal 4210/89. A Lei 6910/86, subdividiu também a Área Urbana do Distrito-Sede em Zona Urbana e uma Zona de Expansão Urbana. Com a finalidade de melhor aplicar o planejamento, foram criadas, também por esta Lei, as Unidades Territoriais (UTs). Estas unidades constituem-se em subdivisões da Área Urbana do Distrito-Sede, estabelecidas de acordo com as características físico-urbanísticas e socioeconômicas peculiares a cada uma (Lei 6910/86, Cap. III, art. 5º).

Em 1989 a Lei Municipal 4219/89 criou 81 Regiões Urbanas (RUs) em unidades menores e mais coesas quanto às suas características, que subdividem a porção mais contínua e densamente ocupada da cidade, não abrangendo toda a extensão do Perímetro Urbano, que agrupam vários loteamentos e vários bairros, mas de modo objetivo têm seus limites devidamente estabelecidos. A partir daí, o setor de planejamento municipal, em conjunto com o IBGE, adotou a Região Urbana como unidade espacial básica para o Censo Demográfico de 1991 e 1996.

É importante destacar que os limites entre Unidades Territoriais e Regiões Urbanas não são totalmente coincidentes, basicamente porque a

metodologia utilizada no processo de regionalização, partiu da maior unidade (UT) para a menor (RU), ou seja, do geral para o específico (PMJF, 1999).

3.3 - LEGISLAÇÃO URBANA VIGENTE

Até 1980, Juiz de Fora não dispunha de uma legislação urbana sistematizada que regesse o seu crescimento. Vigorava, até então, o Código de Obras, editado em 1938 que, muito genérico no controle dos loteamentos e parcelamentos, foi revelando-se inadequado e ultrapassado não só em relação à legislação federal de 1979, como também à própria evolução urbana da cidade.

Foi através da Lei Federal 6766/79, que passou a exigir legislação específica sobre parcelamento em cidades com mais de 50.000 habitantes e criou os procedimentos de diretrizes prévias, que a Prefeitura sancionou a Lei 5740/80, fixando normas específicas para desmembramentos, fusões e loteamentos no Município de Juiz de Fora.

A partir daí, as reformulações na lei vigente e a criação de outros instrumentos legais resultaram no documento oficial denominado Legislação Urbana Básica do Município de Juiz de Fora, composto pela Lei do Parcelamento do Solo (6908, de 31/05/86), Lei que dispõe sobre Edificações no Município de Juiz de Fora (6909, de 31/05/86). Esse conjunto dotou o Município de instrumentos de planejamento importantíssimos, possibilitando-o direcionar as ações da administração pública. Porém, apenas a Unidade Territorial "I" foi totalmente detalhada via por via, o restante das UTs possui zoneamento genérico para toda a sua extensão territorial (PMJF, 1999).

3.4 - LOCALIZAÇÃO

O Município de Juiz de Fora encontra-se na porção média da bacia do Rio Paraibuna, pertencente à bacia do rio Paraíba do Sul. Está localizado na Região Sudeste do Brasil, na Região da Zona da Mata de Minas Gerais. Localiza-se a aproximadamente 200 km da cidade do Rio de Janeiro através da rodovia Br 040 (Figura 8).

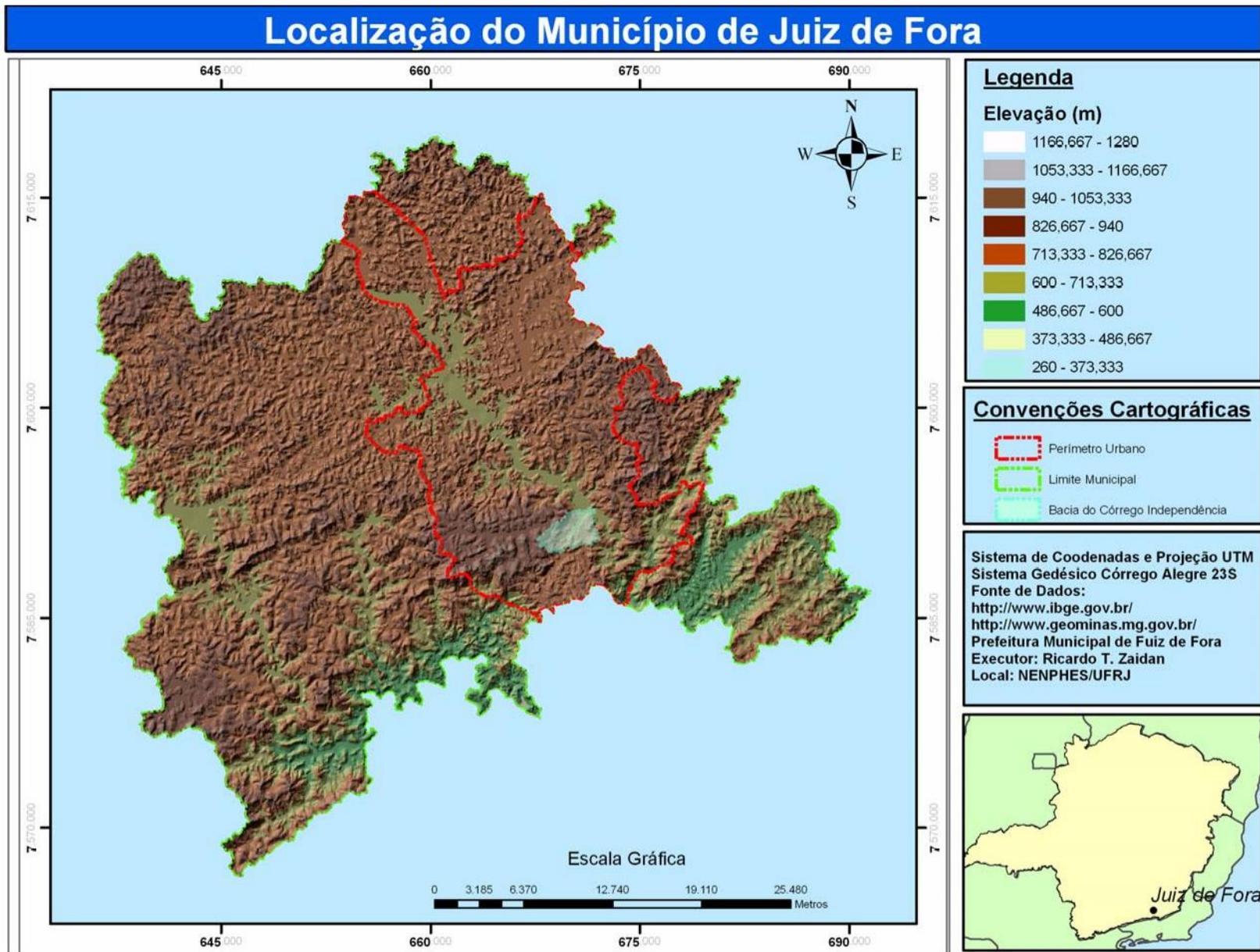


Figura 8: Mapa de localização do Município de Juiz de Fora e da Bacia da área de estudo

3.5 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL

É importante destacar que a descrição das características físicas do município foi realizada através da utilização do projeto Radambrasil (BRASIL, 1983) e do Plano Diretor de Juiz de Fora (PMJF, 1999;, 2004).

3.5.1 - Aspectos Geológicos

A área municipal de Juiz de Fora está situada sobre dois grandes domínios geológicos na região: o Complexo Juiz de Fora e o Gnaiss Piedade, unidades de grande extensão, formadas por uma variedade de rochas metamórficas, coerentes, duras e resistentes; destacando-se, por serem muito antigas e terem sido submetidas a intensos dobramentos, falhamentos e faturamentos. Sobrepostos a todas estas litologias, são encontrados materiais residuais, coluviais e aluviais, com espessuras e características particulares distintas.

O Complexo Juiz de Fora (PEJF) é formado pelas rochas mais antigas, tendo sido originado sob condições extremamente rigorosas de pressão e temperatura, fruto de fortes deformações e recristalizações. Estende-se continuamente em toda a porção meridional do Perímetro Urbano, fazendo contato, ao norte, com as rochas do domínio Gnaiss Piedade.

O Gnaiss Piedade (PGPI) localiza-se na porção setentrional do Perímetro Urbano, sendo limitado pelas rochas do Complexo Juiz de Fora, através de um feixe de falhas de empurrão de direção nordeste/sudoeste. Estas falhas de baixo grau cortam o Perímetro Urbano, próximo ao Bairro Monte Castelo, e ao sul de Santa Cruz, Nossa Senhora de Fátima e São Judas Tadeu.

Fotografias aéreas da região mostram diferentes padrões de lineamentos que sugerem a existência de zonas submetidas a intensos cisalhamentos, formando áreas de falhamentos ou intensamente fraturadas. Merece destaque também a falha geológica regional, que estabelece contato entre as rochas do Complexo Juiz de Fora com as litologias do Gnaiss Piedade, e que atravessa o Perímetro Urbano da cidade, próximo a antiga

fábrica da Facit. Trata-se de uma estrutura inversa, de porte significativo, que se estende por centenas de quilômetros seguindo a direção nordeste. Constitui, portanto, o front principal de um falhamento, formado por intensos esforços e que produziram outros sistemas de falhas de menor porte. Em Juiz de Fora esta Falha de Empurrão, constitui uma zona formada por um feixe de falhas que se superpõem, em forma de escamas de peixe. Os planos destas falhas possuem baixos ângulos de mergulhos, entre 15 e 30 graus, dirigidos para o quadrante sudeste, formando blocos cavalgados, sobrepostos a maciços bastante fraturados. Ao longo de algumas destas falhas já foram registrados alguns abalos sísmicos de baixíssima intensidade, indicando que as zonas de fraqueza não estão totalmente inativas.

Lineamentos menores com direção nordeste, típicos de falhamentos inversos estão presentes também na mancha urbana, próximos à Área Central, e que devem estar relacionados ao sistema principal. Além destas feições de rupturas estão presentes, também outros lineamentos menos expressivos com direção oposta (noroeste). Especialmente a falha normal, que acompanha o vale do ribeirão Marmelos e às orientações secundárias, são responsáveis pela formação do vale do Rio Paraibuna, que é o local onde se encontra nossa área de estudo, a Bacia do Córrego Independência.

3.5.2 - Aspectos Geomorfológicos

Juiz de Fora está localizada na Unidade Serrana da Zona da Mata, pertencente à Região Mantiqueira Setentrional. Esta região distingue-se por ser montanhosa, com altitudes próximas a 1000m nos pontos mais elevados, 670 a 750m no fundo do vale do rio Paraibuna e níveis médios em torno de 800m. O Perímetro Urbano do Município insere-se totalmente no curso médio do rio Paraibuna.

Os padrões de relevo mostram uma forte tendência à orientação estrutural. Suas litologias caracterizam-se por apresentarem coberturas de solos espessos e exposições rochosas, principalmente nas áreas de ocorrência das rochas denominadas Charnockíticas, ao Sul do Município. Em geral as feições geomorfológicas tendem a uma convexidade das vertentes a partir do topo, aliada à formação de grande número de anfiteatros e planícies intermontanas. O núcleo central da cidade, aproveitando-se desta condição natural, alojou-se na seção alargada do vale do rio Paraibuna, estrangulada por

uma barra resistente, à jusante. Dentro do Perímetro Urbano são encontrados dois grandes compartimentos geomorfológicos que se individualizam, principalmente em função dos aspectos geológicos: ao Norte, os terrenos ocupados pelo Gnaisse Piedade e ao Sul, pelas rochas antigas do Complexo Juiz de Fora.

As áreas do Complexo Juiz de Fora possuem um relevo mais acidentado, constituindo relevos elevados topograficamente com aspecto serrano e amplitudes topográficas que chegam a ultrapassar 200m, onde está localizada nossa bacia de estudo. Neste compartimento, a paisagem trabalhada pelos agentes erosivos produziu um aprofundamento do nível de base do rio Paraibuna, enquanto manteve soerguidos os fundos de vales de seus afluentes, sustentados por assoalhos rochosos, constituindo verdadeiros vales suspenso. Já os domínios do Gnaisse Piedade, exibem um relevo altamente dissecado, com topos alongados e estreitos, além de rios com vales mais abertos, onde o rio Paraibuna possui um perfil longitudinal escalonado, com declividades mais amenas entre o Distrito Industrial e o centro da cidade.

A declividade média do rio no município, numa extensão aproximada de 61 km, é de 4m/km. A planície aluvionar ao longo de seu percurso sinuoso, possui larguras variáveis que chegam a alcançar 2km, e dois terraços, separados por desníveis de 3 a 5 m, onde os depósitos coluvionares que revestem as vertentes, formam rampas de colúvio na base das encostas, próximos à planície aluvionar, onde a declividade do terreno é mais amena, às vezes penetrando várzea adentro, cobrindo parcialmente o terraço superior.

3.5.3 - Dados Pedológicos

A maior parte dos solos constitui os Latossolos Vermelho e Amarelo,. Os fundos de vales são compostos por Gley solos e Fluviosolos, provenientes de material fluvial.

Os Latossolos Vermelho-Amarelo (állico e distrófico) constituem os principais tipos encontrados no município, ocupando preferencialmente os

topos e as encostas menos íngremes, sendo responsáveis pelo desenvolvimento das áreas de Floresta Estacional Semidecidual, que é a cobertura vegetal original da região. As encostas mais íngremes possuem solos rasos do tipo neossolos e cambissolos com alguns afloramentos de rochas. Nas porções de várzeas sujeitas as inundações, são encontrados Fluviosolos e Gleysolos pouco Húmico.

Os primeiros são solos profundos, bem drenados, que possuem seqüência de horizontes A, B e C com transição vermelha ou amarela e tonalidades intermediárias. A maior parte dos Latossolos Vermelho-Amarelo da região são álicos, por conterem percentagens de saturação de alumínio superiores a 50%, chegando a 95%. Os solos distróficos são encontrados nas porções setentrionais do município, caracterizados pela presença de saturação de bases inferior a 50%, distribuindo-se preferencialmente pelos terrenos mais movimentados.

3.5.4 - Clima

O clima de Juiz de Fora apresenta duas estações bem definidas: de Outubro a Abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e de Maio a Setembro, com temperaturas mais baixas e com menor presença de chuvas.

De acordo com a classificação de W. Koeppen, a região possui um clima mesotérmico com verões quentes e chuvosos (Cwa). Este clima pode também ser definido, genericamente, como Tropical de Altitude, por corresponder a um tipo tropical influenciado pelos fatores altimétricos, em vista do relevo local apresentar altitudes médias entre 700 e 900m, que contribuem para a amenização das suas temperaturas.

Os índices pluviométricos anuais, obtidos pela Estação Climatológica Principal da UFJF/5ª DISME (nº83692), nas últimas décadas, acusaram médias em torno de 1500mm com os maiores índices mensais no mês de Janeiro, a cerca de 300mm. A média térmica anual oscila em torno de 18,9°C, sendo o mês mais quente Fevereiro, com média próxima a 21,7°C e o mês mais frio Julho, 16,1°C.

Uma das características do verão local, além dos elevados índices de calor e umidade, é a presença de chuvas do tipo convectiva, típicas de final de tarde e início da noite, acompanhadas de elevadas e concentradas precipitações pluviométricas. Sendo que, ao longo dos últimos anos tem se registrado a ocorrência dos mesmos índices pluviométricos, destacando-se a concentração em grandes pancadas de chuvas em pequenos intervalos durante o dia (ZAIDAN *et al.*, 2001). Os dados históricos, obtidos em décadas de observações no Município de Juiz de Fora, indicam que as chuvas máximas podem ocorrer entre Novembro e Março, sendo que a máxima para 24 horas já chegou a ultrapassar 137mm (STAICO, 1977). Fenômeno esse que correlaciona-se com a ocorrência dos movimentos de massa no município, que acontecem neste mesmo período do ano.

Por outro lado, a existência de um relevo, cujos desníveis topográficos alcançam mais de 200m, associado aos fatores antrópicos causados pela intensa urbanização, caracterizam micro climas diferenciados dentro do próprio Perímetro Urbano. É neste contexto que, Staico (1977), já salientava a existência de patamares distintos em relação à várzea do rio Paraibuna, a leste e a oeste, junto aos vales secundários dos córregos das Rosas e São Pedro, respectivamente, que por sua maior altitude e afastamento da concentrada urbanização da parte central, tendem para um clima mesotérmico com verões brandos (Cwb).

Junto a estas características, salienta-se que a ação antrópica também tende a produzir modificações em alguns elementos climáticos. O que se pode constatar através da configuração de clima urbano e clima rural, que devido às características, tanto térmicas como hídricas, da área urbana em relação à área rural tornam-se bastante distintas, passando-se a configurar climas diferentes numa escala local. A maior quantidade de chuvas, além da ocorrência de episódios de granizo com maior frequência e intensidade sobre as áreas urbanas são aspectos que comprovam essas alterações (SANTOS *et al.*, 2004). Outro fenômeno que tem se caracterizado no município é a formação da chamada “Ilha de Calor”, o que justifica as temperaturas mais elevadas na área central da cidade além de pluviosidade quantitativamente maiores nas áreas urbanas (PMJF, 1999).

3.5.5 - Dinâmica Urbana e seus Impactos no Perímetro Urbano

O Município de Juiz de Fora está localizado na bacia do Médio Paraibuna, pertencente à bacia do rio Paraíba do Sul. O Perímetro Urbano é drenado por 156 sub-bacias de diversas dimensões, as quais constituem importantes unidades de estudos.

Do ponto de vista morfológico, a bacia do Médio Paraibuna possui tributários com perfis longitudinais relativamente acentuados, que desembocam no rio principal com gradiente moderadamente baixo. O rio Paraibuna possui declividade média bastante variada, sendo que no trecho urbano de Juiz de Fora é bastante moderada, da ordem de 1,0m/km.

A presença de vales profundos associados a encostas com elevadas declividades e um relevo constituído predominantemente por morros e morrotes, sujeitos a chuvas com índices anuais elevados, constituem os principais fatores que imprimem à região uma dinâmica superficial bastante intensa. Contribuem, ainda, a presença de blocos de rochas em escarpas abruptas, solos residuais espessos e formações superficiais profundas, precariamente protegidas por pastagens, capoeiras e pequenos redutos de florestas secundárias. O desequilíbrio das vertentes pode ser visualizado pelos elevados índices de movimentos de massa e processos erosivos tanto laminares como de escoamento concentrado em muitas das encostas da área urbana (PMJF, 1999). Exemplos desta situações são mencionados por Rocha (2004) através de pesquisas ligadas a criação de mapas de risco na área urbana de Juiz de Fora.

Os movimentos de massa encontrados na região são de vários tipos, desde escorregamentos em solos residuais, corridas de terra, queda de blocos rochosos, deslocamentos de depósitos de talus, queda de matacões e escorregamentos a partir de superfícies de contato solo/rocha. Além desses escorregamentos e deslizamentos, agravados nos períodos de chuvas intensas, a forte erosão contribui para acelerar a instabilidade do relevo, sendo mais intensa a atuação dos processos erosivos do tipo laminar, presente extensivamente nas áreas não urbanizadas, ocupadas principalmente por pastagens. Estão presentes sulcos e voçorocas, causados por escoamento concentrado, estão presentes, geralmente, em áreas de solos arenosos.

Destacam-se algumas áreas no município que concentram um maior número de ocorrência destes eventos como é o caso da Bacia do Córrego do Yung, localizada na porção sudeste da calha do Paraibuna, encravada numa região de relevo bastante acidentado, devendo seu adensamento ser atribuído, em parte, à ocupação espontânea e desordenada por uma população de baixa renda, em áreas inadequadas, com declividades impróprias e alto risco de deslizamentos, atraídas pela histórica ocupação das fazendas cafeeiras e pela tradicional indústria têxtil (PMJF, 1999; RINCO, 2003). Nesta mesma bacia destacam-se as regiões das antigas saibreiras desativadas e a porção do bairro Alto dos Três Moinhos, que tem sido alvo de diversos estudos devido ao elevado número de ocorrência de movimentos de massa, como relatado em estudos relativos à criação de cartas de risco geotécnico (MARQUES *et al.*, 2004).

Outra área do município que tem merecido destaque é a referente à Bacia do Córrego Independência, que tendo apresentado registros de ocorrências de movimentos de massas diversos ao longo dos últimos anos, tem sido alvo de diversos pesquisadores, já apresentando estudos relativos a zoneamento de risco para ocupação urbana utilizando modelos estatísticos de análise em geoprocessamento através do SAGA – Sistema de Análise Geo-Ambiental (CASTELLANI, 2000). Sendo mais grave que, estudos ligados percepção do risco ambiental aplicados a esta área revelaram o baixo índice de percepção da população a estes problemas (CASTRO, 2002).

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

A escolha do município de Juiz de Fora deu-se pelo fato de residir no mesmo, já possuir grande parte do material utilizado para a realização desta tese e também pelo fato de, no município, haver a existência de áreas de ocupação críticas com o registro de ocorrências de movimentos de massa, onde foi realizado o Zoneamento de Risco Atual na Bacia do Córrego Independência na escala de 1:2.000.

4.1 – A CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA

Para a caracterização de áreas críticas no município, trabalhou-se na escala de 1:50.000 devido a necessidade de representar somente aspectos físicos topográficos. Adotou-se o sistema de coordenadas UTM e o sistema geodésico Córrego Alegre Zona 23 devido à disponibilidade de material cartográfico estar nessas configurações. Todos estes mapas foram convertidos e editados no *software* Arcgis da Esri.

O primeiro procedimento constou da criação de uma pequena base cartográfica digital contendo os mapas de altimetria, limites de bacias hidrográficas tributárias do Rio Paraibuna na área municipal e imagem Landsat cobrindo a área municipal.

O mapa de altimetria foi gerado a partir da compilação das curvas de nível, pontos cotados, drenagem e limite municipal, representados através de 6 cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000 que cobrem a área do Município de Juiz de Fora (IBGE, 1976a;1976b;1976c;1976d;1976e;1976f). Estas cartas foram obtidas via *download* gratuito diretamente do site do IBGE (<http://www.ibge.gov.br/>) no formato DGN do *software* Microstation.

O mapa com os limites de bacias hidrográficas, tributárias do Rio Paraibuna, contidas na área municipal foi obtidos em meio digital formato DXF gerado no Autocad junto a Prefeitura Municipal, publicados no Plano diretor do município (PMJF, 1999;, 2004).

A imagem Landsat, cobrindo a área municipal, foi fornecida pela Divisão de Sensoriamento Remoto do INPE (INPE, 10/09/2001), e através do *software* Spring (CÂMARA; SOUZA *et al.*, 1996) preparou-se a composição

RGB através das bandas 4,5 e 3 respectivamente, para se destacar a área de ocupação urbana da área rural.

O segundo procedimento foi o processamento de alguns dos mapas contidos na base cartográfica para a geração do modelo digital de elevação e da carta de declividades da área municipal.

O modelo digital de elevação do Município de Juiz de Fora foi gerado através do módulo de análise tridimensional (3D Analyst) do *software* Arcgis, através do interpolador *TIN* – rede triangular irregular, pois, acredita-se que o modelo *TIN* represente melhor o relevo para fins de interpretação somente visual.

A carta de declividades do Município de Juiz de Fora foi gerada a partir do modelo digital de elevação com resolução de 10 metros o pixel, seguindo os critérios de precisão cartográfica de 1:50.000, também através do módulo de análise tridimensional (3D Analyst) do *software* Arcgis, através do comando de análise de superfície (Surface Analysis).

O terceiro procedimento foi a análise do mapa de declividades, do mapa com os limites das bacias hidrográficas e da imagem Landsat. Este procedimento serviu para se verificar onde se encontram as áreas de maiores declividades das bacias de drenagem com uso e ocupação urbana. Em seguida verificou-se, em campo, algumas dessas áreas mais próximas do centro da cidade onde a densidade demográfica é mais elevada, fazendo o registro fotográfico e análise da situação onde se detectou a presença de áreas críticas.

4.2 – DA CARACTERIZAÇÃO DO RISCO ATUAL NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA

A escolha da Bacia do Córrego Independência seguiu critérios que definissem uma bacia essencialmente urbana, ou seja, que se encontrasse em mais de cinquenta por cento sob uso e ocupação urbana. O segundo critério foi o fato da bacia não estar totalmente ocupada, para que os resultados do zoneamento pudessem gerar algum efeito positivo para as futuras ocupações, caso os órgãos públicos responsáveis levem em consideração este trabalho. O último critério foi a existência e a disponibilidade de material cartográfico para a geração dos mapas necessários ao desenvolvimento deste trabalho.

Para o Zoneamento de Risco Atual na Bacia do Córrego Independência, trabalhou-se na escala de 1:2.000 devido a necessidade de utilização de um modelo topográfico de detalhe para se prever com maior exatidão possível as áreas susceptíveis a escorregamentos e este ser o material de maior detalhe cartográfico disponível. Adotou-se o sistema de coordenadas UTM, referenciado ao Sistema Geodésico Córrego Alegre Zona 23, devido à disponibilidade de material cartográfico estar nessas configurações. Todos estes mapas foram convertidos e editados no *software* Arcgis da Esri.

4.2.1 – Da Caracterização do Mapa de Uso e Ocupação e a Bacia do Córrego Independência

O primeiro procedimento constou da criação de uma base cartográfica digital contendo os mapas de altimetria, a cobertura aerofotográfica e o arruamento da bacia hidrográfica do Córrego Independência.

O mapa de altimetria foi criado a partir da edição das curvas de nível e a drenagem contidos na restituição aerofotogramétrica de 1983, folhas R093A, R094A, R098A, R099A, R100A, R106A, R107A, R108A, R115A, R116A, R117A, R118A, R125A, cedidas pela prefeitura municipal em meio digital já vetorizadas (EMBRAFOTO, 1983). Os arquivos foram obtidos no formato DXF do *software* Autocad e importadas e editadas no *software* Arcgis da Esri.

A cobertura aerofotográfica foi cedida pela prefeitura municipal através de um mosaico georreferenciado com a cobertura da área da Bacia do Córrego Independência com resolução de 40cm o pixel (CESAMA/PMJF, 2000).

O mapa de arruamento foi cedido pela prefeitura municipal em meio digital já vetorizadas no formato DXF do *software* Autocad e importado e editado no *software* Arcgis da Esri (PMJF, 1999;, 2004).

O segundo procedimento foi o processamento de alguns dos mapas contidos na base cartográfica para a geração do mapa de uso e ocupação, o modelo digital de elevação, a carta de declividades e a compartimentação geomorfológica da área municipal.

O mapa de uso e ocupação foi criado a partir da análise visual da cobertura fotográfica e criação de três classes nominais distintas de uso e ocupação: as áreas de “Mata Urbana”, as “Pastagens ou Loteamento não Edificados” e as “Áreas de Uso e Ocupação Urbana”. Foram especificadas apenas três classes devido ao fato de ser necessário para o nosso trabalho apenas a distinção de área urbana e não urbana, não sendo necessária a distinção de tipos diferenciados de área urbana.

O modelo digital de elevação do Município de Juiz de Fora foi gerado através do módulo de análise espacial (Spatial Analyst) do software Arcgis, através do interpolador *TIN* – rede triangular irregular, pois, acredita-se que o modelo *TIN* represente melhor o relevo para fins de interpretação somente visual.

A carta de declividades do Município de Juiz de Fora foi gerada a partir do modelo digital de elevação com resolução de 1 metro o pixel, obedecendo os critérios de precisão cartográfica de 1:2.000, também através do módulo de análise tridimensional (3D Analyst) do software Arcgis, através do comando de análise de superfície (Surface Analysis).

O mapa de ambientes geomorfológicos foi gerado a partir da análise das curvas de nível, da drenagem e do modelo de elevação sendo feita uma classificação nominal dos compartimentos de topo, encostas e fundos de vales.

4.2.2 – Da Previsão de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos até o Zoneamento de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos na Bacia do Córrego Independência

Para a previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos foram realizadas as etapas de geração do modelo de susceptibilidade, sua validação e a criação do zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos.

Para a geração do modelo de susceptibilidade gerou-se um MDE – modelo digital de elevação raster – utilizou-se das curvas de nível e da drenagem, e através do módulo de análise espacial do Arcgis - *Topo to Raster*, pois segundo alguns autores tem sido considerado um dos métodos mais adequados para representação superficial com maior coerência com os processos hidrológicos (GUIMARÃES, 2000; RABACO, 2005). Em relação ao valor das variáveis necessárias ao SHALSTAB, utilizou-se das medidas já pré-

estabelecidas pelo programa de ângulo de atrito interno do solo (45°) e massa específica do solo (1800 kg/m^3) do Modelo SHALSTAB para a geração do modelo de susceptibilidade a partir da razão quantidade precipitada pela transmissividade dos solos $\frac{Q}{T}$, sem considerar a coesão dos solos (C).

Após a geração do modelo, respeitando as potencialidades e deficiências do mesmo, os resultados obtidos nas porções de topos e de vales, foram anulados por não serem considerados precisos. Desta forma, todas as análises a seguir foram realizadas dentro apenas dos compartimentos de encosta da área da Bacia do Córrego Independência.

Para a validação do modelo de susceptibilidades foram mapeadas as cicatrizes de possíveis movimentos de massa através da análise do mapa com a cobertura aerofotográfica da bacia, e através da interpretação do mapa de susceptibilidade, foi conferido se realmente apareceram células com classificação de instabilidade dentro da área das cicatrizes.

Para a criação do zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos foram analisadas e agrupadas as classes ordinais obtidas através do modelo SHALSTAB da seguinte forma: a união das classes Incondicionalmente Instável Saturado e não Saturado com a Estável e não Saturado originaram a classe “Áreas Estáveis”; a união das classes Instável Saturado e não Saturado originaram a classe “Áreas de Média Instabilidade”; e a união das classes Incondicionalmente Instável Saturado e não Saturado originaram a classe “Áreas Instáveis”.

4.2.3 – Do Zoneamento de Risco Atual nas Encostas da Bacia do Córrego Independência

O zoneamento de risco atual foi criado a partir da análise conjunta do mapa de uso e ocupação do solo e do zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos na Bacia do Córrego Independência. Para isso foi utilizada a classe Área de Uso e Ocupação Urbana onde foi realizado o recorte de sua área de interseção com a classe do mapa de compartimentação geomorfológica Encostas e com o zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos estabelecendo assim as áreas de risco atual. As classes

geradas foram a partir da mesma classificação do zoneamento de susceptibilidade, sendo que a classe Área Estável originou a classe Áreas de Baixo Risco, a classe Área de Média Instabilidade originou a classe Áreas de Médio Risco e a classe Áreas Instáveis originou a classe Áreas de Auto Risco.

5 – RESULTADOS

Os resultados apresentados são relativos à caracterização de áreas críticas em escala municipal (1:50.000) e do detalhamento (1:2.000), através da previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos (risco potencial) e posterior detecção de áreas com risco atual (áreas susceptíveis já ocupadas), da bacia de drenagem urbana do Córrego Independência.

5.1 – A CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA

A organização do espaço municipal se deu inicialmente através da distribuição histórica das sesmarias e da instalação de equipamentos que dessem suporte ao deslocamento das tropas imperiais, transporte de minérios preciosos e comerciantes.

Com as primeiras ocupações populacionais, a organização espacial configurou-se nas proximidades do Rio Paraibuna, principalmente ao longo do seu vale principal, caracterizado por feições de relevo mais favoráveis, com pouco desnível e baixas declividades. Com o aumento do número de habitantes, a paisagem urbana ganhou espaço através dos vales secundários das sub-bacias tributárias do Paraibuna, nos dias atuais, avançando aceleradamente pelas encostas íngremes onde se aloca grande parte da população. Tal fisionomia revelou em muitas situações, o aparecimento de áreas críticas e degradadas onde se caracterizam situações de risco atual (Figura 9).

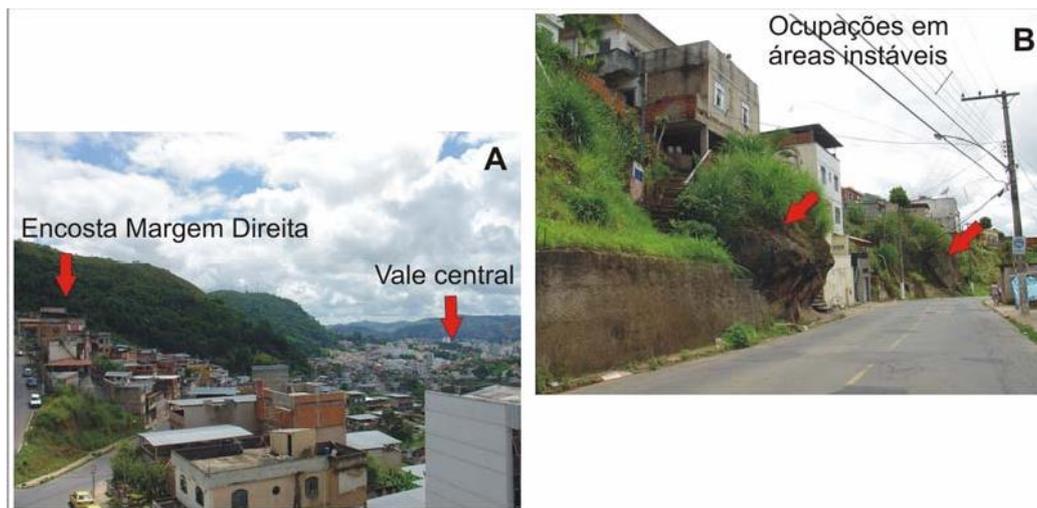


Figura 9: A fotografia A mostra a área urbana no vale central e parte de sua extensão em direção às encostas da margem direita do Rio Paraibuna. A fotografia B mostra um detalhe da encosta apresentada na fotografia A, onde existem moradias instaladas sobre o terço inferior da encosta com a presença de depósitos de talos caracterizando instabilidade e formação de áreas críticas.

A área onde se instalou a população do município de Juiz de Fora é bem caracterizada por um lineamento de sentido noroeste-sudeste que corta o perímetro urbano, acompanhando a calha principal do Rio Paraibuna, onde se encontra um grande vale, tendo em alguns trechos até 2 km de largura. O município também é cortado por dois grandes rios de expressão, o Rio Cágado e o Rio do Peixe, porém, somente o Rio Paraibuna passa pelo Perímetro Urbano, nossa área de estudo. Parte deste lineamento atribui-se a existência de um falhamento, bem identificado através do desnível entre as encostas do Morro do Cristo e o vale onde se encontra o centro da cidade. Tais características podem ser observadas através da fotografia A da figura 9, onde aparece um grande desnível entre a encosta da margem direita e o vale central onde passa o Rio Paraibuna. Perpendicularmente a este lineamento, encontram-se vários outros que também cortam várias porções do perímetro urbano, inclusive o centro da cidade. Tal característica pode ser considerada como um dos fatores condicionantes na formação das sub-bacias das duas margens do Rio Paraibuna que se dispõem perpendicularmente a ele, seguindo a direção longitudinal aproximadamente Nordeste-Sudoeste em ambas as margens. Neste cenário de vales secundários em forma de anfiteatros, configuram-se encostas com percentual de declividade bem mais elevado que o vale central.

O Rio Paraibuna apresenta mais de 250 sub-bacias na área municipal, sendo 156 só no perímetro urbano (Figura 10). É neste contexto que destacam-se algumas destas bacias urbanas onde a ocupação se apresenta mais proeminente juntamente com características morfológicas do relevo que conferem maior susceptibilidade a ocorrência de processos como movimentos de massa que resultam em cenários críticos do ponto de vista geotécnico. Dentre estas bacias, destaca-se a bacia do Córrego Independência por apresentar tais características aliadas a uma grande densidade ocupacional, além de já registrar junto a Defesa Civil de Juiz de Fora um número considerável de ocorrência de pequenos movimentos de massa.

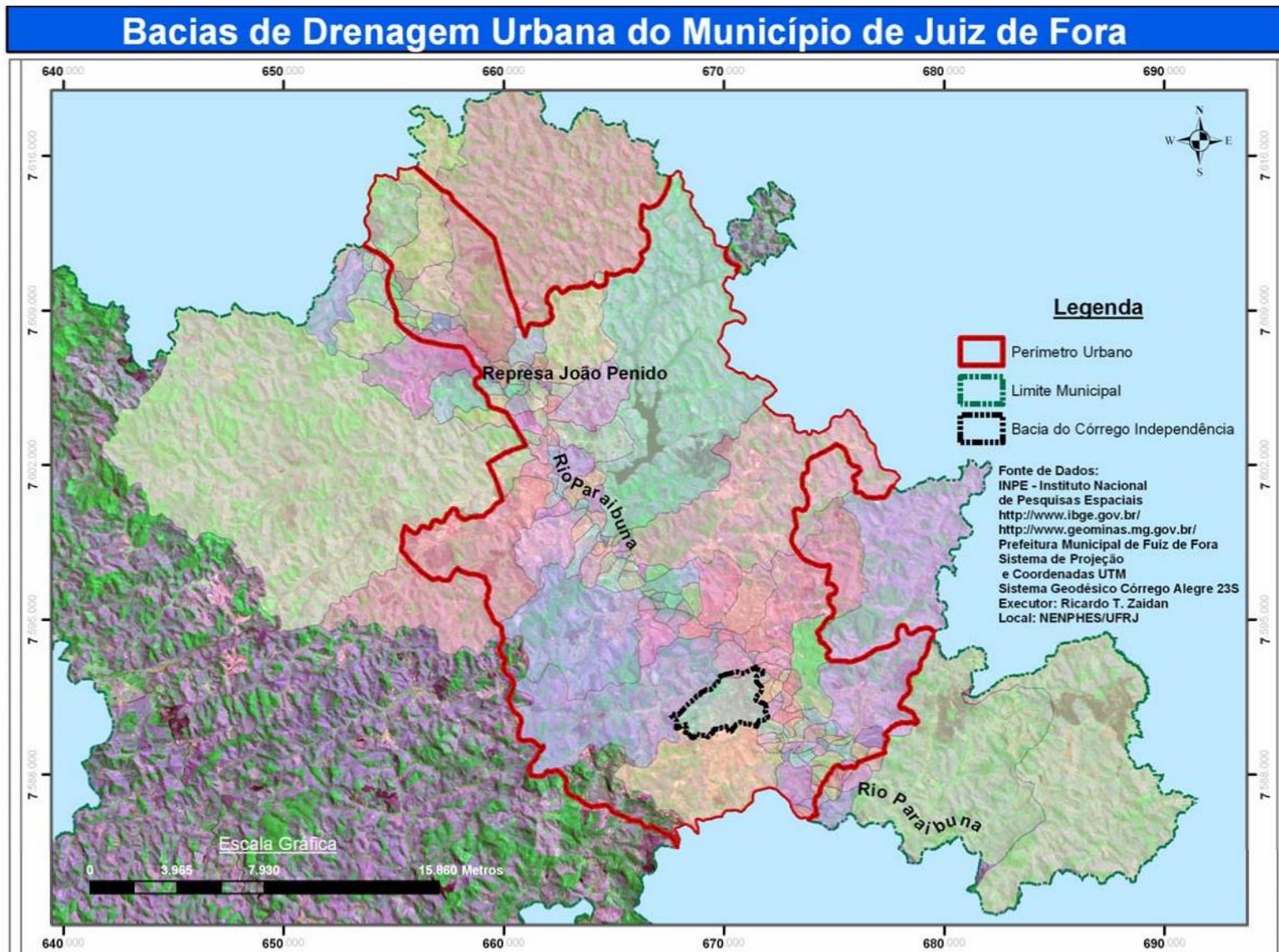


Figura 10: Representação das bacias hidrográficas tributárias do Rio Paraíba, com ênfase nas bacias localizadas dentro do Perímetro Urbano de Juiz de Fora. Destaque também para a Bacia do Córrego Independência com contorno em preto. Ambas sobrepostas a uma imagem Landsat composição R4G5B3 de 10/08/2001 cedida pelo INPE.

5.2 – RISCO ATUAL NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA

Os resultados da análise na Bacia do Córrego Independência foram conduzidos através dos três itens: o uso e ocupação, a classificação da susceptibilidade a escorregamentos, a validação deste modelo classificatório e a existência de risco atual nas áreas de maior susceptibilidade a ocorrência de escorregamentos.

5.2.1 – Uso e Ocupação e a Bacia do Córrego Independência

A Bacia do Córrego Independência caracteriza-se como uma bacia essencialmente urbana e parte da sua área localiza-se na área classificada como centro comercial do município (Figura 14). Constata-se através da análise da cobertura aerofotográfica, que a maior parte de sua superfície já se encontra sob uso e ocupação essencialmente urbano, e sua paisagem demonstra total distinção entre o urbano e o não urbano, através das poucas áreas que ainda possuem cobertura verde (Figura 14).

Levando em consideração o interesse principal do nosso estudo, a detecção de áreas com risco atual, ou seja, aqui identificadas por nós também como áreas críticas, definimos três classes distintas de uso e ocupação: as áreas de “Mata Urbana”, as “Pastagens ou Loteamento não Edificados” e as “Áreas de Uso e Ocupação Urbana”. Tais classes estão representadas através do Mapa de “Uso e Ocupação da Bacia do Córrego Independência” (Figura 15).

A classe de Mata Urbana corresponde às áreas com vegetação arbórea ou arbórea arbustiva, equivalendo a 12,6% da área total da Bacia do Córrego Independência (Gráfico 1).

Uso e Ocupação



Gráfico 1: Gráfico com o percentual (%) de área das classes de uso e ocupação mapeados na Bacia do Córrego Independência.

As Matas Urbanas (Figura 11) são mais freqüentes nas proximidades dos divisores de água da bacia hidrográfica, aparecendo também na área central em menor escala, correspondendo a antigas propriedades como instituições religiosas e públicas. Aparecem com maior freqüência na porção noroeste até o sudoeste da bacia, que correspondem às escarpas do Morro do Cristo e à área da Universidade Federal de Juiz de Fora respectivamente (Figuras 14 e 15). São típicas de feições de encostas de média a elevada declividade e também de alguns raros ambientes de topos ainda não loteados (Figuras 16 e 17). Constata-se também, que em sua maioria, cobrem ambientes de maior dificuldade de ocupação, que nos dias de hoje, com o crescimento da população urbana, tem sofrido grande pressão de ocupação, principalmente por localizar-se nas proximidades do centro comercial da cidade.



Figura 11: Representação da área de mata onde a fotografia A nos mostra a cobertura típica de Mata Urbana e a fotografia B nos dá um detalhe da área de borda, onde avançam as edificações sobre a mata.

A classe Pastagem ou Loteamento não Edificado (Figura 12) corresponde às áreas que não são cobertas por matas e que ainda não possuem infra-estrutura de loteamento como arruamentos e edificações, correspondendo a 18,4% da área da Bacia do Córrego Independência (Gráfico 1). Estão localizadas nas regiões dos divisores de água da bacia e nas proximidades ou entorno de algumas matas. Aparecem também no centro, porém nas porções mais próximas das cabeceiras. Ocorrem em maior frequência nas porções de noroeste a sudoeste, principalmente na área correspondente a parte do campus da Universidade Federal de Juiz de Fora e suas vizinhanças (Figuras 14 e 15). Caracterizam-se por ocuparem as porções mais elevadas da bacia, tanto ambientes de encostas, com declividades variadas, como topos de elevações e algumas poucas porções de vales mais elevados, distantes da região do vale central da bacia (Figuras 16 e 17). Constata-se que esta classe caracteriza-se por sofrer pressão de ocupação constante por parte das populações vizinhas, registrando a ocorrência sistemática de queimadas, cortes de talude e ocupações muitas vezes por invasões.



Figura 12: A Fotografia A caracteriza a classe de Pastagem Loteamento não edificado e sua proximidade das áreas urbanas. A Fotografia B mostra um detalhe da área da Fotografia A, onde a paisagem de edificações avança através de cortes nas encostas de elevada declividade.

A classe Áreas de Uso e Ocupação Urbana (Figura 13) caracteriza-se por uma paisagem de áreas urbanas ocupada por edificações de um ou vários pavimentos, e usos desde o residencial ao comercial, correspondendo a maior parte da área da Bacia do Córrego Independência, totalizando 69% da bacia (Gráfico 1). Estende-se por toda a porção central da bacia, desde o Rio Paraibuna

passando pelas porções sudeste, sul e sudoeste, sendo essa última a de menor ocorrência (Figuras 14 e 15). Sua maior ocorrência se dá no vale central, porém, nas bordas da Bacia do Córrego Independência já começam a expandir-se pelas encostas, ocupando as áreas de menor declividade. Nos atuais dias, exerce forte pressão e começa a invadir encostas mais íngremes, como as da porção sudoeste, alcançando altitudes mais elevadas nas proximidades das escarpas da região noroeste e nos platôs da porção sudoeste, nos arredores da Universidade Federal de Juiz de Fora (Figuras 16 e 17).

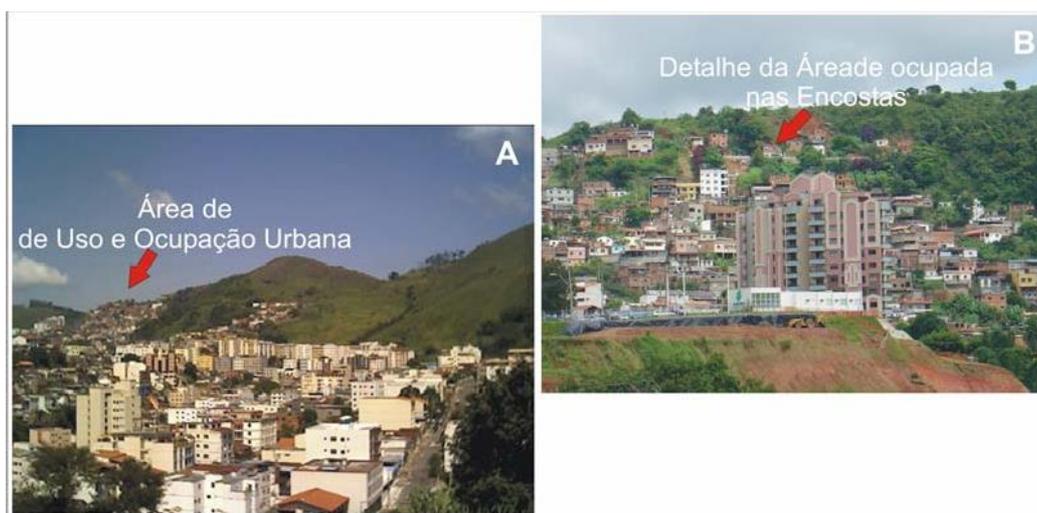


Figura 13: A fotografia A mostra parte do vale central com ocupação urbana e suas extensões em direção às áreas com maior ângulo de encosta. A fotografia B detalha uma parte da encosta representada na fotografia A, onde a ocupação urbana ganha densidade em áreas de declividade inadequada para tal tipo de ocupação.



Figura 14: Cobertura aerofotográfica da área da Bacia do Córrego Independência onde contrastamos ambientes urbanos dos não urbanos, como as pastagens e matas.

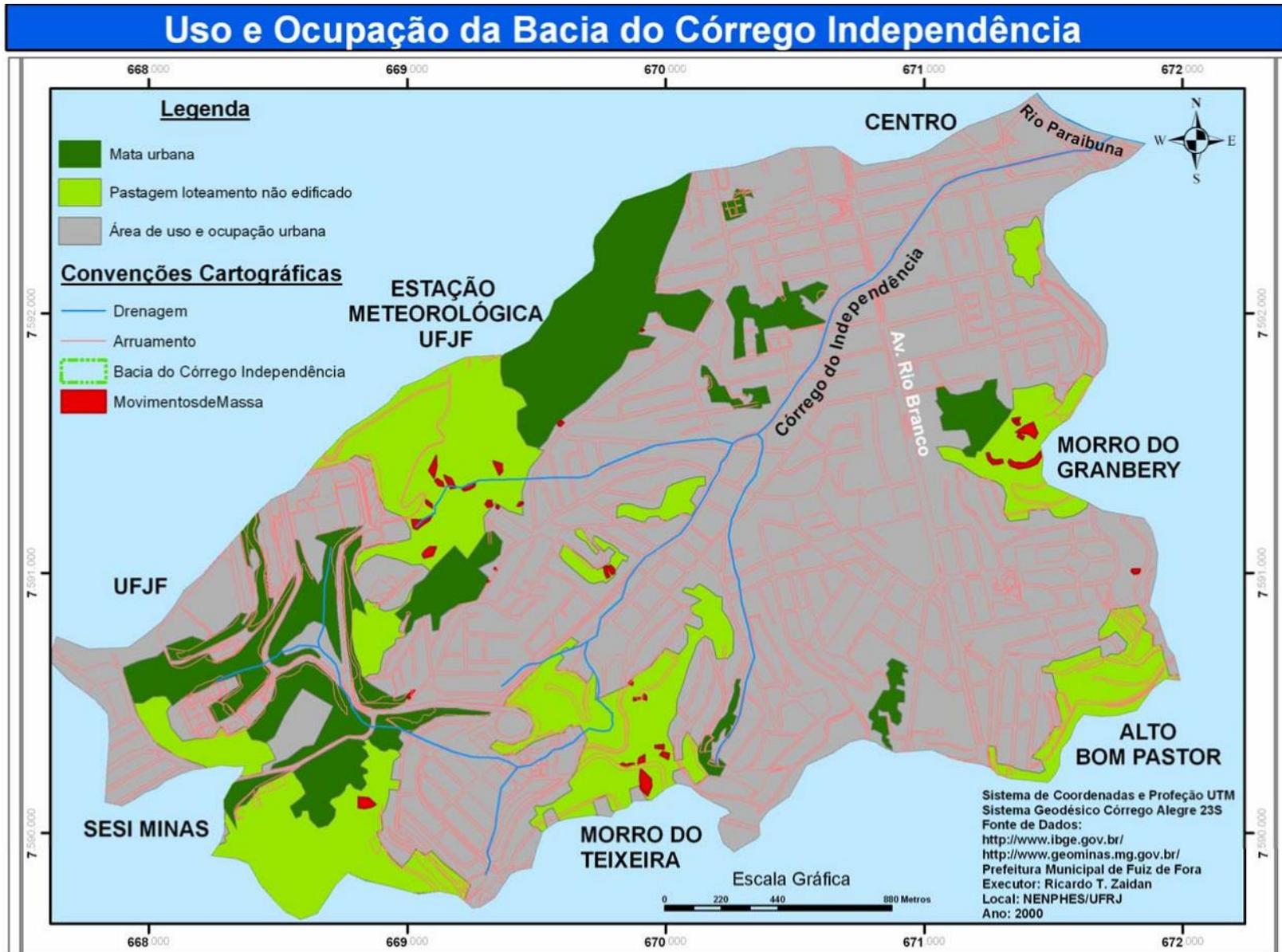


Figura 15: Mapa representativo das classes de uso e ocupação do solo da área da Bacia do Córrego Independência.

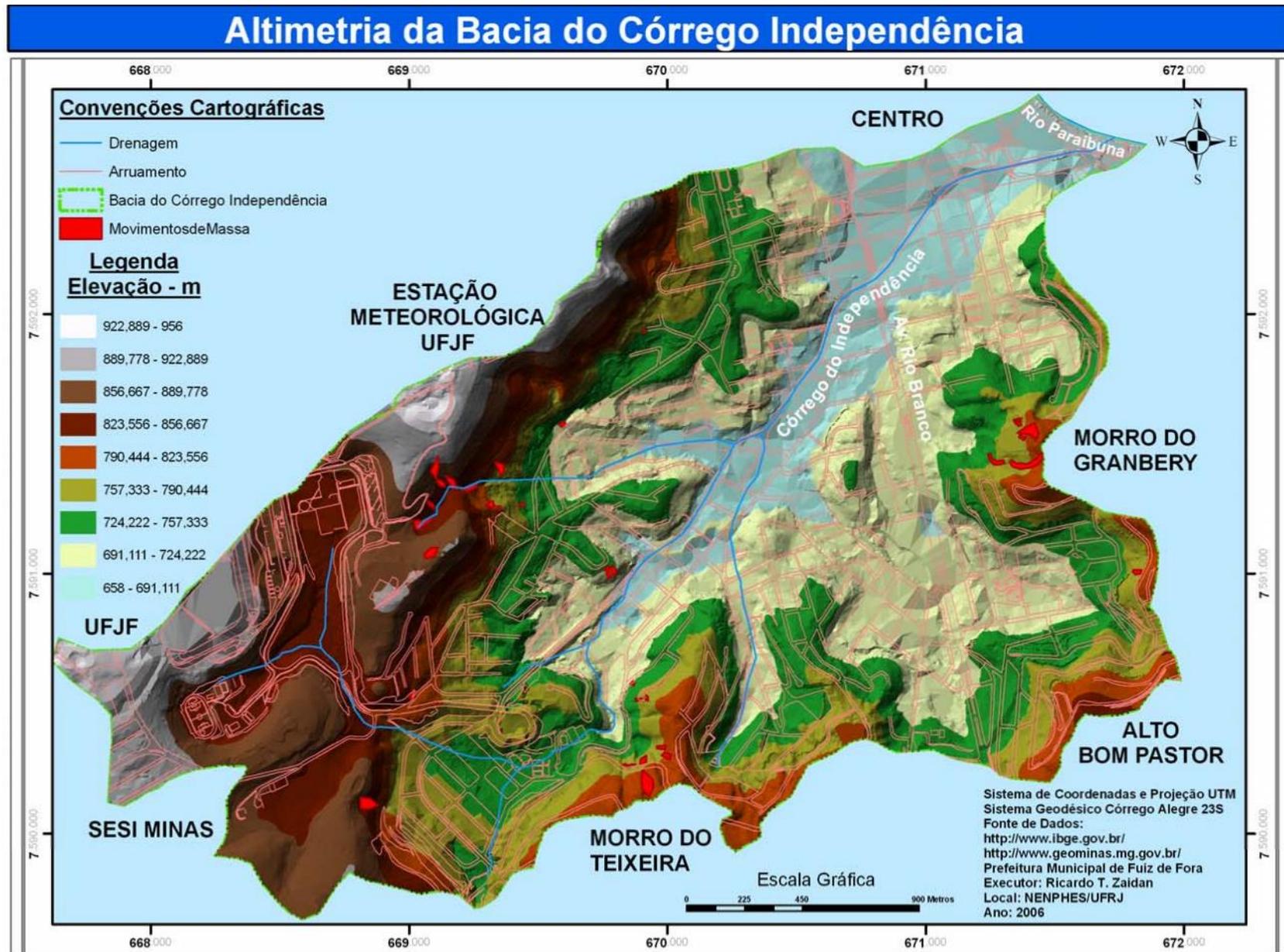


Figura 16: Mapa representativo do fatiamento de altitude na área da Bacia do Córrego Independência.

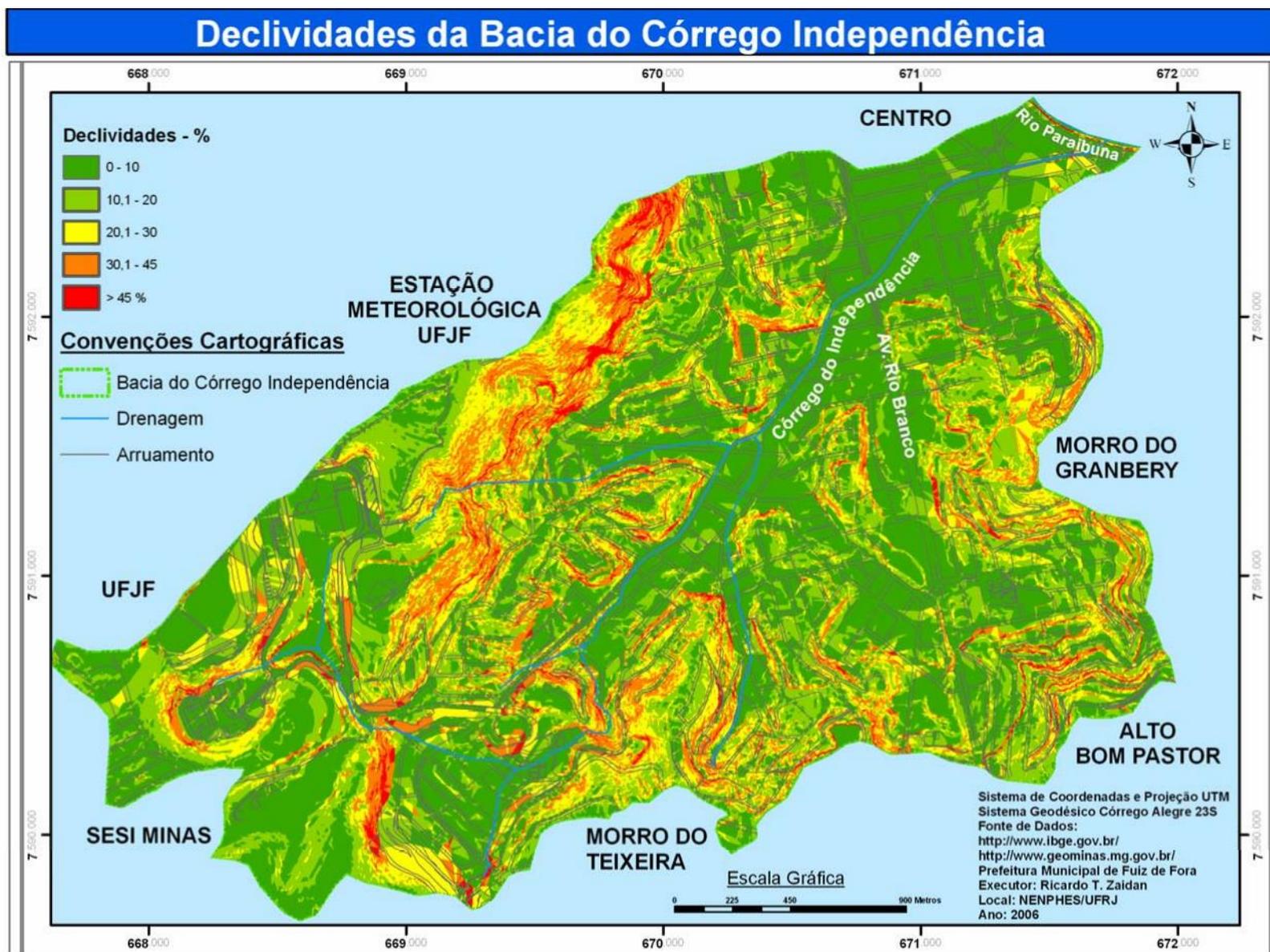


Figura 17: Mapa representativo das classes de Declividades encontradas na Bacia do Córrego Independência.

5.2.2 – Previsão de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos na Bacia do Córrego Independência

Este item aborda os resultados relativos ao Modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos nas encostas da Bacia do Córrego Independência em duas etapas. A primeira etapa constou da validação do modelo através da análise comparativa do mapeamento das cicatrizes de possíveis escorregamentos com o mapa de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos, gerado para a Bacia do Córrego Independência.

Embora o Modelo SHALSTAB seja utilizado para prever áreas susceptíveis a ocorrência de escorregamentos translacionais rasos em áreas onde estejam bem definidos planos de transição com forte diminuição do processo de infiltração, como transição solo rocha, tornamos a destacar que este modelo também tem pontos falhos, não sendo tão eficaz para aplicações em áreas de solos espessos, áreas com baixa declividade, afloramentos de rochas, e áreas escarpadas (GUIMARÃES, 2000). Partindo destes princípios, descartou-se nesta análise os resultados obtidos nas porções de topos e de vales, por não serem considerados precisos. Uma prova disto é o fato do modelo gerado para a Bacia do Córrego Independência ter apresentado classificações de incondicionalmente instável tanto em condições de saturação como de insaturação em áreas de topo e de vale reconhecidamente planas ou quase planas (Figura 18).

Figura 18: Mapa representativo da susceptibilidade a escorregamentos na Bacia do Córrego Independência, ressaltando as cicatrizes de escorregamentos pretéritos. Nota-se que a classificação tem destaque apenas nas morfologias de



Figura 17: Mapa representativo das classes de Declividades encontradas na Bacia do Córrego Independência.

encostas e para se facilitar as localizações foram traçadas as ruas em branco

Figura 19: Morro do Granbery (fotografia A) no centro da cidade, onde se encontram cicatrizes de possíveis escorregamentos seguidos de processo erosivo (fotografia B).

A porção sul compõe um conjunto de cicatrizes nas encostas do Morro do Teixeira. Caracterizam-se também por encostas de média altitude, de 700 a 850 metros, porém com geometria côncava em planta e em perfil apenas no local das cicatrizes. Os padrões de declividades também apresentam-se acima de 30%, com predominância acima de 45%. Corresponde a uma área, quanto ao uso, classificada como pastagem loteamento não edificado, porém com forte pressão de ocupação, sendo que em algumas vertentes já começam a surgir

5.2.2.1 – A Validação do Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis a Escorregamentos Aplicado na Bacia do Córrego Independência

O conjunto de cicatrizes mapeado na área da Bacia do Córrego Independência pode ser dividido em quatro porções de acordo com aglomerações bem distintas: a porção leste, a sul, a sudoeste e a noroeste da bacia.

A porção leste compõe um conjunto de cicatrizes nas encostas que circulam o Morro do Granbery. Caracterizam-se por encostas de média altitude, de 700 a 850 metros, com geometria predominantemente côncava em planta e em perfil, com declividades acima de 30%. Algumas das cicatrizes avançam pelo interflúvio de topo, mas isso se justifica por ser uma área, segundo o tipo de uso, pastagem loteamento não edificado, apresentando-se bem erodida e degradada, sem indícios de obras de reparação (Figura 19i). Em relação à classificação de susceptibilidade, a maioria apresenta-se como instáveis e saturadas com traços de incondicionalmente instáveis e saturadas com e sem saturação.



alguns loteamentos (Figura 20). Em relação à classificação de susceptibilidade aparecem apenas alguns pontos localizados como incondicionalmente instáveis com e sem saturação dentro da área das cicatrizes. Contudo, o local é reconhecidamente instável apresentando além das cicatrizes, registros pretéritos de alguns escorregamentos (Figura 20).



Figura 20: Ambas fotografias nos mostram detalhes de cicatrizes no Morro do Teixeira, porção sul da bacia. A fotografia A mostra uma cicatriz acima de uma antiga praça de pedreira. A fotografia B nos mostra cicatrizes entre dois cortes de estradas.

A porção sudoeste possui apenas uma cicatriz na encosta que circula o bairro Cascatinha. Caracteriza-se por encostas acima de 800 metros de altitude com geometria predominantemente côncava em planta e em perfil, com declividades acima de 45%. Encontra-se em uma área, segundo o tipo de uso, de pastagem loteamento não edificado, e em relação à classificação de susceptibilidade são na maioria incondicionalmente instáveis com e sem saturação (Figura 21).



Figura 21: A fotografia A e B são referentes ao bairro Cascatinha e representam a mesma encosta, porém vistas por ângulos diferentes. Encosta de geometria côncava em perfil e planta, de solos rasos com alguns afloramentos, ambiente típico de escorregamentos rasos.

A porção noroeste compõe um conjunto de cicatrizes nas encostas do bairro Dom Bosco, a jusante da Estação Meteorológica da UFJF. Caracteriza-se por encostas acima de 800 metros, com geometria predominantemente côncava em planta e em perfil no local das cicatrizes, com declividades acima de 30% predominando áreas com mais de 45%. São características do tipo de uso, pastagem loteamento não edificado, apresentando algumas invasões e alto índice de queimadas durante o ano. Aparecem no local algumas obras de contenção e drenagem como reparação de longos processos erosivos após os escorregamentos (Figura 22). Em relação à classificação de susceptibilidade a maioria apresentou-se incondicionalmente instáveis com e sem saturação, apresentando dentre as demais áreas de cicatrizes, o maior índice de acerto de classificação instabilidade.



Figura 22: Fotografia representativa de uma área de cicatrizes nas encostas a montante do bairro Dom Bosco à jusante da estação meteorológica da UFJF.

5.2.2.2 – Análise do Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos Aplicado na Bacia do Córrego Independência

O zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos nas encostas da Bacia do Córrego Independência foi criado a partir da análise das classes de susceptibilidade apresentadas pelo modelo SHALSTAB demonstradas na Figura 18. Para simplificar o entendimento, criou-se três classes de susceptibilidade para a área das encostas da bacia, a partir do agrupamento das classes geradas pelo SHALSTAB, como definido no capítulo anterior. As classes são as seguintes: áreas estáveis, áreas de média instabilidade e áreas instáveis (Figura 23).

A classe de áreas estáveis caracteriza-se por compor cerca de 34% do total das encostas da bacia (Gráfico 2). Estão bem distribuídas pelas encostas, porém aparecem com maior frequência em alguns locais como é o caso das porções leste e nordeste, nas proximidades do Morro do Granbery. Outro local que é mais frequente é na porção sul nas proximidades do Morro do Teixeira, juntamente com a porção sudoeste, nas área da UFJF, onde predominam áreas mais estáveis da bacia. Nas demais áreas do mapa, como a encosta nortenoeste, que corresponde às proximidades da estação meteorológica e nas encostas da porção sudoeste, nas proximidades do SESI Minas, área que corresponde a parte do bairro Cascatinha, as áreas estáveis aparecem mais entremeadas a áreas instáveis, sendo mais frequentes nos terços inferiores das encostas.

Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos nas Encostas

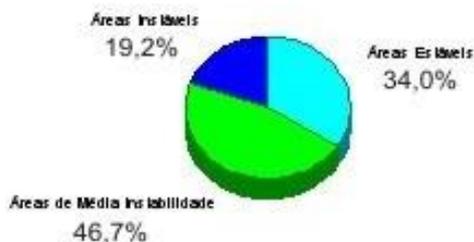


Gráfico 2: Percentual de ocorrência das classes do Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos nas Encostas da Bacia do Córrego Independência.

A classe de áreas de média instabilidade apresentou uma distribuição bem regular em quase toda a área das encostas da Bacia do Córrego Independência, caracterizando-se por cerca de 46,7% de toda a área da encosta da bacia (Gráfico 2). Possui menor regularidade no terço inferior da grande encosta que vai da porção norte a sudoeste da bacia, correspondendo às proximidades da estação meteorológica da UFJF, onde se encontra o bairro Dom Bosco. Apresenta-se bem freqüente no terço superior desta mesma encosta e de uma maneira geral, no restante de toda a área, com exceção das encostas próximas do SESI Minas, onde se encontra parte dos bairros Cascatinha e Teixeira, revelando através de sua distribuição um padrão de ocorrência sempre próximo das áreas classificadas como estáveis.

A classe de áreas instáveis apresentou-se em menor quantidade, caracterizando 19,2% das encostas da Bacia do Córrego Independência (Gráfico 2). Através da análise do mapa com o zoneamento de susceptibilidade nas encostas da bacia fica bem claro sua área de destaque através da encosta que vai do norte, passando pelo oeste e chegando ao sudoeste do mapa, passando pela estação meteorológica da UFJF até as proximidades do SESI Minas, com exceção da região da UFJF que não apresenta quantidade significativa de áreas com tal classificação. No restante do mapa elas aparecem com menor freqüência, pontualmente nas encostas do morro do Teixeira, passando pela porção sudeste do mapa onde se evidenciam um pouco mais, até a porção nordeste, nas proximidades do Morro do Granbery e Rio Paraibuna, onde também aparecem com menor freqüência.

Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos na Bacia do Córrego Independência

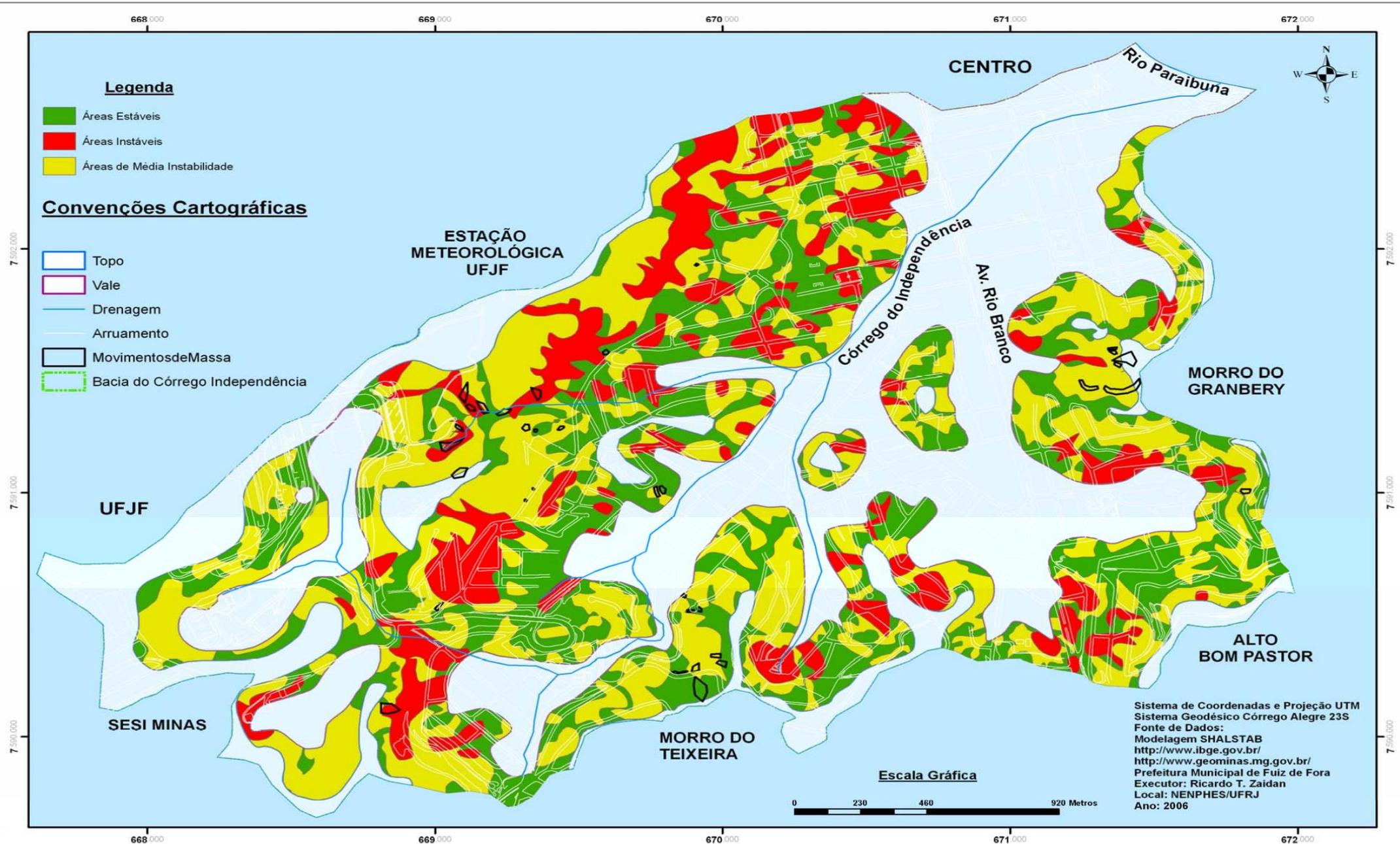


Figura 23: Representação do Mapa de Susceptibilidade a Escorregamentos nas Encostas da Bacia do Córrego Independência.

5.2.3 – Zoneamento de Risco Atual nas Encostas da Bacia do Córrego Independência

O Zoneamento de Risco Atual foi gerado a partir da utilização do Zoneamento de Susceptibilidade a Escorregamentos nas encostas da Bacia do Córrego Independência recortando-se a classe de uso e ocupação do solo “Área de Uso e Ocupação Urbana” apenas nas áreas das encostas da bacia. A partir das classes de instabilidade transcreveu-se as classes de risco somente mudando a nomenclatura e seguindo a mesma proporcionalidade de instabilidade para o risco (Figura 24). Sendo assim, são três as classes de risco: a classe de áreas de baixo risco, perfazendo 39,2% da área, a classe de médio risco, perfazendo 39,3% e a classe de alto risco, com 21,5% (Gráfico 3).

Zonas de Risco Atual

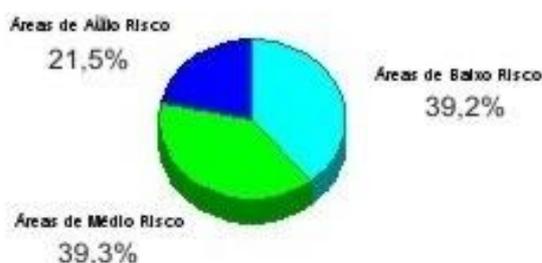


Gráfico 3: Percentual de ocorrência das classes do Zoneamento de Risco Atual nas Encostas da Bacia do Córrego Independência.

Zoneamento de Risco Atual na Bacia do Córrego Independência

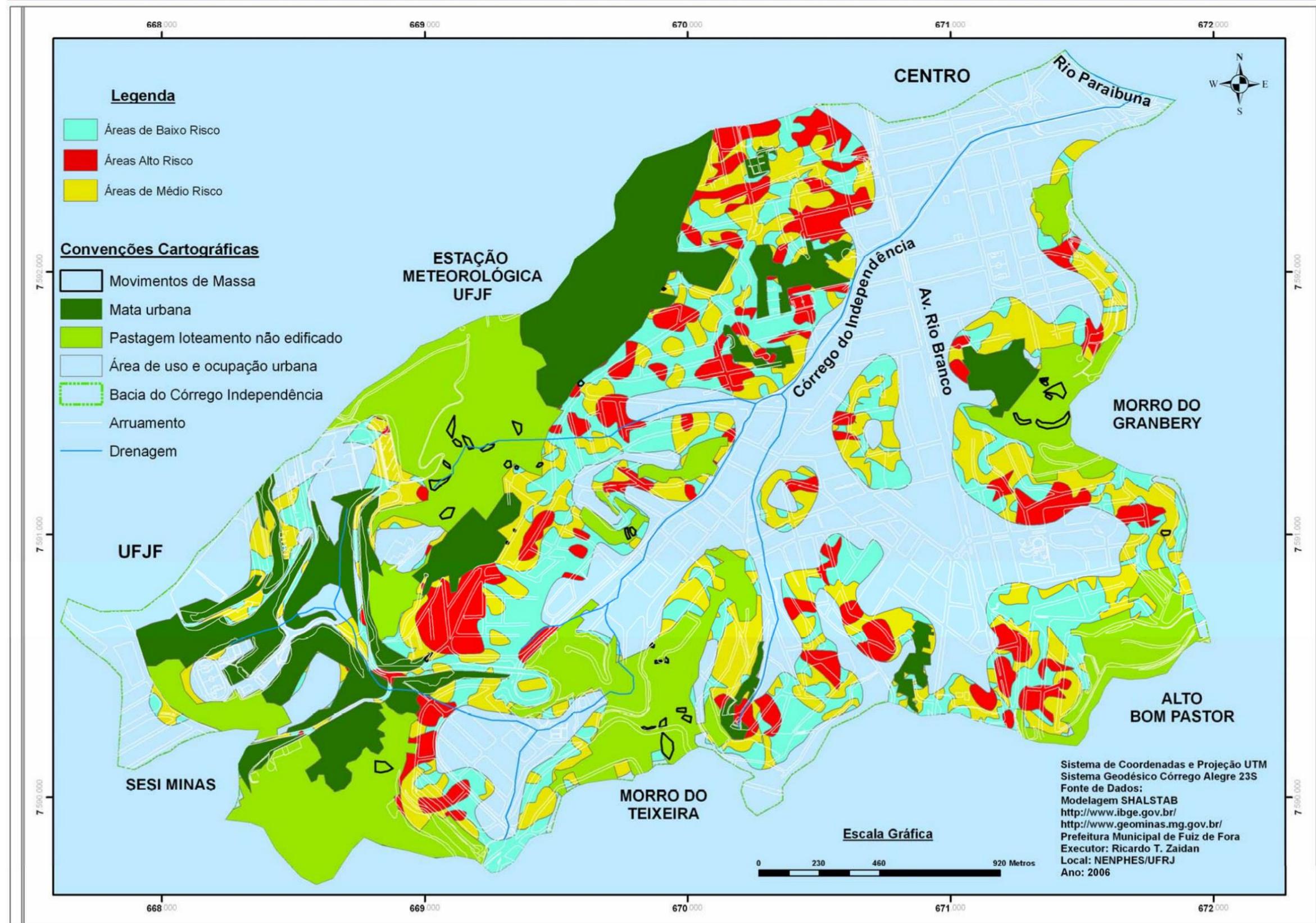


Figura 24: Representação do Mapa de Risco Atual nas Encostas da Bacia do Córrego Independência.

Através da análise do mapa de zoneamento de risco atual foram identificadas cinco áreas de risco com características próprias: a área do Morro do Granbery, se estendendo para a porção sul no Bairro Bom Pastor, o Morro do Teixeira e sua vertente para o Bairro Santa Cecília, as encostas do Bairro Cascatinha, a área da UFJF e a encosta da estação meteorológica da UFJF (Figura 24).

O Morro do Granbery até o Bairro Bom Pastor em si não se caracteriza como uma área de alto risco, pois não é totalmente habitado. Num geral são de baixo e médio risco, somente algumas de suas vertentes como a nordeste e a oeste do Morro do Granbery e o alto do Bom Pastor, porção sudeste do mapa, apresentam alto risco. Encontra-se instalado na vertente nordeste um loteamento de classe média alta, onde as edificações aparentemente possuem padrão técnico necessário para as características da área e na vertente oeste encontra-se o Hospital Santa Casa de Misericórdia, construído na área mais plana, ocupando a área de risco parte do estacionamento e galpões de uso diverso. No alto Bom Pastor encontram-se também casas de padrão classe média alta, porém em alguns locais existem edificações de mais de dois pavimentos, mas aparentam seguir normas técnicas adequadas para as edificações típicas do tipo de morfologia daquelas encostas (Figura 25).

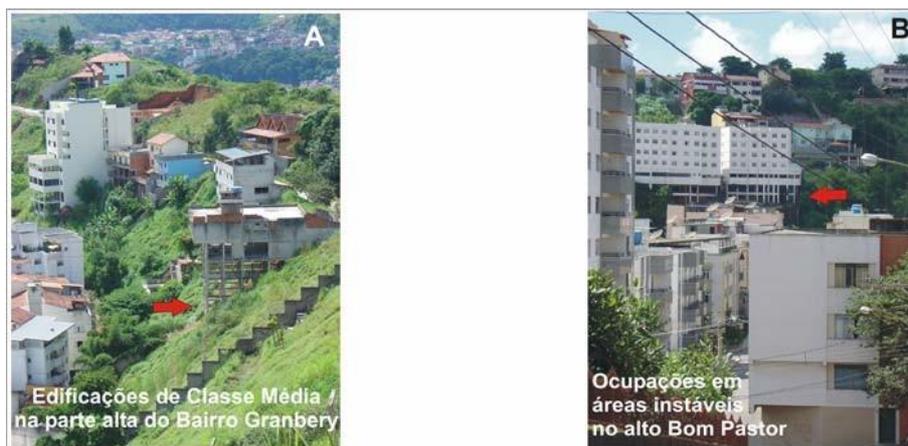


Figura 25: Áreas de ocupação inadequada onde se instalaram loteamentos de classe média no alto do bairro Granbery (fotografia A) e Bom Pastor (Fotografia B).

O Morro do Teixeira e Santa Cecília já se caracterizam por edificações de padrão econômico menos elevado. A vertente oeste, do bairro Teixeira, possui na sua maioria médio risco e as edificações seguem um

padrão de classe média com nível técnico aparentemente adequado para edificação na área em questão. A vertente leste, ou seja, a voltada para o bairro Santa Cecília já possui edificações de padrão econômico menos elevado, tipo classe média baixa a pobre, aparentando, em alguns casos, não seguir a exigência técnica adequada para o tipo de morfologia das encostas das áreas construídas (Figura 26).



Figura 26: Representação das áreas de risco do Bairro Teixeira com suas edificações de classe média (Fotografia A) e do Bairro Santa Cecília com edificações mais pobres (Fotografia B).

As encostas do bairro Cascatinha apresentaram na vertente do lado oeste mais de 35% de áreas de alto risco. Estas áreas caracterizam-se por ocupações residenciais de nível médio alto aparentando cumprir as exigências técnicas adequadas para a construção em tal tipo de encosta. Demais áreas caracterizam-se através de áreas de baixo a médio risco (Figura 27).



Figura 27: Representação da encosta oeste do bairro Cascatinha (Fotografia A) com um detalhe de uma área onde houve um escorregamento recente (Fotografia B).

A área da UFJF corresponde a uma parte da porção alta da cidade. É composta por uma parte do divisor de águas das bacias do Córrego Independência e do Córrego do São Pedro conferindo uma morfologia bem plana. Possui dois outros ambientes bem distintos do anterior, onde encontram-se duas grandes nascentes, dentre elas a nascente do Córrego do Independência. Tais áreas possuem morfologia bastante íngreme, porém coberta de vegetação arbórea, o que anula a presença do risco, devido a falta de ocupação humana. Estas características, aliadas a esparsa área ocupada explica a classificação de baixo a médio risco nas encostas da área (Figura 28).

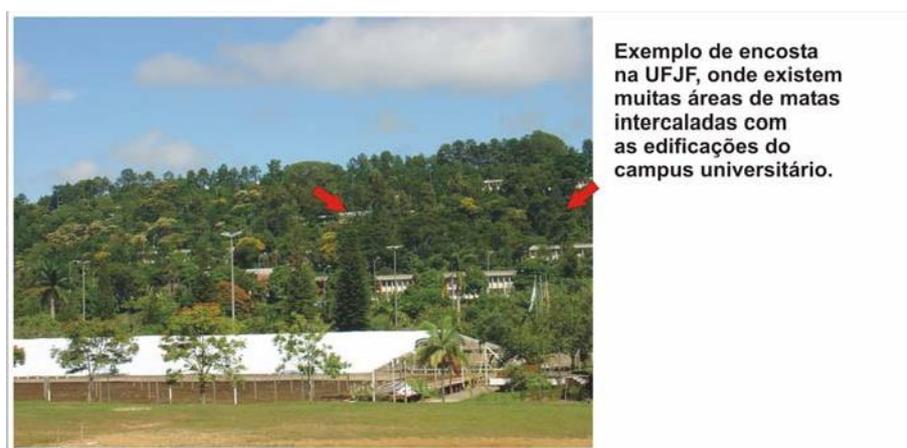


Figura 28: Representação de uma das encostas da UFJF onde as setas demonstram exemplos de áreas edificadas e áreas de matas.

O quinto ambiente que se distingue dos demais é composto pela porção ocupada da encosta que vai da porção norte, passa pela noroeste e chega na oeste do mapa. Situa-se a jusante da Estação Meteorológica e do campus da UFJF e pode-se afirmar que é a que apresenta o maior número de áreas de alto risco. Dentro desta mesma encosta distinguem-se dois ambientes. O primeiro localiza-se no extremo norte do mapa, onde aparecem com mais frequência áreas com classificação de alto risco. Esta é caracterizada por edificações de nível econômico mais elevado com lotes maiores e edificações que aparentemente seguem padrões técnicos para a morfologia específica do local. Apesar de apresentar alto risco, não se tem registro de nenhum escorregamento nos últimos anos. O segundo ambiente localiza-se no outro extremo desta encosta, aparecendo um menor número de áreas de alto risco. As edificações locais são de baixo nível econômico, típicas

de classe econômica pobre aparentemente demonstrando na maioria dos casos falta de adoção de critérios técnicos para construção naquele tipo de morfologia de encosta. Apesar de apresentar um menor número de áreas de alto risco, registra-se a ocorrência de alguns pequenos escorregamentos nos últimos anos (Figura 29).



Figura 29: Representação das áreas de risco da encosta que corta o mapa de risco de norte a sudoeste da bacia.

6 – CONCLUSÃO

6.1 – QUANTO A CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS NO MUNICÍPIO DE JUIZ DE FORA

A configuração de áreas críticas e degradadas caracterizando situações de risco atual tem se elevado com o aumento populacional, principalmente através das ocupações nas encostas mais íngremes das bacias de drenagem periféricas à calha do rio principal onde se encontra o centro comercial da cidade. Conclui-se que este fenômeno se dá devido à necessidade criada pela população de ocupar áreas periféricas e próximas a este centro comercial onde existe a maior parte dos empregos. Não que o município não possua áreas adequadas à expansão urbana, é que estas áreas, além de serem distantes, não se encontram servidas de infra-estrutura adequada com os mesmos padrões do centro da cidade. Devido a isso, conclui-se o porquê das ocupações nas áreas inadequadas, próximas do centro de trabalho local, onde há emprego.

6.2 – QUANTO AO USO E OCUPAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA

A Bacia do Córrego Independência caracteriza-se como uma bacia essencialmente urbana, periférica ao centro comercial do município, o que em parte explica o adensamento populacional, a ocupação das áreas menos adequadas do ponto de vista morfológico do relevo, exercendo uma pressão constante nas suas porções que ainda não foram ocupadas.

A classe Áreas de Uso e Ocupação Urbana caracteriza-se essencialmente residencial e comercial sem uso industrial e é a responsável pela forte pressão de ocupação e começa a avançar sobre as demais classes de uso. Constatou-se que as áreas mais degradadas correspondem às “Pastagens ou Loteamento não Edificados”, pois, registram a ocorrência de queimadas constantes, cortes de talude e ocupações muitas vezes por invasões, o que não ocorre seguido de infra-estrutura necessária, gerando mais impactos, como a retirada da cobertura vegetal, cortes de taludes, disposição inadequada deste material retirado da encosta, disposição

inadequada de resíduos sólidos nos seus arredores, criação de novos efluentes de esgoto a céu aberto, dentre outros inúmeros exemplos que ainda poderiam ser mencionados. As Matas Urbanas correspondem às áreas de mais difícil acesso ou de maior dificuldade de ocupação e também às antigas propriedades, como instituições religiosas e públicas, como bordas de cemitérios, hospitais e colégios. Constata-se também, que tem sofrido grande pressão de ocupação, não só de classes sociais desfavorecidas como das mais favorecidas economicamente. Porém, estas áreas que tem sofrido este tipo de ação constituem em sua maioria áreas públicas com elevado gradiente e destinadas à preservação, devido sua condição morfológica da encosta onde se encontra, podendo, independentemente da classe social que a venha ocupar, contribuir para o aparecimento de novas áreas críticas, desencadeando processos que possivelmente ocasionarão danos às áreas ocupadas a jusante. Quanto a este último fato, sugere-se estudos futuros relacionados à área de deposição de possíveis escorregamentos e a análise conjunta do mapeamento de uso e ocupação para a verificação de possíveis danos à população relativos ao material desagregado e sua área de deposição imediata.

6.3 – QUANTO A PREVISÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A ESCORREGAMENTOS NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA

Quanto à previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos na Bacia do Córrego Independência, o mapeamento de cicatrizes mostrou que as mesmas quase que não aparecem, em sua totalidade, em áreas de uso e ocupação urbana. Isto confirma a grande dinâmica ocupacional da bacia em questão onde o acelerado processo de ocupação nos últimos anos contribuiu para a alteração rápida da paisagem através da possível ocupação e alteração das áreas de antigos escorregamentos, camuflando a existência de registros pretéritos desses processos. Esta dinâmica também pode ser considerada como a explicação de outro problema, que foi a dificuldade de se classificar os tipos de movimentos de massa que geraram a maior parte das cicatrizes mapeadas, ainda mais que a maioria apresentou-se em estágio erosivo avançado e também já modificada por possíveis obras de remoção do entulho e reparo do dano provocado. Apesar disso e da dificuldade de se analisar o mapa de susceptibilidade de forma analógica, devido a não geração de

manchas homogêneas, o modelo de susceptibilidade gerado para a bacia, apresentou resultados satisfatórios quanto ao seu processo de validação constatando-se que na área de cada cicatriz, apareceram células instáveis ou incondicionalmente instáveis, podendo-se afirmar que houve 100% de acerto, em relação a ocorrência de pelo menos uma célula instável ou incondicionalmente instável dentro da área de cada cicatriz. Aponta-se que a área que apresentou maior acerto foi a da encosta a jusante da estação meteorológica.

Sugere-se que quanto ao método de validação, seja feito um inventário da classificação das células de susceptibilidade dentro da área de cada cicatriz para se verificar a proporção de instabilidade dentro de cada cicatriz. Além do mais, seria interessante testar modelos de generalização cartográfica nos mapas gerados pelo SHALSTAB, para se tentar eliminar impurezas ou ruídos, o que poderia melhorar os resultados para a futura análise analógica ou digital dos mapas.

6.4 – QUANTO AO ZONEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS APLICADO NA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA

Conclui-se que as áreas de encosta da bacia que possuem menor instabilidade correspondem às porções leste, sul e oeste, respectivamente o campus da UFJF, grande parte do Morro do Teixeira e boa parte do Morro do Granbery. Já as áreas de maior instabilidade destacam-se claramente através da encosta que vai da porção norte, passando pela oeste e chegando a sudoeste do mapa, passando a jusante da estação meteorológica da UFJF até as proximidades do SESI Minas alcançando uma parte das encostas do Morro do Teixeira, com exceção, é claro, da região da UFJF. Esta grande encosta corresponde ao grande lineamento constituído por um falhamento de direção nordeste-sudoeste mencionado em descrições do capítulo anterior.

6.5 – QUANTO AO ZONEAMENTO DE RISCO ATUAL NAS ENCOSTAS DA BACIA DO CÓRREGO INDEPENDÊNCIA

A área que se configurou menor risco foi o Morro do Granbery até o Bairro Bom Pastor, que em si não se caracteriza como uma área de alto risco, pois não são totalmente ocupadas.

O Morro do Teixeira, principalmente a vertente voltada para o bairro Santa Cecília, apresentou consideráveis áreas de alto risco, daí a necessidades de cuidados com a deflagração de escorregamentos, principalmente os que possam ser causados pela ação antrópica.

As encostas do bairro Cascatinha apresentaram poucas áreas de alto risco, mesmo assim a encosta oeste deve ter a devida atenção pelos órgãos responsáveis, pois, caso seja ocupada se transformará em uma possível área de risco.

A área da UFJF foi considerada de baixo a médio risco, devido a existência de muitas áreas sem ocupação, pois, as áreas susceptíveis estão classificadas como matas não entram no zoneamento de risco.

A área ocupada da encosta que vai da porção norte, passa pela noroeste e chega na porção oeste do mapa, a jusante da Estação Meteorológica e do campus da UFJF é a que se pode afirmar que é a de maior número de áreas de alto risco. Tal encosta merece total atenção das autoridades competentes, pois sofre sistemática pressão de urbanização que, caso venha a se concretizar resultará em um conjunto de áreas de alto risco.

Sugestão – análise conjunta das situações de susceptibilidade com a de risco, para a detecção das áreas susceptíveis a montante das áreas urbanas, pois os escorregamentos geram áreas de deposição a jusante, e isto não está previsto no zoneamento de risco atual. Tal estudo pode ser interessante para a criação de planos preventivos.

Como forma de finalizar, sugerimos alguns estudos futuros que possam servir de continuidade a este trabalho. Achamos de grande importância uma análise da legislação de uso e ocupação do solo com o uso e ocupação do solo atual para a verificação de ilegalidades. Outro aspecto interessante seria a análise da legislação de uso e ocupação do solo com o zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos para se verificar a eficácia da legislação e até mesmo a criação e proposição de futuras adequações da legislação para se inibir a ocupação dessas áreas críticas. Para finalizar, achamos também de grande importância a realização da análise da legislação de uso e ocupação do solo com o zoneamento de risco atual da área da Bacia do Córrego Independência para verificar se a legislação está sendo infringida ou se não contemplou as áreas de restrição de uso, para que sejam criadas proposições

como contribuição para futuras adequações da legislação de parcelamento, uso e ocupação do solo no perímetro urbano do Município de Juiz de Fora.

7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAMS, A. D., Ed. Hillslope Processes. The Binghamton Symposium in Geomorphology. v.16, 1986. 416 p. (The Binghamton Symposium in Geomorphology)

AGUIAR, V. T. B. Atlas geográfico escolar de Juiz de Fora. Juiz de Fora: Ed.UFJF, 2000. 46 p.

AHNERT, F. Introduction to Geomorphology. London: Arnold, 1998. 352 p.

AMARAL, C. Landslides Disasters Management in Rio de Janeiro. 2nd Pan- American Symposium on Landslides (II PSL) / 2ª Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas (2ª COBRAE), ABMS, ABGE e ISSMGE. Rio de Janeiro, Brazil 1997. 209-212 p. (2nd Pan- American Symposium on Landslides (II PSL) / 2ª Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas (2ª COBRAE), ABMS, ABGE e ISSMGE)

AMARAL, C. e FEIJÓ, R. L. Aspectos Ambientais dos Escorregamentos em Áreas Urbanas. In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (Ed.). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p.193-224.

AMARAL, C. e FURTADO, A. Large-scale quantitative landslide risk mapping at Favela da Formiga, Rio de Janeiro. In: LACERDA, W. A.; EHRlich, M.; FONTOURA, S. A. B. e SAYÃO, A. S. F. (Ed.). Landslides: Evaluation and stabilization. London: Taylor & Francis Group, 2004. p.293-296.

AMARAL, C. P. D. Analysis of Rio de Janeiro Landslide Inventory Data. 7 th International Symposium on Landslides. Trondheim, Norway 1996a. p. (7 th International Symposium on Landslides)

_____. Escorregamentos no Rio de Janeiro: Inventário, Condicionantes e Redução do Risco. (Doutorado). Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996b. 262p.

ANDERSON, M. G. e BURT, T. P. The role of topography in controlling throughflow generation. Earth Surface Processes and Landforms, v.3, 1978. p. 331- 344.

ANDERSON, M. G. e RICHARDS, K. S., Eds. Slope Stability. New York: John Wiley & Sons, 1987. 624p. p.

ARAUJO, G. H. D. S.; ALMEIDA, J. R. D. e GUERRA, A. J. T. Gestão Ambiental de Áreas Degradadas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320 p.

ARONOFF, S. Geographic Information Systems: a management perspective. Ottawa: WDL, 1991. 298 p.

AUGUSTO FILHO, O. e VIRGILI, J. C. Estabilidade de Taludes. In: OLIVEIRA, A. M. D. S. e BRITO, S. N. A. D. (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 2004. p.243-269.

AUGUSTO FILHO, O. e WOLLE, C. M. Cartas de Risco de Escorregamentos: Uma Proposta Metodológica e sua Aplicação no Município de IlhaBela, SP. Solos e Rochas. 19: 45-62 p. 1996.

BARATA, F. E. Landslides in the Tropical Region of Rio de Janeiro. 7th Int. Confer. on Soil Mech. and Found. Eng. Mexico 1969. 507-516 p. (7th Int. Confer. on Soil Mech. and Found. Eng.)

BEVEN, K. J. e KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Bulletin of Hydrological Sciences, v.24, n.1, 1979. p. 43-69.

BRASIL. Rio de Janeiro/Vitória. Brasília: Ministério das Minas e Energia - Secretaria Geral, v.32. 1983. (Projeto RADAMBRASIL - Levantamento de Recursos Naturais)

BRUNSDEN, D. e PRIOR, D. B., Eds. Slope Instability. Chichester: John Wiley, 1984. 602 p.

BURROUGH, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford: Oxford University Press, 1986.

_____. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford: Oxford University, 1990. 194 p.

BURROUGH, P. A. e MCDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A. S.; MAGALHÃES, G. C. e MEDEIROS, C. M. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. Campinas: Instituto de Computação - UNICAMP, 1996. 197p p.

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

CARRARA, A. Multivariate models for landslide hazard evaluation. Mathematical Geology, v.15, n.3, 1983. p. 403-426.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V. e REICHENBACH, P. Gis Techniques And Statistical Models In Evaluating Landslide Hazard. Earth Surface Processes And Landforms, v.16, n.5, Aug, 1991. p. 427-445.

CARSON, M. A. e KIRKBY, M. J. Hillslope form and process. Cambridge University Press, 1972. 475 p.

CARVALHO, E. T. D. e PRANDINI, F. L. Áreas Urbanas. In: OLIVEIRA, A. M. D. S. e BRITO, S. N. A. D. (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 1998. p.487- 497.

CASADEI, M.; DIETRICH, W. E. e MILLER, N. L. Testing a Model for Predicting the Timing and Location of Shallow Landslide Initiation in soil-mantled landscapes. Earth Surface Processes and Landforms, v.28, 2003. p. 925-950.

CASTELLANI, R. Avaliação por geoprocessamento de riscos ambientais em uma área pilogo nos limites do campus da UFJF - Juiz de Fora - MG. (Monografia de Graduação em Bacharelado). Departamento de Geociências, UFJF, Juiz de Fora, 2000. 70p.

CASTRO, F. D. V. F. D. Avaliação e percepção de riscos ambientais em área urbana sob a ótica do geoprocessamento e da pesquisa social: estudo de caso em área piloto em Juiz de Fora/MB. (Monografia de Especialização). Curso de Especialização em Geoprocessamento, UFMG, Belo Horizonte, 2002. 82p.

CERRI, L. E. D. S. e AMARAL, C. P. D. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, A. M. D. S. e BRITO, S. N. A. D. (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE, 2004. p.301-310.

CESAMA/PMJF. Levantamento Aerofotográfico do Perímetro Urbano de Juiz de Fora. 1ªed. Juiz de Fora: Foton Aerolevantamentos, 2000. (Resolução 40cm)

CHORLEY, R. e BECKINSALE, R. P. G. K. Gilbert's Geomorphology. In: YOCHELSON, E. L. (Ed.). The Scientific Ideas of G. K. Gilbert. Boulder, CO: Geological Society of America, v.Special Paper 183, 1984. p.129-142.

CHORLEY, R. J. e HAGGETT, P., Eds. Models in Geography. London: Methuen, 1967. p.

_____. Modelos Físicos e de Informação em Geografia. Rio de Janeiro: Livros Técnicos E Científicos, 1975.

CHORLEY, R. J. e HAGGETT, R. Modelos Integrados em Geografia. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1974a.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2ªed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 188 p.

CHRISTOFOLLETI, A. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236 p.

CLAESSENS, L.; HEUVELINK, G. B. M.; SCHOORL, J. M. e VELDKAMP, A. DEM resolution effects on shallow landslide hazard and soil redistribution modelling. Earth Surface Processes and Landforms, v.30, 2005. p. 461-477.

CLARK, M. J. e SMALL, J. J. Slopes and Weathering. Cambridge: Cambridge University Press, 1982. 112 p. (Cambridge Topics in Geography)

COELHO-NETO, A. L. Hidrologia de Encostas na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. D. (Ed.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 2ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p.93-148.

COELHO, M. C. N. Impactos Ambientais em Áreas Urbanas: teorias, conceitos e métodos de Pesquisa. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Ed.). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p.19-46.

COELHO NETTO, A. L. Surface hydrology and soil erosion in a tropical mountainous rainforest drainage basin, RJ. (Ph.D). Katholieke University Leuven, 1985

COELHO NETTO, A. L. e FERNANDES, N. F. Hillslope erosion, sedimentation, and relief inversion in SE Brazil: Bananal, SP. IAHS Publ., v.192, 1990. p. 174-182.

COELHO NETTO, A. L.; FERNANDES, N. F. e DEUS, C. E. Gullying in the Southeastern Brazilian Plateau, SP. IAHS Publ., v.174, 1988. p. 35-42.

CROZIER, M. J. Landslides; Causes, Consequences, and Environment. London: Croom Helm, 1986. 252 p.

CROZIER, M. J.; VAUGHAN, E. E. e TIPPET, J. M. Relative instability of colluvium filled bedrock depressions. Earth surface processes and landforms, v.15, 1990. p. 329- 339.

CRUDEN, D. M. Estimating the risks from landslides using historical data. In: CRUDEN, D. M. e FELL, R. (Ed.). Landslide Risk Assessment. Rotterdam: Balkema, 1997. p.177-184.

DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J. e CONACHER, A. J. An hypothetical nine unit landsurface model. Zeits. fur Geomorph. N. F. Bd., v.12, n.1, 1968. p. 60-76.

DIETRICH, W. E. e DUNNE, T. Sediment budget for a small catchment in mountainous terrain. v.29, 1978. p. 191-206.

_____. The Channel Head. In: BEVEN, K. e KIRKBY, M. J. (Ed.). Channel Network Hydrology. John Wiley & Sons, 1993.

DIETRICH, W. E. e MONTGOMERY, D. R. SHALSTAB: A Digital Terrain Model for Mapping Shallow Landslide Potential. National Council for Air and Stream Improvement. February 1, 1998, p.26. 1998

DIETRICH, W. E., REISS, R., HSU, M.-L., AND MONTGOMERY, D.R. A Process-Based Model for Colluvium Soil Depth and Shallow Landsliding Using Digital Elevation Data. Hydrol. Process., 9: 383-400 p. 1995.

DIETRICH, W. E.; WILSON, C. e RENEAU, S. Hollows, colluvium and landslides in soil-mantled landscapes. In: ABRAHAMS, A. D. (Ed.). Hillslope Processes. London: Allen & Unwin, 1986. p.361-388. (16th Annual Binghamton Symposium in Geomorphology)

DIETRICH, W. E.; WILSON, C. T.; MONTGOMERY, D. R.; MCKEAN, J. e BAUER, R. Erosion thresholds and land surface morphology. Geology, v.20, 1992. p. 675-679.

DIETRICH, W. E., WILSON, C. J., MONTGOMERY, D. R., AND MCKEAN, J. Analysis of Erosion Thresholds, Channel Networks, and Landscape Morphology using a Digital terrain Model. The Journal of Geology, v.101, n.2, 1993. p. 259-278.

DREW, D. Processos Interativos Homem Meio Ambiente. São Paulo: Difel, 1986. 206 p.

DUNNE, T. e BLACK, R. D. Partial Area Contributions to Storm Runoff in a Small New England Watershed. Water Resources Research, v.6, n.5, 1970. p. 1296-1311.

EMBRAFOTO. Restituição Aerofotogramétrica do Município de Juiz de Fora. Juiz de Fora: PMJF/IPPLAN, 1983. (1:2000)

FERNANDES, N. F. Hillslope Evolution By Diffusive Processes: The Problem of Equilibrium and the Effects of Climatic and Tectonic Changes. (Tese de Doutorado). University of California at Berkeley, 1994

_____. Modelagem Matemática em Geomorfologia: Potencialidades e Limitações. Sociedade e Natureza, v.15, 1996. p. 222-227.

FERNANDES, N. F. e AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Ed.). Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro 1996. p.123-194.

- FERNANDES, N. F.; COELHO NETTO, A. L. e LACERDA, W. A. Subsurface Hydrology of Layered Colluvium Mantles in Unchannelled Valleys - Southeastern Brazil. Earth Surface Processes and Landforms. 19: 609-626 p. 1994.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, F. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R. e GREENBERG, H. Condicionantes Geomorfológicas dos Deslizamentos nas Encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.2, n.1, 2001. p. 51-71.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARAES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R. e GREENBERG, H. Topographic controls of landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. CATENA, v.55, n.2, 2004. p. 163-181.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VCG-49CT5TM-2/2/0af136c4f538365e2f60a10b95d9971f>
- FIORILLO, C. A. P. Curso de Direito Ambiental Brasileiro. 5ªed. São Paulo: Saraiva, 2004. 428 p.
- FRANCIS, S. C. Slope development through the threshold slope concept. In: ANDERSON, M. G. e RICHARDS, K. S. (Ed.). Slope Stability. John Wiley & Sons, 1987. p.601-624.
- FRANCISCO, C. N. O Uso de Sistemas Geográficos de Informação (SGI) na Elaboração de Planos Diretores de Unidades de Conservação: uma aplicação no Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro. (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica/Engenharia, USP, São Paulo, 1995
- FREIRE, E. S. M. Movimentos Coletivos de Solos e Rochas e sua Moderna Sistemática. Construção - Rio de Janeiro, v.8, 1965. p. 10-18.
- FREITAS, N. C. Estudo dos Movimentos de um Colúvio no Sudeste Brasileiro. (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil/COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 2004. 106p.
- GAO, J. Identification of Topographic Settings Conducive to Landsliding from DEM in Nelson County, Virginia, U.S.A. Earth Surface Processes and Landforms, v.18, 1993. p. 579-591.
- GARCIA, R. A. C. e ZÉZERE, J. L. Abadia Basin - Torres Vedras, Portugal - a case study of landslide susceptibility assessment and validation. In: LACERDA, W. A.; EHRlich, M.; FONTOURA, S. A. B. e SAYÃO, A. S. F. (Ed.). Landslides: Evaluation and stabilization. London: Taylor & Francis Group, 2004. p.137-142.
- GOMES, R. A. T. Condicionantes Geomorfológicas e o Efeito da Escala Cartográfica na Previsão de Áreas Críticas a Deslizamentos. (Mestrado). Departamento de Geografia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2002. 109p.
- GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO-JÚNIOR, O. A. D. e FERNANDES, N. F. Análise da influência da escala cartográfica no resultado de um modelo de previsão de áreas críticas a deslizamentos. Ciência e Natura - UFSM, 2004. p. 269-286.
- GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JR., O. A. e FERNANDES, N. F. Análise de um modelo de previsão de deslizamentos (SHALSTAB) em diferentes

escalas cartográficas. Revista Solos e Rochas - ABGE/ABMS, v.28, n.1, Janeiro-Abril, 2005. p. 85-97.

GONÇALVES, L. F. H. e GUERRA, A. J. T. Movimentos de Massa na Cidade do Petrópolis - Rio de Janeiro. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. D. (Ed.). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand, 2001. p.189-252.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. In: GUERRA, A. J. T. e OLIVEIRA, S. B. D. (Ed.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 2ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p.149-210.

GUIDICINI, G. e NIEBLE, C. M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. 2ªed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

GUIMARÃES, R. F. A modelagem matemática na avaliação de áreas de risco a deslizamentos: o exemplo das bacias dos rios Quitite e Papagaio (RJ). (Doutorado). Depto de Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2000

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T. e JÚNIOR, O. A. D. C. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. Engineering Geology, v.2137, 2002. p. 1-10.

GUIMARÃES, R. F.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. M.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C. e FERNANDES, N. F. Aplicação do Modelo SHALSTAB para Determinação de Áreas de Risco a Escorregamentos Rasos em Regiões Tropicais. XIX Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Águas de São Pedro (SP): ABGE, 1999. p. (XIX Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia)

GUZZETTI, F.; CARRARA, A.; CARDINALI, M. e REICHENBACH, P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. Geomorphology, v.31, n.1-4, 1999. p. 181-216. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V93-3YSY1BF-T/2/1696b4d9c17d6ae12bc7a0017d654a02>

HARP, E. L. W., W. G. II; SARMIENTO, J. G. Pore pressure response during failure in soils. Geological Society of America Bulletin, v.102, n.April, 1990. p. 428-438.

HUGGETT, R. J. Earth Surface Systems. New York: Springer-Verlag, 1985. 270p. p.

HUTCHINSON, J. N. General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides. Lausanne: A. A. Balkema, 1988. 3-35 p. (Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides)

IBGE. Folha Eubank da Câmera. SF-23-X-C-VI-2. 1ªed. Brasília: Secretaria de Planejamento da República - Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia, 1976a. (1:50.000) (<http://www.ibge.gov.br/>)

_____. Folha Juiz de Fora. SF-23-X-D-IV-1. 1ªed. Brasília: Secretaria de Planejamento da República - Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia, 1976b. (1:50.000) (<http://www.ibge.gov.br/>)

_____. Folha Mar de Espanha. SF-23-X-D-IV-4. Brasília: Secretaria de Planejamento da República - Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia, 1976c. (1:50.000) (<http://www.ibge.gov.br/>)

_____. Folha Matias Barbosa. SF-23-X-D-IV-3. 1ªed. Brasília: Secretaria de Planejamento da República - Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia, 1976d. (1:50.000) (<http://www.ibge.gov.br/>)

_____. Folha Santa Bárbara do Monte Verde. SF-23-X-C-VI-4. 1ªed. Brasília: Secretaria de Planejamento da República - Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia, 1976e. (1:50.000) (<http://www.ibge.gov.br/>)

_____. Folha São João Nepomuceno. SF-23-X-D-IV-2. 1ªed. Brasília: Secretaria de Planejamento da República - Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia, 1976f. (1:50.000) (<http://www.ibge.gov.br/>)

INPE. LANDSAT7 - 217/75. São José dos Campos: LANDSAT7, 10/09/2001.

IPT. Ocupação de Encostas. São Paulo: IPT, v.1831. 1991. 216 p.

JAHN, A. **Denudacyjny Bilans Stoku**. Csas. Geogr., v.25, 1954. p. 38-64.

JATOBA, L. e LINS, R. C. Introdução à Geomorfologia. 3ªed. Recife: Bagaço, 2001. 160 p.

KELLER, E. A. Environmental Geology. 7thªed. Upper Saddle River, NJ: Prentice - Hall, 1996. 560 p.

KRUMBEIN, W. C. e GRAYBILL, F. A. An Introduction to Statistical Models in Geology. New York: McGraw Hill, 1965.

LACERDA, W. A. Stability of Natural Slopes Along the Tropical Coast of Brazil. In: ALMEIDA, M. (Ed.). Proceeding of the Internacional Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics. Brookfield, 1997. p.17-39.

LACERDA, W. A. e SANDRONI, S. Movimentos de massas coluviais. Mesa Redonda sobre Aspectos Geotécnicos de Encostas. Rio de Janeiro: Clube de Engenharia, 1985. 1-19 p. (*Mesa Redonda sobre Aspectos Geotécnicos de Encostas*)

LACERDA, W. A.; SANTOS JR, O. F. e EHRLICH, M. Efeitos das Variações de Poro-Pressão sobre a Estabilidade de Encostas em Solos Residuais. 2ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas

2nd Pan-American Symposium on Landslides. Rio de Janeiro 1997. 381-388 p. (2ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas

2nd Pan-American Symposium on Landslides)

LARSEN, M. C. e TORRES-SANCHEZ, A. J. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. Geomorphology, v.24, n.4, 1998. p. 309-331. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V93-3V5YTC3-19/2/85ad32bfc115f539a26de6b47e8b03c8>

LEE, S.; CHOI, J. e RYU, J.-H. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. In: LACERDA, W. A.; EHRLICH, M.;

_____. Folha Mar de Espanha. SF-23-X-D-IV-4. Brasília: Secretaria de Planejamento da República - Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia, 1976c. (1:50.000) (<http://www.ibge.gov.br/>)

_____. Folha Matias Barbosa. SF-23-X-D-IV-3. 1ªed. Brasília: Secretaria de Planejamento da República - Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia, 1976d. (1:50.000) (<http://www.ibge.gov.br/>)

_____. Folha Santa Bárbara do Monte Verde. SF-23-X-C-VI-4. 1ªed. Brasília: Secretaria de Planejamento da República - Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia, 1976e. (1:50.000) (<http://www.ibge.gov.br/>)

_____. Folha São João Nepomuceno. SF-23-X-D-IV-2. 1ªed. Brasília: Secretaria de Planejamento da República - Diretoria de Geodésia e Cartografia, Superintendência de Cartografia, 1976f. (1:50.000) (<http://www.ibge.gov.br/>)

INPE. LANDSAT7 - 217/75. São José dos Campos: LANDSAT7, 10/09/2001.

IPT. Ocupação de Encostas. São Paulo: IPT, v.1831. 1991. 216 p.

JAHN, A. **Denudacyjny Bilans Stoku**. Csas. Geogr., v.25, 1954. p. 38-64.

JATOBA, L. e LINS, R. C. Introdução à Geomorfologia. 3ªed. Recife: Bagaço, 2001. 160 p.

KELLER, E. A. Environmental Geology. 7thªed. Upper Saddle River, NJ: Prentice - Hall, 1996. 560 p.

KRUMBEIN, W. C. e GRAYBILL, F. A. An Introduction to Statistical Models in Geology. New York: McGraw Hill, 1965.

LACERDA, W. A. Stability of Natural Slopes Along the Tropical Coast of Brazil. In: ALMEIDA, M. (Ed.). Proceeding of the Internacional Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics. Brookfield, 1997. p.17-39.

LACERDA, W. A. e SANDRONI, S. Movimentos de massas coluviais. Mesa Redonda sobre Aspectos Geotécnicos de Encostas. Rio de Janeiro: Clube de Engenharia, 1985. 1-19 p. (*Mesa Redonda sobre Aspectos Geotécnicos de Encostas*)

LACERDA, W. A.; SANTOS JR, O. F. e EHRLICH, M. Efeitos das Variações de Poro-Pressão sobre a Estabilidade de Encostas em Solos Residuais. 2ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas

2nd Pan-American Symposium on Landslides. Rio de Janeiro 1997. 381-388 p. (2ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas

2nd Pan-American Symposium on Landslides)

LARSEN, M. C. e TORRES-SANCHEZ, A. J. The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico. Geomorphology, v.24, n.4, 1998. p. 309-331. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V93-3V5YTC3-19/2/85ad32bfc115f539a26de6b47e8b03c8>

LEE, S.; CHOI, J. e RYU, J.-H. Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. In: LACERDA, W. A.; EHRLICH, M.;

FONTOURA, S. A. B. e SAYÃO, A. S. F. (Ed.). Landslides: Evaluation and stabilization. London: Taylor & Francis Group, 2004. p.85-90.

MARQUES, E. A. G.; CALIJURI, M. L.; ALEXANDRE, S. C.; PRADO, D. D.; PRADO, J. D. e LAMAS, A. Geological-geotechnical risk characterization of an urban area in Juiz de Fora (MG), Brazil. In: LACERDA, W. A.; EHRlich, M.; FONTOURA, S. A. B. e SAYÃO, A. S. F. (Ed.). Landslides: Evaluation and stabilization. London: Taylor & Francis Group, 2004. p.163-169.

MEDRONHO, R. A. Geoprocessamento e Saúde: uma nova abordagem do espaço no processo saúde-doença. Rio de Janeiro: FIOCRUZ/CICT/NECT, 1995. 135 p.

MILARÉ, É. Direito do Ambiente. 3ªed. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2004. 1024 p.

MONTGOMERY, D. R. Road Surface Drainage, Channel Initiation, and Slope Stability. Water Resources Research, v.30, n.6, 1994. p. 1925-1932.

MONTGOMERY, D. R. e DIETRICH, W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. Water Resources Research, v.30, n.4, 1994. p. 1153-1171.

MONTGOMERY, D. R.; WRIGHT, R. H. e BOOTH, T. Debris flow hazard mitigation for colluvium-filled swales. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, v.28, 1991. p. 303-323.

MOORE, I. D. O. L., E M .; BURCH, G. J. A Contour-Based Topographic Model for Hydrological and Ecological Applications. Earth Surface and Processes and Landforms. 13: 305-320 p. 1988.

MOREIRA, I. C. Avaliação das áreas de risco ambientais urbanos do vale do Quitite - Jacarepiguá- RJ. (monografia). Depto. de Geociências, UFRRJ, Rio de Janeiro, 1999. 49p.

MORGAN, R. P. C. Soil Erosion and Conservation. 2ªed. London: Longman, 1995.

MORGENSTERN, N. R. e SANGREY, D. A. Methods of Stability Analysis. In: SCHUSTER, R. L. e KRIZEK, R. J. (Ed.). Landslides: Analysis and Controls. Washington D.C.: NAS-NRC, 1978. p.155-171.

MUKAI, T. Direito Ambiental Sistematizado. 4ªed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2004. 214 p.

O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchments by Topographic Analysis. Water Resources Research. 22: 794-804 p. 1986.

PARSONS, A. J. Hillslope Form. London: Routledge, 1988. 212 p.

PEDROSA, M. G. A.; SOARES, M. M. e LACERDA, W. A. Mechanism of movement in colluvial slopes in Rio de Janeiro. V International Symposium on Landslides,. Lausanne, Suisse 1988. 1211-1216 p. (V International Symposium on Landslides,)

PENHA, H. M. Processos Endógenos na Formação do Relevo. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. D. (Ed.). Geomorfologia: atualização de bases e conceitos. 2ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p.51-92.

PMJF. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora. Juiz de Fora: PMJF, v.2. 1999. 285 p.

_____. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora. Juiz de Fora: Prefeitura Municipal de Juiz de Fora - FUNALFA Edições, 2004. 394 p.

PRESS, F. e SIEVER, R. Understanding Earth. 3ªed. New York: W. H. Freeman and Company, 2000. 573 p.

RABACO, L. M. L. Avaliação de Modelos de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa numa Faixa de Dutos. (Mestrado). Engenharia de Computação / Geomática, FEN/UERJ, Rio de Janeiro, 2005. 162p.

RAFAELLI, S. G.; MONTGOMERY, D. R. e GREENBERG, H. M. A comparison of thematic mapping of erosional intensity to GIS-driven process models in an Andean drainage basin. Jornal of Hydrology, v.244, 2001. p. 33-42.

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. e CARVALHO FILHO, O. A. Aplicação do modelo shalstab, em ambiente arcview para o mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos na região do Quadrilátero Ferrífero - MG. Espaço e Geografia, v.5, n.1, 2002. p. 49-57.

RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; JÚNIOR, O. A. D. C.; FERNANDES, N. F. e GOMES, R. A. T. Avaliação de Metodologias de Determinação do Cálculo de Áreas de Contribuição. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.4, n.1, Agos.,2003, 2003. p. 41-50.

REDIVO, A. L.; RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; JÚNIOR, O. A. D. C. e GOMES, R. A. T. Determinação de áreas susceptíveis a escorregamentos na Br 256 no município de Ouro Preto - MG. Ciência e Natura - UFSM, 2004. p. 31-46.

RENEAU, S. L.; DIETRICH, W. E.; WILSON, C. J. e ROGER, J. D. Colluvial deposits and associated landslide in the northern San Francisco Bay area, California, USA. *IV Internatinal Symposium on Landslides, Toronto, Canada 1984*. 425-430 p. (*IV Internatinal Symposium on Landslides*.)

RENEAU, S. L., DIETRICH,W.E.,. Size and Locations of colluvial landslides in a steep forested landscape. *International Symposium on Erosion And Sedimentation in the Pacific Rim 1987*. 39-48 p. (*International Symposium on Erosion And Sedimentation in the Pacific Rim*)

RINCO, L. Alterações na dinâmica superficial da Microbacia de drenagem do ribeirão do Young em Juiz de Fora - MG. (Monografia de Graduação em Bacharelado). Departamento de Geociências, UFJF, Juiz de Fora, 2003. 130p.

ROCHA, G. C. Landslide risk mapping methodology applied to medium size urbanities in Brazil: case study of Juiz de Fora town, Minas Gerais state. In: LACERDA, W. A.; EHRLICH, M.; FONTOURA, S. A. B. e SAYÃO, A. S. F. (Ed.). Landslides: Evaluation and stabilization. London: Taylor & Francis Group, 2004. p.297-301.

SANTOS, M. R. G. Aplicação dos Métodos Fuzzy e Bayesiano para o Estudo de Instabilidade de Encostas no Município de Teresópolis - RJ. (Mestrado). Departamento de Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2000. 155p.

SANTOS, T. O.; SANTOS, E. O.; MENDES, D. e MARTINS, L. A. Urbanização e Alterações Microclimáticas: a questão de Juiz de Fora - MG. VI Simpósio Brasileiro de

Climatologia Geográfica - Diversidades Climáticas. Aracaju: UFS, 2004. 93 p. (VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica - Diversidades Climáticas)

SASSA, K. Geotechnical Classification of Landslides. Landslide News, v.3, 1989. p. 21-24.

SCHEIDEGGER, A. E. Physical Aspects of Natural Catastrophes. Amsterdam: Elsevier, 1975. 289 p.

SEELEY, M., WEST, D.O. Approach to geologic hazard zoning for regional planning, Inyo, National forest, California and Nevada. Bulletin of the Association of Engineerind and Geologists. 27: 23-35 p. 1990.

SELBY, M. J. Hillslope Materials and Processes. 2ªed. New York: Oxford University Press, 1993. 451 p.

SHARPE, C. F. S. Landslides and related phenomena: A study of mass-movements of soil and rock. New york: Columbia University Press, 1938. 137 p.

SIDLE, R. C.; PEARCE, A. J. e O'LOUGHLIN, C. L. Hillslope Stability and Land Use. Washington: American Geophysical Union, v.11. 1985. 141p. p. (Water Resources Monograph Series)

SILVA, A. D. B. Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas: UNICAMP, 2003. 240 p.

SMALL, R. J. The study of landforms. 2ªed. New York: Cambridge University Press, 1978. 502 p.

SOUZA, C. B. D.; NUNES, A. L. L. S. e LACERDA, W. A. Mapeamento de Áreas de Risco para Ocupação Urbana através de SIG. Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: III COBRAE, 2001. 261-269 p. (Conferência brasileira sobre estabilidade de encostas)

STAICO, J. A Bacia do Rio Paraibuna em Juiz de Fora: A Natureza. Juiz de Fora: Imprensa Universitária UFJF, 1977. 246 p.

TOMLINSON, R. F. The impact of the transition from analogue to digital cartographic representation. American Cartographer, v.15, 1988. p. 249-262.

TRICART, J. Précis de Géomorphologie. Paris: SEDES, v.2. 1977. 345 p.

TRICART, J. e CAILLEUX, A. Introducion à la Geomorphologie Climatique. Paris: Société d'Editions d'Enseignement Superiour, 1965.

TSUKAMOTO, Y.; OHTA, T. e NOGUCHI, H. Hydrological and geomorphological studies of debris slides on forested hillslopes in Japan. International Association of Hydrological Scientists Publication, v.137, 1982. p. 89-98.

VAN WESTEN, C. J. Geo-Information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments. In: LACERDA, W. A.; EHRLICH, M.; FONTOURA, S. A. B. e SAYÃO, A. S. F. (Ed.). Landslides: Evaluation and stabilization. London: Taylor & Francis Group, 2004. p.39-56.

VAN WESTEN, C. J.; VAN DUREN, I.; KRUSE, H. M. G. e TERLIEN, M. T. J. GISSIZ: training package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation. ITC Publication, Enschede, The Netherlands. 1993. (15)

VARGAS JR, E. A.; COSTA FILHO, L. M. e CAMPOS, T. M. P. Análise de infiltração em solos de encostas no Rio de Janeiro e sua conseqüência na estabilidade. 1 Conferência Brasileira sobre estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro 1992. 759-770 p. (1 Conferência Brasileira sobre estabilidade de Encostas)

VARGASJR, E.; OLIVEIRA, A. R. B. D.; FILHO, L. M. C. e CAMPOS, L. E. P. A Study of the Relationship Between the Stability of Slopes in Residual Soils and Rain Intensity. International Symposium on Environmental Geotechnology. U.S.A: Envo Publishing, 1986. 491-500 p. (International Symposium on Environmental Geotechnology)

VARNES, D. J. Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, R. L. e KRIZEK, R. J. (Ed.). Landslides. Analysis and Control. Washington: National Academy of Science, v. Transportation Research Board Special Report, 1978. p.11-33.

VIEIRA, A. C. F. Controles Morfológicos para a Iniciação de Canais em Encostas Naturais por Fluxos Superficiais: evidência de campo de modelagem. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Geografia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2002. 94p.

VIEIRA, B. C. e FERNANDES, N. F. Landslides in Rio de Janeiro: The Role Played by Variations in Soil Hydraulic Conductivity. Hydrological Processes, v.18, 2004. p. 791- 805.

WIECZOREK, G. F. Landslide investigation and mitigation. Transp. Res. Board

National Res. Coun., USA. p.76-90. 1996. (Spec. Rep. 247)

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

WOLLE, C. M. e HACHICH, W. Rain-induced landslides in southeastern Brazil. 12th Intern. Conf. on Soil Mech. and Foundation Eng. Rio de Janeiro: Balkema, 1989. 1639-1642 p. (12th Intern. Conf. on Soil Mech. and Foundation Eng.)

WU, W. e SIDLE, R. C. A distributed slope stability model for steep forested basins. Water Resources Research, v.31, n.8, 1995. p. 2097-2110.

XAVIER-DA-SILVA, J. Metodologia de Geoprocessamento. Revista de Pós-Graduação em Geografia-UFRJ, v.1, 1997. p. 25-34.

_____. Geoprocessamento para Análise Ambiental. Rio de Janeiro: sn, 2001. 228 p.

XAVIER-DA-SILVA, J. e CARVALHO-FILHO, L. M. Sistema de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. IV Conferência Latinoamericana sobre Sistemas de Informação Geográfica e II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo: EDUSP, 1993a. 609-628 p. (IV Conferência Latinoamericana sobre Sistemas de Informação Geográfica e II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento)

_____. Sistema de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. Análise Ambiental: Estratégias e ações - CEAD - UNESP, 1993b. p. 329-346.

XIE, M.; ESAKI, T.; MITANI, Y. e CAI, M. A 3-D deterministic approach for mapping landslide hazards using GIS. In: LACERDA, W. A.; EHRLICH, M.; FONTOURA, S. A. B. e SAYÃO, A. S. F. (Ed.). Landslides: Evaluation and stabilization. London: Taylor & Francis Group, 2004. p.97-102.

ZAIDAN, R. T.; MACIEL, D. M. G.; MARTINS, L. A. e ROCHA, G. C. Distribuição anual das chuvas no século passado - uma contribuição para o planejamento urbano de Juiz de Fora - MG. XI Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ. Seropédica-RJ: Editora Universidade Rural, 2001. 259-264 p. (XI Jornada de Iniciação Científica da UFRRJ)

ZÊZERE, J. L.; RODRIGUES, M. L.; REIS, E.; GARCIA, R.; OLIVEIRA, S.; VIEIRA, G. e FERREIRA, A. B. Spatial and temporal data management for the probabilistic landslide hazard assessment considering landslide typology. In: LACERDA, W. A.; EHRLICH, M.; FONTOURA, S. A. B. e SAYÃO, A. S. F. (Ed.). Landslides: Evaluation and stabilization. London: Taylor & Francis Group, 2004. p.117-123.

$\rho s \cdot g \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \text{sen } \theta$

