

4. Resultados e Discussão

De acordo com os objetivos estabelecidos e a metodologia aplicada foram extraídas a partir do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT) construído as seguintes informações: Aspecto das Encostas, Declividades, Formas e Drenagem. Os dados obtidos a partir deste mapeamento foram utilizados para a qualificação dos polígonos de classe de cobertura “movimentos de massa”. Tais informações foram agregadas as tabelas de dados associadas dos polígonos “Movimentos de Massa”. Para qualificação de cobertura pretérita foi utilizada a classificação de cobertura das imagens Ikonos de 2009 e as informações sobre a ordem dos solos e dos materiais envolvidos foram extraídas do banco de dados geotécnicos PEDOGEO.

Com o intuito de sistematizar os dados gerados este item analisa os resultados obtidos de uma maneira geral do maciço da Tijuca utilizando a escala de 1:75.000. Posteriormente os resultados serão divididos entre as informações que qualificam a classe “Movimento de Massa” e será utilizado o recurso de *zoom* para observar e analisar os resultados a partir da escala cartográfica de 1:5.000. Foi definida esta escala por ser a maior escala permitida a ser utilizada nos mapeamentos derivados do MDT e do georreferenciamento considerando o Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

O maciço da Tijuca é entendido como um centro dispensor de águas dividido em três grandes Sub-Sistemas Hidrográficos proposto por SMAC (2000a), a saber: Sub-Sistema Hidrográfico da Baía de Guanabara (SSHBG), Sub-Sistema Hidrográfico da Biaxada de Jacarepaguá (SSHBJ) e Sub-Sistema Hidrográfico da Zona Sul (SSHZS) (figura 45).

A maior parte dos movimentos de massa registrados a partir das imagens Ikonos 2010 ocorreu no SSHBG com 103 ocorrências, no SSHZS foram registradas 17 ocorrências e 12 ocorrências no SSHBJ (figura 44). Acredita-se que este resultado obtido a partir foto-interpretação pode ter sido influenciado pela orientação das encostas. No caso do maciço da Tijuca as encostas voltadas para o Norte recebem maior incidência de luz solar durante o ano. Este aspecto tem

influência direta no resultado, pois a projeção de sombras nas encostas voltadas para Sul por vezes oculta as cicatrizes de movimento de massa, não importando sua área como será demonstrado mais a frente.

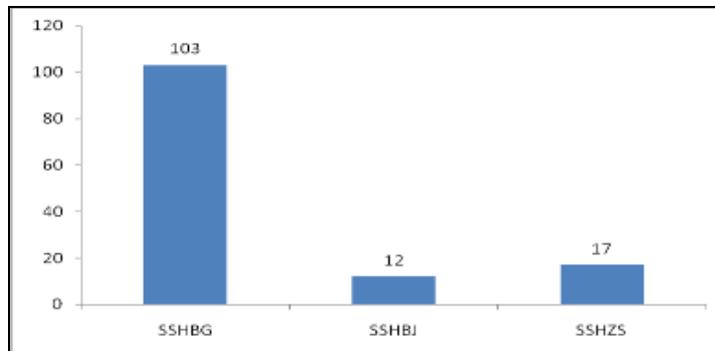


Figura 44: Movimentos de Massa por Sub-Sistemas hidrográficos.

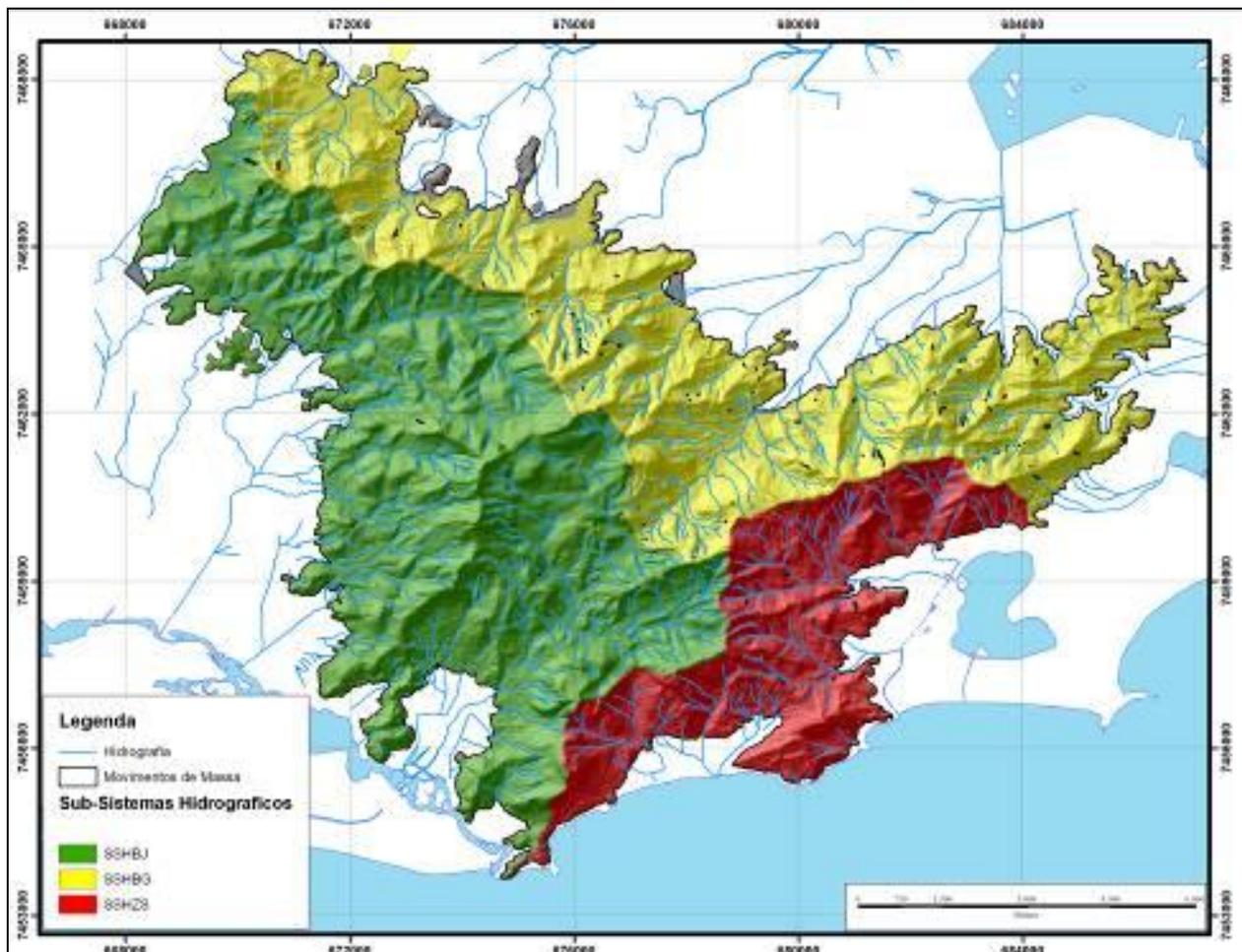


Figura 45: Sub-sistemas hidrográficos do maciço da Tijuca.
Fonte: NIMA/PUC, GEOHECO/UFRJ & IPP/RJ).

Ao se dividir os Sub-Sistemas Hidrográficos nas 13 bacias propostas pelo Instituto Pereira Passos, a saber: Acari, Arroio Fundo/Rio Grande, Botafogo, Cachoeira, Carioca, Centro, Canal do Cunha, Canal do Mangue, Rio da Barra, Rio das Pedras, Rodrigo de Freitas e São Conrado, observar-se que a bacia de drenagem que apresentou o maior número de ocorrências foi a bacia do Canal do Mangue, localizada no SSHBG com 64 ocorrências, sendo Rio da Barra e Arroio Fundo e Cachoeira com menor incidência, apenas 1 movimento de massa (Figura 46).

A bacia do Canal do Mangue é a que apresenta a maior área com 2238,65 hectares e foram mapeadas cicatrizes de movimentos de massa dos mais variados tamanhos desde muito grandes como a localizada no Sumaré, com área de 6.825 m² até pequenos com área menor que 30 m² em áreas de implantação de reflorestamento pela prefeitura.

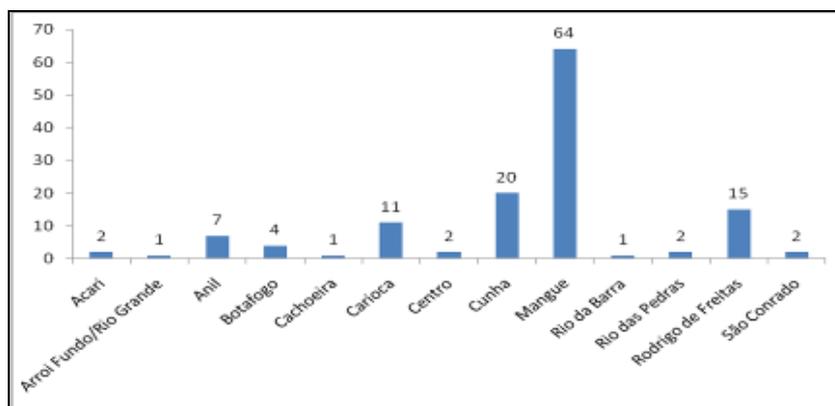


Figura 46: Distribuição por bacias hidrográficas dos movimentos de massa ocorridos em Abril de 2010 no maciço da Tijuca.

Dentre as limitações encontradas no uso das imagens de satélite pode ser destacada a sombra como limitador na extração das informações espaciais. Quando analisa-se entre duas classes de orientação das encostas (norte e sul) esta diferença de valores fica evidente, do total de 132 deslizamentos mapeados, 101 deslizamentos mapeados estão localizados nas encostas voltadas para Norte (76%) e 31 nas encostas voltadas para Sul (23,9%) (Figura 56). Coelho Netto et al (2011) também encontrou mais cicatrizes de movimentos de massa nas vertentes Norte do maciço da Tijuca, embora com uma diferença bem menos significativa de 50 cicatrizes de movimento de massa em encostas orientadas para Norte contra 49 em encostas orientadas para Sul (figura 50). O mapeamento realizado por Coelho Netto et al (*op cit*) foi realizado em campo com sobrevôos e expedições a campo, não tendo, portanto, a influencia da orientação da encosta para interpretação.

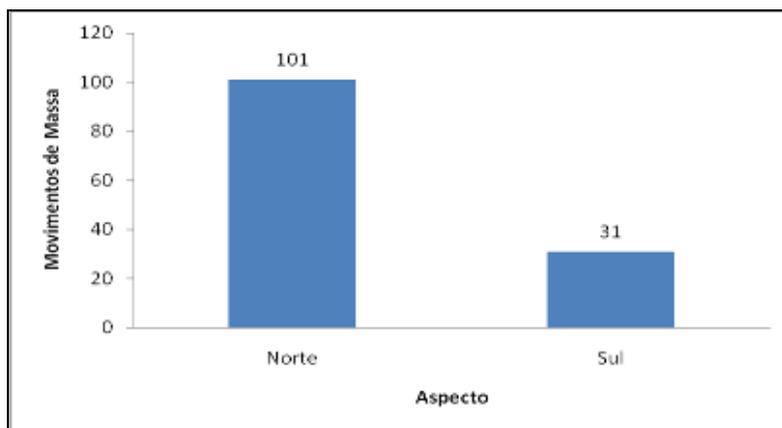


Figura 48: Número de movimentos de massa mapeados na imagem de satélite em relação a orientação das encostas do maciço da Tijuca.

Atestando para a importancia da orientação das encostas na obtenção de dados referentes as formas, tamanho e localização dos movimentos de massa podemos observar que mesmo localizado na vertente Sul do maciço da Tijuca, as cicatrizes de movimento de massa mapeados a partir das imagens Ikonos, estão em encostas orientadas para Norte.

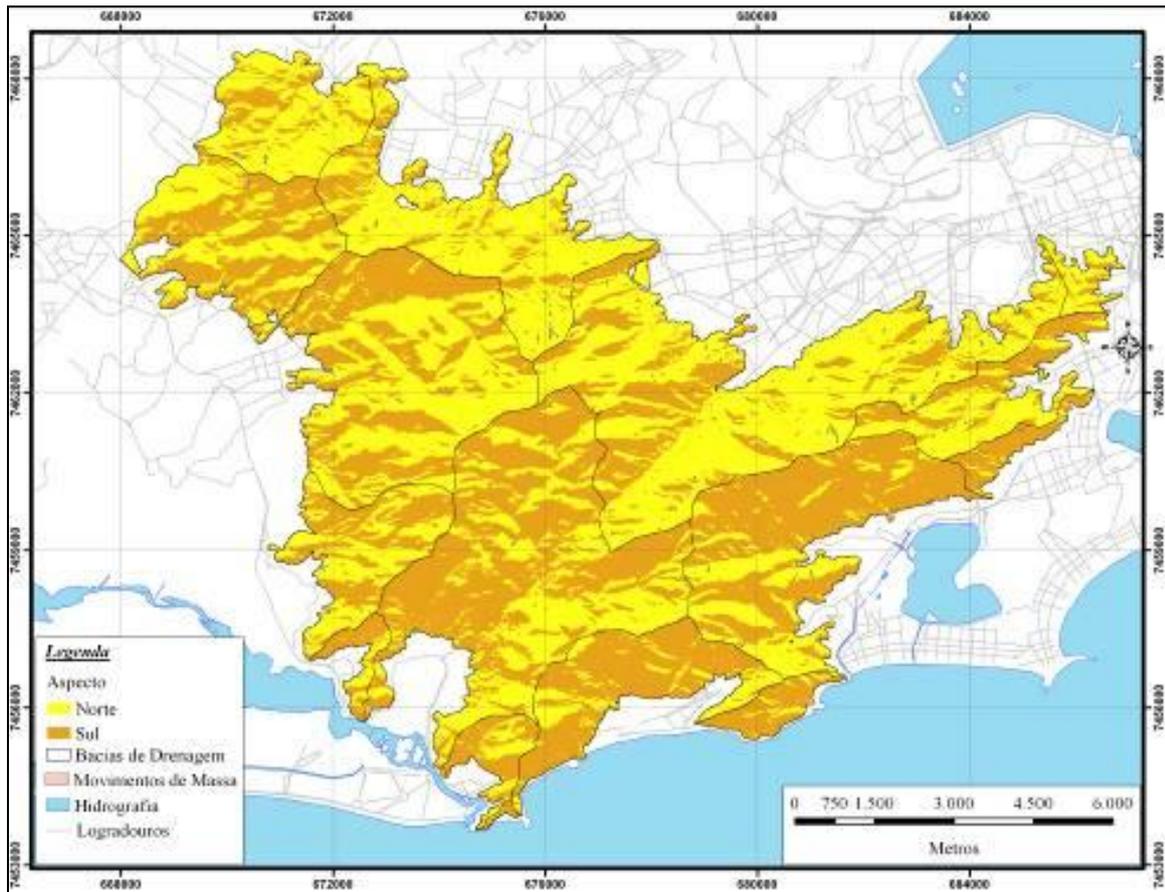


Figura 49: Aspecto das encostas do maciço da Tijuca e a distribuição espacial dos movimentos e massa ocorridos em Abril de 2010.

Fonte: NIMA/PUC & IPP/RJ.

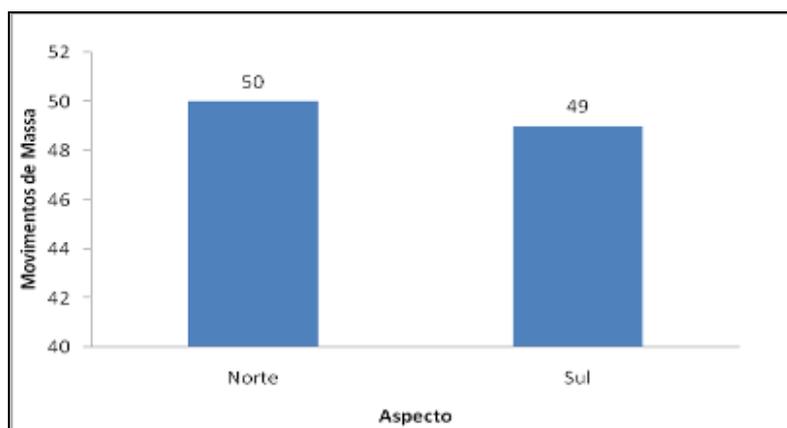


Figura 50: Cicatrizes mapeadas por Coelho Netto *et al* (2011, no prelo)

Ao confrontar estes resultados pode se considerar que a vertente Norte esta mais suscetível a ocorrência de movimentos de massa. No que se refere a foto-interpretação o resultados gerados nesta dissertação apontam para a maior incidência de luz solar e predominância da cobertura “Campo” que oferece menos obstáculos a interpretação visual.

Com o intuito de exemplificar esta limitação imposta pela orientação da encosta na investigação e mapeamento de movimentos de massa deve se observar a figura 51 que contém informações de cobertura do vale do rio Carioca derivadas do conjunto de imagens Ikonos de 2010. O conjunto de movimentos de massa (4) que ocorreram nas encostas sob a Rua Almirante Alexandrino e sobre a Rua Itamonte no Cosme Velho, embora de tamanhos significativos, não foram observados nas imagens de satélite. Este resultado atesta para a limitação imposta pela orientação da encosta e pela sombra projetada no período do ano em que ocorreu a captação das mesmas.

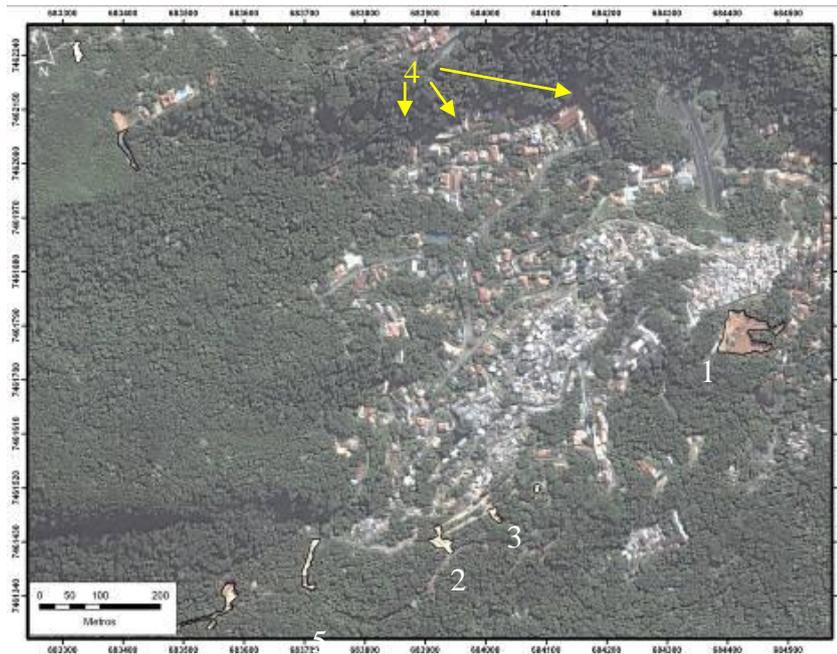


Figura 51: Imagem do vale do rio Carioca.

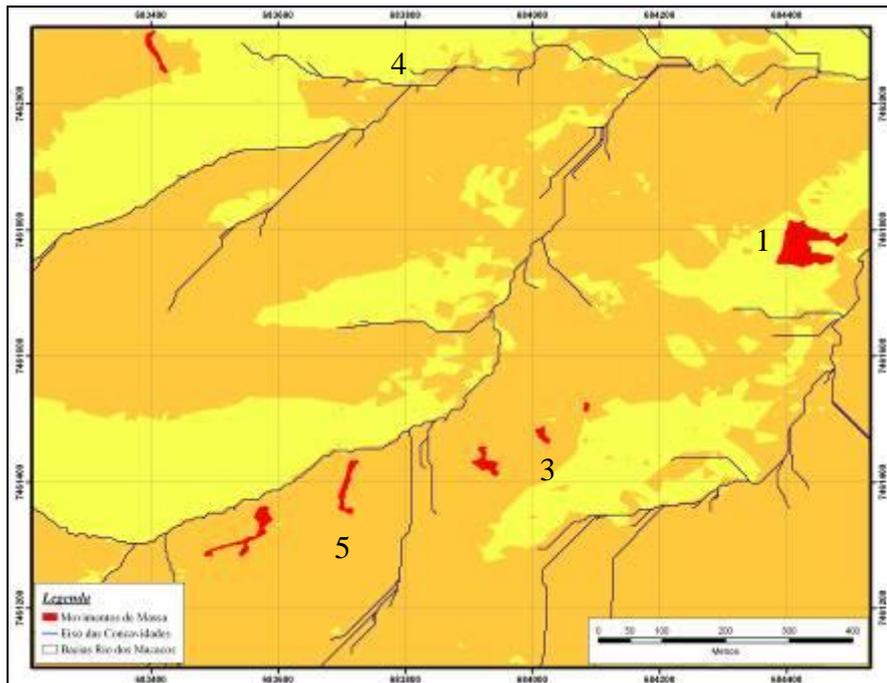


Figura 52: Mapa de Aspecto do Vale do rio da Carioca.

Como pode ser observado na figura 52 o movimento de massa 1 ocorreu abaixo de uma construção na encosta e nota-se uma forte correlação com a presença desta estrutura com o desencadeamento do movimento de massa. É possível observar também a construção de um muro que tenta conter o avanço da favela dos Guararapes em direção a esta construção “formal”. Porém a proximidade e condições semelhantes de declividade, solo e litologia estabelecem uma situação de risco para esta área densamente ocupada durante os eventos com volumes extremos de precipitação. Os movimentos de massa 2 e 3 tiveram seu ponto de ruptura no caminho antigo da estrada de ferro e bloqueou o acesso ao monumento do Cristo Redentor pelo Portal das Caboclas por mais de um mês. Pode se observar nas fotografias abaixo que os movimentos de massa que ocorreram no interior do PARNA Tijuca já sofreram intervenções para a contenção das encostas com a aplicação de biomantas e construção de mantas atirantadas.

Em 2008, no vale do rio Carioca houve um movimento de massa sobre a saída do túnel Rebouças que interrompeu a principal ligação entre a zona Norte e zona Sul. A toponímia “Mãe d’Água” em sua porção superior, onde localiza-se a antiga captação de águas da cidade imperial é bastante sugestiva. Os 6

movimentos de massa mapeados a partir da imagem, os 4 aferidos em campo e a recorrência deste processo erosivo no vale sugere uma encosta bastante vulnerável a este tipo de processo erosivo.



Figura 53 a, b e c: Fotografias oblíquas dos movimentos de massa localizados no Cosme Velho (1) e no Portal das Caboclas (2 e 3), observar nestas últimas as medidas de mitigação utilizadas.



Figura 54 a e b: Fotografias oblíquas dos movimentos de massa ocorridos no Cosme Velho e na “Mãe D’água”.

O movimento de massa ocorrido no pico do Carioca Mirim é bem representativo para perceber a influência da orientação das encostas na investigação e interpretação de movimentos de massa a partir de sensores remotos. Localizado no interior do PARNA Tijuca no Sub-Sistema Hidrográfico da Baía de Guanabara (SSHBG) esse movimento de massa teve seu ponto de ruptura em área de cobertura de “vegetação” e seguiu sua rota sobre afloramentos rochosos não sendo mais “visto” a partir deste ponto (figura 55). No entanto é importante observar que em campo sua corrida foi maior do que a representada na imagem.

A se observar a cicatriz do movimento de massa do pico do Carioca Mirim foi mapeada com 2.685 m² de área e 469 m de perímetro nas imagens de satélite.

Ao aplicar o índice de circularidade de bacias o valor resultante é de 0,18, ou seja, a cicatriz apresenta-se de forma alongada. A declividade do ponto de ruptura foi mapeada como 43° o que sugere que a variável que determinou a deflagração do movimento de massa foi a declividade. Sua forma alongada favorece a sucessão ecológica, que segundo Cruz (1999), ocorrem mais rápido nas bordas. Porém a exposição do substrato rochoso e a perda do banco criogênico e de boa parte do solo, associadas a declividade bastante acentuada da encosta, retarda a sucessão ecológica (MONTEZUMA, 2005).

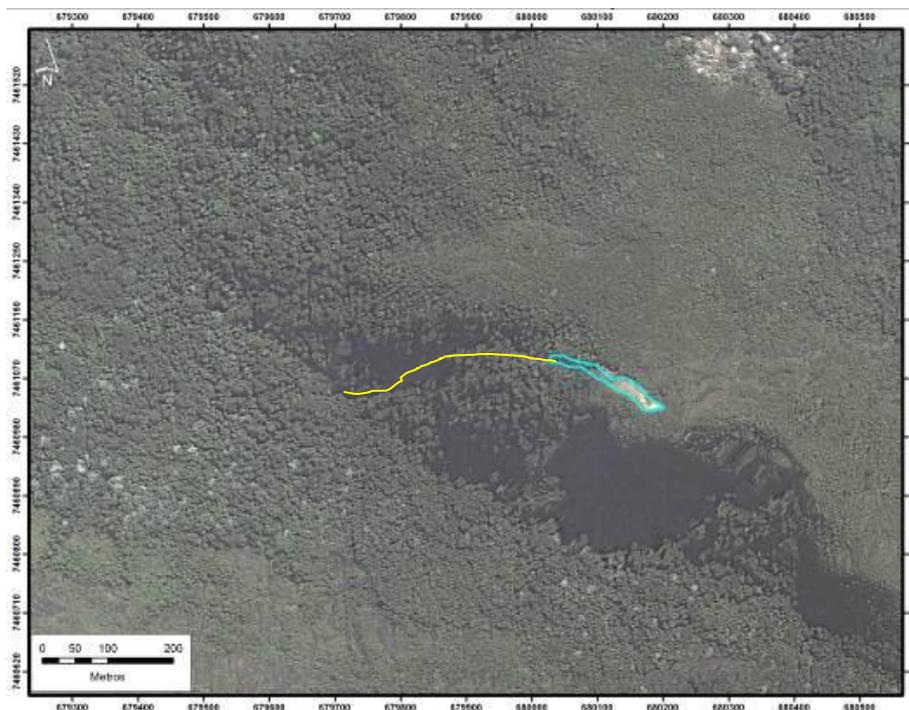


Figura 55: Mapeamento da classe Movimento de Massa a partir das imagens de satélite e seu prolongamento “ocultado” pela sombra.

Um fato interessante é observado a partir da foto oblíqua, captada durante o sobrevôo realizado em conjunto com a equipe do Parque Nacional da Tijuca, a porção superior desta cicatriz erosiva é percebida desde o ponto de ruptura até quando a encosta flexiona de Norte para Sul, quando desaparece sob a sombra projetada pela encosta. Embora o mapeamento das classes de cobertura aponte para a existência de floresta na rota a jusante do movimento de massa ao se avaliar

em campo percebe-se que o movimento de massa continuou em direção ao vale do rio Carioca Mirim, correu em direção ao eixo da concavidade do vale e se conectou a rede de drenagem o que aumenta significativamente seu potencial hidro-erosivo podendo ser considerado como uma corrida. observou-se em campo que houve perda significativa do solo e do banco de sementes, expondo o embasamento rochoso o que segundo Montezuma (2005) pode dificultar o processo de sucessão ecológica.

Esse resultado se torna relevante quanto a interpretação e mapeamento de movimentos de massa uma vez que se tem praticamente o dobro de área não mapeada em função da sombra

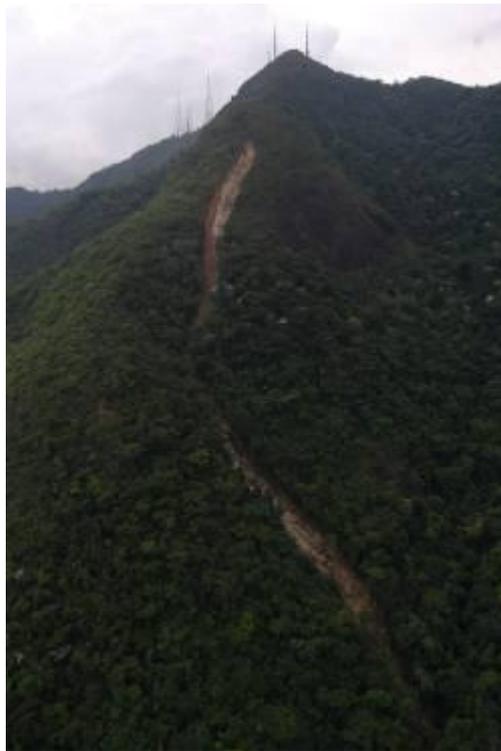


Figura 56: Movimento de massa ocorrido no Pico do Carioca Mirim.

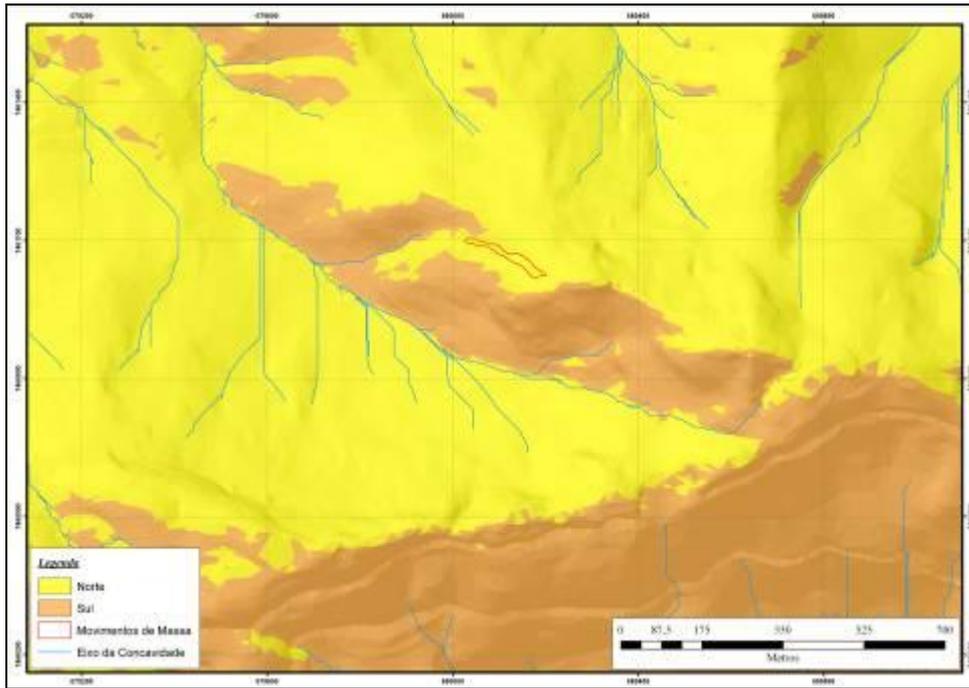


Figura 57: Aspecto das encostas no Pico do Carioca Mirim.

No intuito de ilustrar a influencia da orientação das encostas no mapeamento de cicatrizes de movimentos de massa no maciço da Tijuca podemos observar o caso dos movimentos de massa localizados na região do Sumaré. Esta é uma área que há décadas é utilizada como ponto de localização das antenas de comunicação pelas empresas de telecomunicações e é considerado pelo Plano de Manejo do PARNA Tijuca com “Área de Uso Conflitante”.

Devido à altitude e a proximidade com o mar esta região registra grande volume de precipitação que, associados às declividades acentuadas e ao uso irregular, contribui para a deflagração destes movimentos de massa. Como pode ser observado nas figuras abaixo os movimentos de massa 1 e 2 tiveram seu ponto de ruptura poucos metros a jusante das construções do Sumaré o que sugere uma possível correlação entre a presença destas estruturas e a potencialização do desencadeamento destes processos erosivos durante os eventos extremos de pluviosidade. O movimento de massa 2, inclusive, abalou algumas estruturas das fundações da antena da empresa SBT que precisou de reparos emergenciais. As figura 65 apresentam o movimento de massa 3 que embora de grandes proporções

não foi mapeado nas imagens de satélite em função de estar na vertente sul, no SSHZS o que favorece a projeção de sombra projetada sobre ele pelas encostas do Sumaré (Figura 58).



Figura 58: a,b,c e d: Movimentos de massa ocorridos nas encostas do Sumaré.

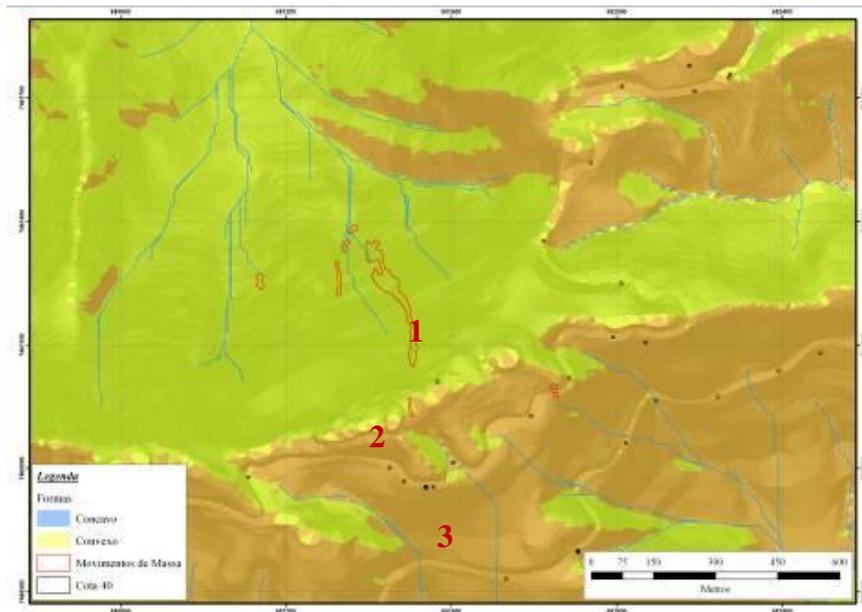


Figura 59: Mapa de Aspecto do Sumaré.

O mapa de aspecto (figura 59) da região do Sumaré, localizado na Serra da Carioca, evidencia a limitação imposta pela orientação das encostas na investigação dos movimentos de massa ao se confrontar os polígonos mapeados a partir das imagens de satélite com os pontos inferidos em campo. As encostas do SSHZ orientadas para Norte favorecem a visualização de cicatrizes erosivas como pode ser observado no mapa de aspecto (figura 60) da região do Laboriaux.

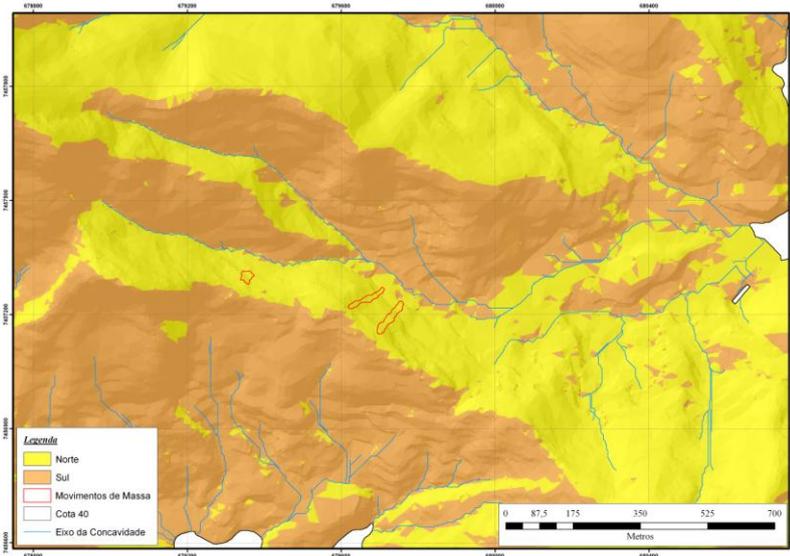


Figura 60: Mapa de Aspecto da região do Laboriaux



Figura 61: Cicatrizes dos movimentos de massa no Laboriaux

Estes são resultados que representam bem a complexidade que envolve o uso de imagens de satélite para estudos de movimentos de massa em relevos acidentados como o maciço da Tijuca e evidencia as limitações impostas pela orientação das encostas no mapeamento destas feições erosivas.

4.2. Declividade

A declividade (α) se apresenta como um fator relevante na análise e investigação de movimentos de massa uma vez que a relativa estabilidade das encostas resulta do equilíbrio entre as forças de coesão e atrito entre as partículas do solo, quando estas são suficientemente resistentes ao componente de cisalhamento mais a carga sobrejacente (Guimarães *et al*, 2008). A coesão (c') e o atrito (Φ) são propriedades inerentes dos materiais e constituem a sua resistência ao cisalhamento (τ) e podem ser entendidas pela fórmula abaixo. Entende-se que aumentando a declividade há uma diminuição na resistência ao cisalhamento. Porém no que se refere a foto-interpretação esta variável não foi considerado um limitador significativo para o mapeamento das feições erosivas.

$$\tau = c' + \Phi \operatorname{tg}\alpha$$

Equação de Coulumb

A figura 62 apresenta os resultados obtidos para as declividades das encostas do maciço da Tijuca extraídas do MDT. Embora a literatura disponível escreva que, no caso do maciço da Tijuca, em função das declividades mais acentuadas e maior umidade proveniente do Oceano Atlântico o SSHZS seria mais susceptível a ocorrência de movimentos de massas, os resultados obtidos apontam para a maior ocorrência no SSHBG, na vertente Norte. No que se refere à análise do desencadeamento dos movimentos de massa acredita-se que este fato pode estar associado à maior degradação ambiental do SSHBG. Porém no que tange a foto-interpretação, como foi observado no item anterior, acredita-se que o resultado tenha sido influenciado pela maior visibilidade das cicatrizes a partir do sensoriamento remoto nas encostas orientadas para Norte. A diferença de 1 movimento de massa nos mapeamentos conduzidos por Coelho Netto (2011, no prelo) ratificam esta afirmação.

A declividade média dos movimentos de massa ocorridos em Abril de 2010 no maciço da Tijuca ficou em 32,09°, Guariguata (1990) observou que independente do aspecto das encostas a declividade média de 70% dos movimentos de massa ocorridos em uma região montanhosa de Porto Rico ficou entre 30° e 40°. No caso dos movimentos de massa ocorridos no maciço da Tijuca durante os eventos de precipitação extrema observou-se que a maioria dos movimentos de massa (65) ocorreram na classe de 30° e 45°. Houve 35 movimentos de massa entre 15° e 30°, 19 em declividades acima de 45° e 13 na classe de menores declividades ($x < 15^\circ$).

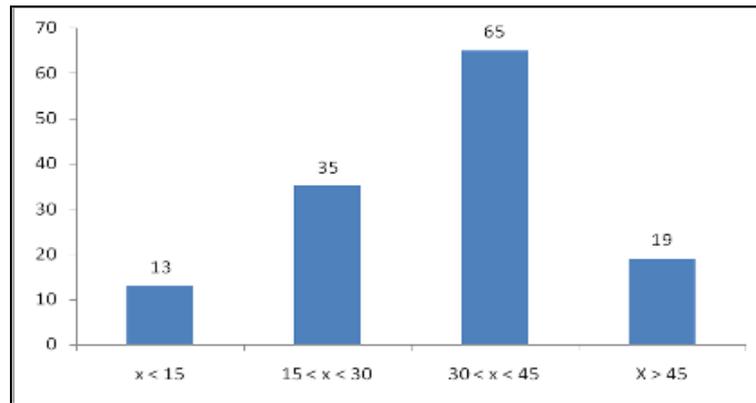


Figura 62: Movimentos de massa por classe de declividade.

Ao se analisar esses processos nas classes de declividade de menor valor (15°) percebe-se a associação da distribuição espacial com vetores de transformação da paisagem tanto diretos quanto difusos. Esta correlação fica mais evidente quando cruza-se a informação de declividade com a cobertura e observa-se que todos os movimentos de massa em declividades inferiores a 15° estão associados a cortes de estrada ou construções irregulares. Para ilustrar esta afirmativa temos os exemplos dos movimentos de massa na pedreira localizada em Jacarepaguá ou do condomínio Canto e Melo.

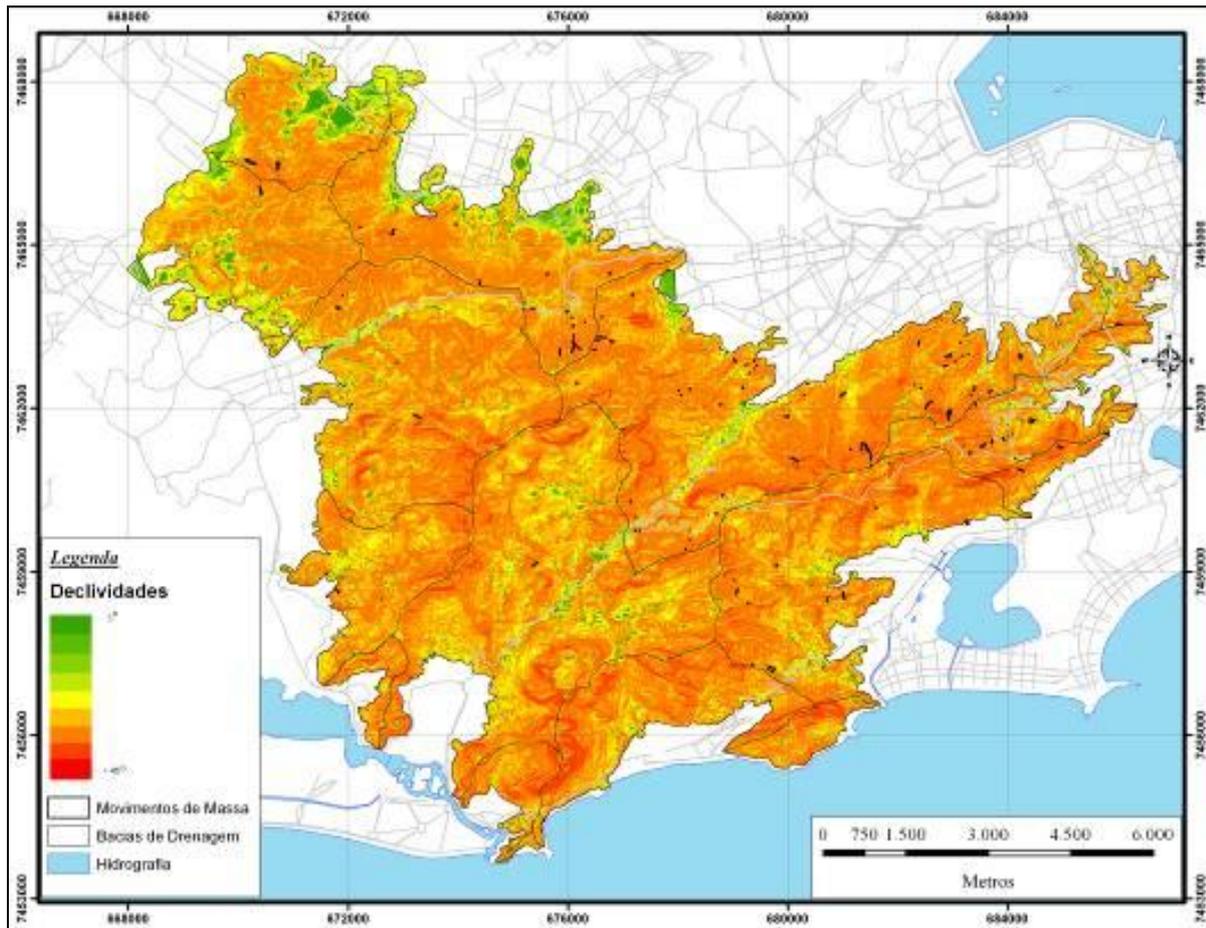


Figura 63: Declividades das encostas do maciço da Tijuca e a distribuição espacial dos movimentos de massa ocorridos em Abril de 2010.

Fonte: NIMA/PUC & IPP/RJ.

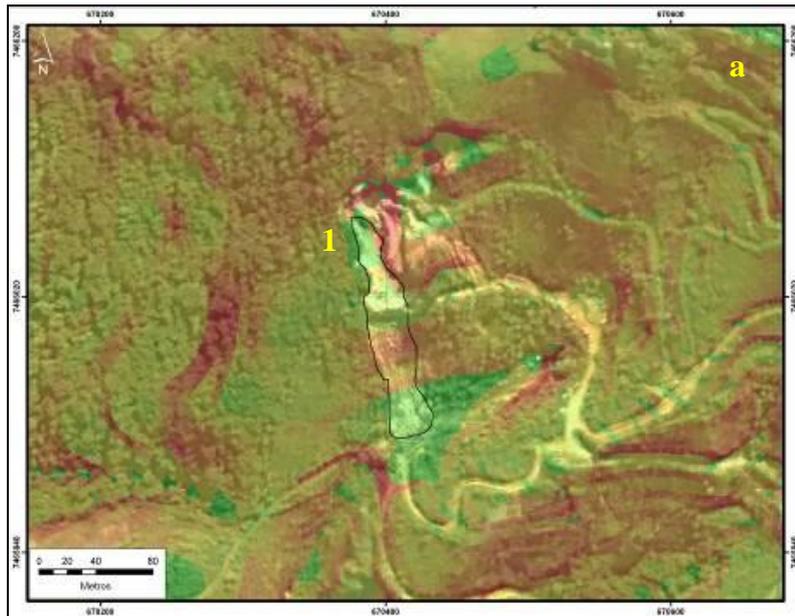


Figura 64 a e b: Imagem de satélite e foto oblíqua do movimento de massa ocorrido na Pedreira em atividade de Jacarepaguá.

Localizado no Sub-Sistema Hidrográfico da Zona Sul (SSHZS) o condomínio Canto e Melo está localizado sobre o divisor de águas entre o vale dos Macacos e o vale do Rio Rainha. Ao observar a figura abaixo pode se perceber que o ponto de ruptura do movimento de massa no condomínio Canto e Melo ocorreu sob a cobertura “vegetação” embora se note alguns polígonos da classe “área construída”. Tal fato ocorre em função da baixa densidade de construção nesta área.

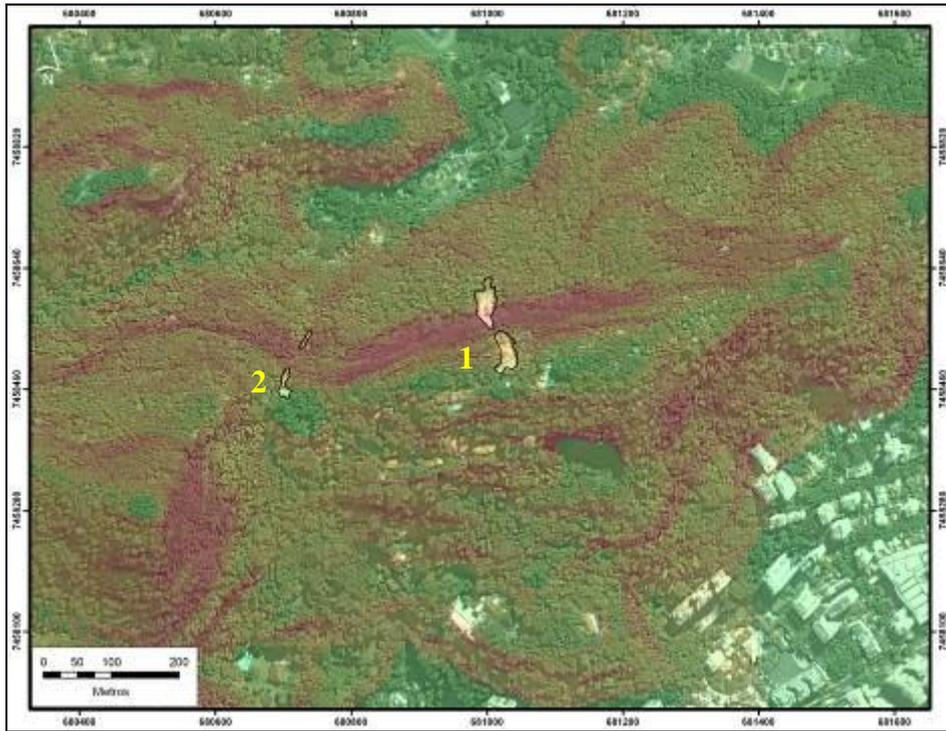


Figura 65: Localização dos movimentos de massa ocorridos no condomínio de alta renda “Canto e Melo”.

Porém ao comparar com as fotos oblíquas tiradas do helicóptero nota-se que o ponto de ruptura do movimento de massa esta localizado logo a jusante das casas (Figura 65) e atesta para influencia destas construções irregulares na desestabilização das encostas. Percebe-se que além do movimento de massa ocorrido a jusante das casas, ocorreu um movimento de massa de menor proporção na rua de acesso (figura 66 a e b).



Figuras 66 a e b: Aspectos gerais dos movimentos de massa ocorridos no condomínio “Canto e Melo”.

Embora localizados na vertente Sul do maciço da Tijuca estes movimentos de massa estão localizados em encostas com orientação Norte com declividades bastante acentuadas. Embora muito se discuta sobre a questão das construções irregulares de baixa renda nas encostas pouco é dito sobre as construções de alta renda nestes locais. Mesmo considerado como espaço formal da cidade ao analisar estas construções do ponto de vista legal a supressão de vegetação em topos de morro é considerada crime pela lei 9.605/98 (de crimes ambientais) sendo portanto irregular do ponto de vista legal.

4.3. Formas

Outro elemento considerado pertinente na investigação de movimentos de massa e da qualificação desta classe em ambiente SIG são as formas das encostas. De acordo com Fernandes & Amaral (2000) na investigação dos movimentos de massa a morfologia da encosta, em perfil ou em planta, pode condicionar de forma direta ou indireta a geração de movimentos de massa.

Segundo os autores de forma direta compreendida através da equação de Coulumb (GUIDICINI & NIEBLE, 1984 apud FERNANDES & AMARAL, *op cit*) quando esta descreve que o aumento do ângulo da encosta implica na diminuição do fator de segurança dado entre as forças de coesão e de atrito e que resulta na resistência ao cisalhamento. E de forma indireta esta relacionada ao papel exercido pela encosta, em planta, na geração de zonas de convergência e divergência de fluxos superficiais e subsuperficiais.

Neste aspecto merece destaque o aspecto desempenhado pelas concavidades (ou *hollows*) na concentração de fluxos d'água e de sedimentos. Diversos estudos mostram que tais condições de convergência tornam as concavidades áreas preferenciais da paisagem para a ocorrência de movimentos de massa. Renau e Dietrich (apud FERNANDES & AMARAL, *op cit*) mapearam 61 movimentos de massa na Califórnia sendo que em número 62%, e em volume 77%, das cicatrizes de movimentos de massa estavam localizadas no interior de concavidades.

No caso dos movimentos de massa ocorridos no maciço da Tijuca ocorridos em Abril de 2010, 84 das 132 cicatrizes de movimento de massa mapeadas tiveram seu ponto de ruptura localizados em áreas de encostas de formas convexas (60,5%), enquanto 48 estavam no interior das concavidades (39,5%). Porém é importante ressaltar que esta sendo considerada a porção mais a montante do movimento de massa para extração deste dado e qualificação do polígono e não toda a cicatriz do movimento de massa. É interessante buscar desenvolver pesquisas que trabalhem com o volume em área côncavas e convexas.

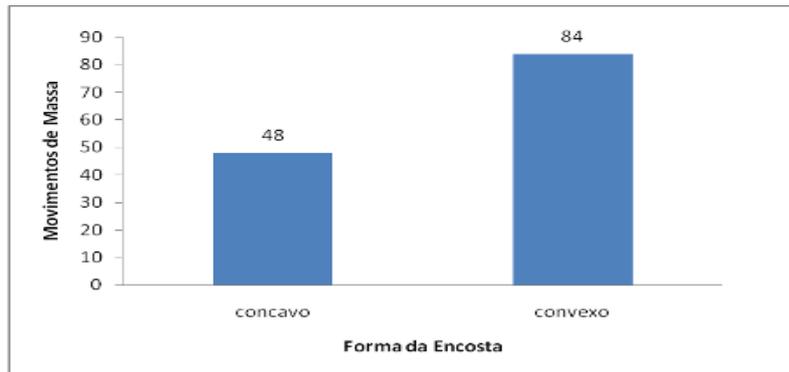


Figura 67: Total de movimentos de massa com ponto de ruptura localizado em relação a forma da encosta.

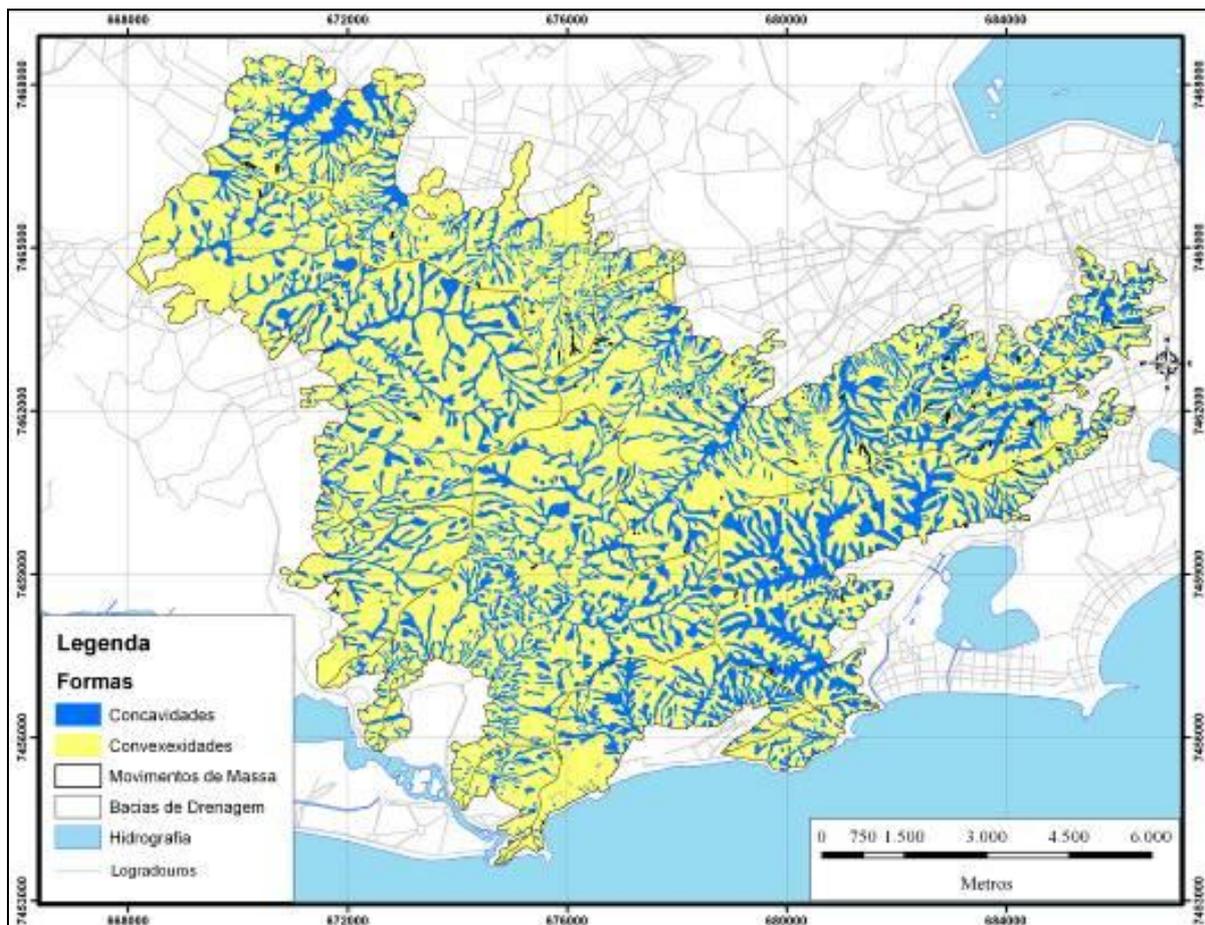


Figura 68: Formas Concavo-Convexo das encostas do maciço da Tijuca.
Fonte: NIMA/PUC & IPP/RJ.

4.4. Cobertura

As mudanças de uso do solo provocadas por mudanças de modos de produção ou por processos naturais provocam alterações na cobertura da terra. Essas mudanças de coberturas são percebidas através de variações no padrão de cobertura (cor, textura e reflectância) e podem ser extraídas a partir de diferentes combinações das bandas espectrais disponíveis em cada sensor. Há uma diferença entre cobertura e uso do solo. Os padrões de cobertura são considerados classes mais genéricas, neste estudo de caso, são utilizadas classes como “vegetação”, “área construída”, “Nuvens” entre outras. A partir desta metodologia de classificação as cicatrizes expostas por movimentos de massa seriam consideradas como “Solo Exposto” e não “Cicatriz”, “Movimento de Massa”, “Movimentos Translacionais Rasos”, “Fluxos Detríticos” entre outros.

Com o intuito de se distinguir no solo exposto captado pelas lentes de satélites os diferentes usos como a abertura de aceiro contra incêndios florestais, áreas de implantação de plantio ou outros usos que exponham o solo e as cicatrizes de movimentos de massa é que se qualificou esta classe movimento de massa com informações referentes aos aspectos topográficos, morfológicos e pedológicos. Acredita-se que a condução de estudos desta natureza permita auxiliar no desenvolvimento do processo de classificação automática de imagens satélite de alta resolução. Estes métodos de extração automática, com as especificidades do uso do solo em lugar da cobertura, enriquecem e aumentam a eficácia de modelos prognósticos que combinem variáveis geológico-geotécnicas e hidrológicas para a diagnose de áreas susceptíveis à movimentos de massa agregando a variável humana.

Uma vez mapeados os polígonos referentes aos movimentos de massa foi iniciada a comparação das áreas dos polígonos de cobertura do ano de 2009 para se detectar o tipo de cobertura antes da ocorrência dos movimentos massa. Conforme pode ser observado no gráfico abaixo (figura 78), a classe que apresentou o maior número de deslizamentos foi a classe “Vegetação” com 37 deslizamentos mapeados representando 31,8% do total, seguido pela “Área Edificada” com 36 deslizamentos, 31,1% do total. 22 pontos de deslizamentos foram mapeados tendo o ponto de ruptura as áreas de cobertura “campo” (que

englobam as áreas com dominância de capim e recorrência de incêndios e também áreas de reflorestamento) e representam 18,6%, áreas de solo exposto também contribuíram com um número significativo de 17 deslizamentos mapeados ou 15,7%, “Afloramento Rochoso” foram 7 ocorrências (5,3%) e “Áreas Não Classificadas” somam duas ocorrências (1,5%).

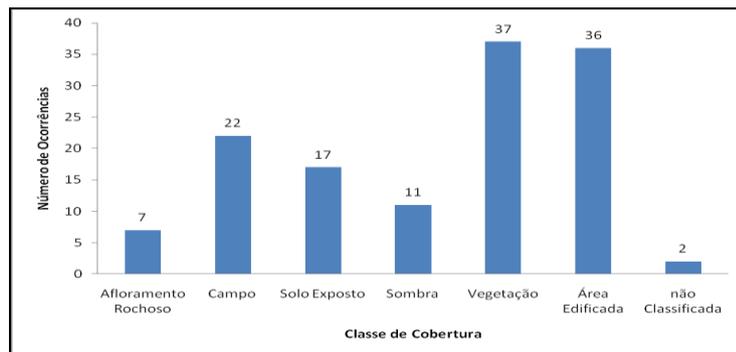


Figura 69: Movimentos de massa por classe de cobertura.

Houve uma diferença de 160 deslizamentos entre os mapeados na imagem de satélite e os mapeados em campo pela equipe do PARNA Tijuca (Figura 70), este resultado era esperado em função das condições de relevo do maciço da Tijuca e sua relação com a insolação no período de aquisição da imagem. Embora, como será demonstrado a seguir, a cobertura também limitou a observação de cicatrizes de movimentos de massa e o uso observado em campo apontou peculiaridades que são praticamente impossíveis de observar por sensoriamento remoto.

Em relação ao mapeamento realizado por Coelho Neto (2011, no prelo) conseguiu-se captar 36 movimentos de massa a mais. Associa-se a este fato, além das limitações impostas pelos aspectos físicos das encostas do maciço da Tijuca já citados, ao critério utilizado pelo autor diferir do critério utilizado pela autora, que difere também do critério utilizado pela equipe do PARNA Tijuca. Enquanto neste trabalho objetivou-se mapear toda e qualquer cicatriz erosiva de movimento de massa, Coelho Neto atribuiu uma área mínima de 30 m². Este critério foi estabelecido por que, de acordo com a autora, cicatrizes erosivas com área menor do 30 m² não influenciam nos efeitos subsequentes sobre a floresta. Já a equipe do

PARNA Tijuca tinha como objetivo mapear todos as cicatrizes de movimentos de massa nos seus limites a fim de aumentar captação de verba para mitigar suas conseqüências.

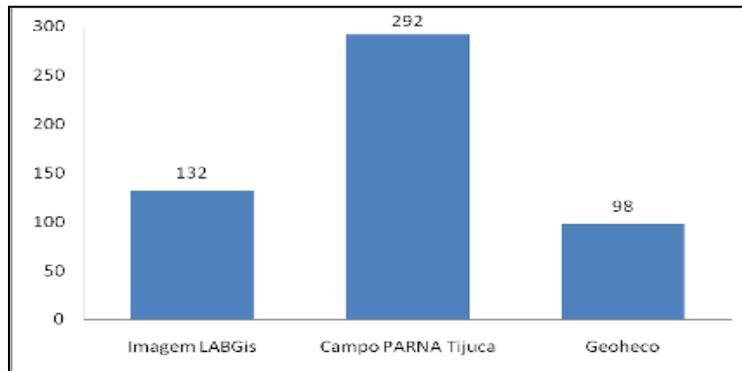


Figura 70: Movimentos de massa mapeados através da interpretação da imagem, inferidos em campo e mapeados pela equipe do Geoheco.

Um exemplo bastante didático referente a combinação das variáveis cobertura e orientação das encostas está nas encostas do morro do Elefante. Localizado na vertente Norte do Maciço da Tijuca no SSHBG o morro do Elefante é uma região extremamente degradada do maciço da Tijuca. Ao observar o mapa de cobertura da área (figura 71 a) pode se observar que os pontos de ruptura dos movimentos de massa ocorreram sob a classe “campo”, porém os movimentos de massa 1 e 2 estão sob a cobertura de diferentes tipos de capim como capim colônia (*panicum maximum*), sapê e gordura que são indicadores de solo extremamente empobrecido e carente de nutrientes. Estes movimentos de massa estão localizados em área particular onde até meados do ano de 2009 ainda podia se observar cavalos e bois pastando.

É interessante observar que a métrica extraída da cicatriz do movimento de massa 1 é muito fiel a observada em campo. Mesmo o movimento de massa 3, localizado em encostas com orientação Sul puderam ser mapeadas com precisão bastante satisfatória.

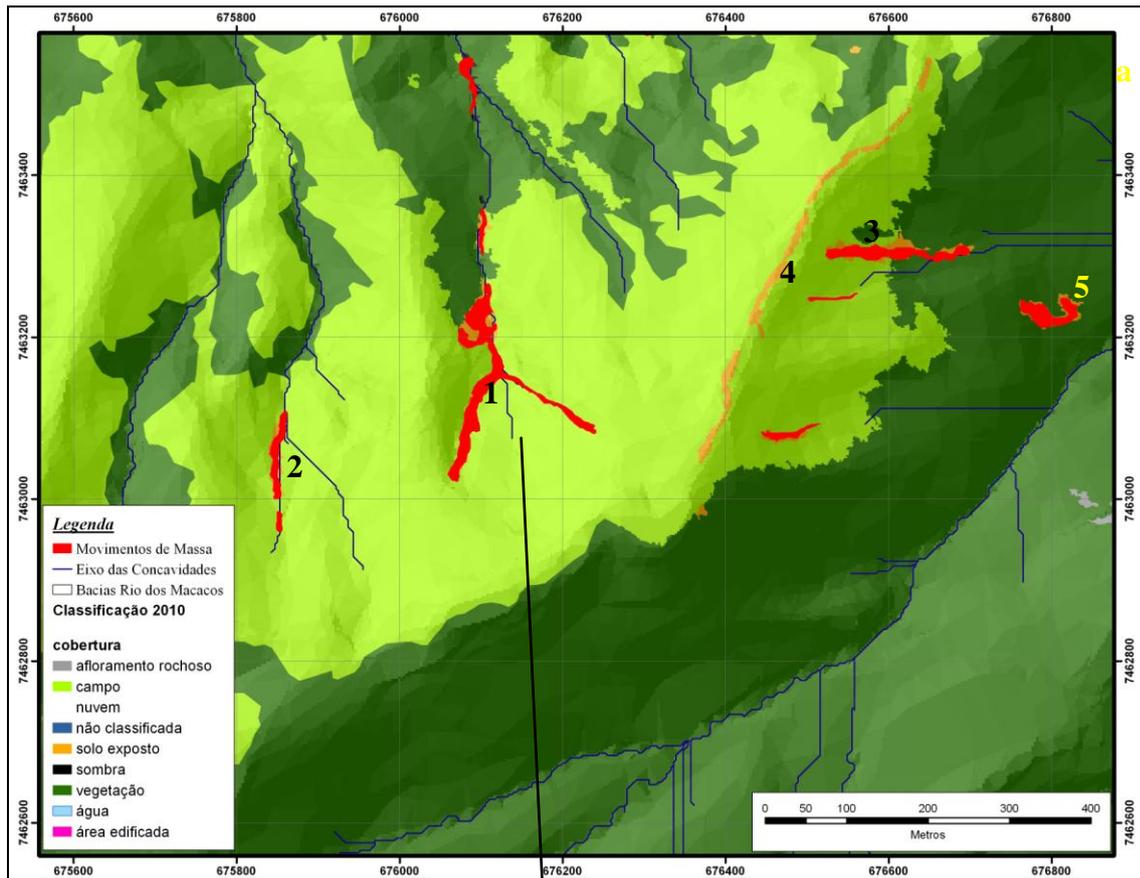


Figura 71 a e b: Polígono da classe “Movimento de Massa” no mapeamento de cobertura e em campo.

É interessante ressaltar que desde o ano de 2006 um aceiro contra incêndios florestais (4) foi construído no intuito de reduzir a propagação de

incêndios florestais sobre os limites do Parque Nacional da Tijuca. No mapeamento de cobertura ele aparece como solo exposto. Assim como a área de reflorestamento localizada nas encostas voltadas para Sul do morro do Elefante, já no vale do Perdido são mapeadas como “campo”. No que se refere ao mapeamento de cobertura esta classificação se justifica porém, no caso da construção de modelos de risco, a qualificação do uso se torna fundamental.

Na encosta onde ocorreu o movimento de massa 3, mapeado como “campo” na classificação do projeto PIMAR, ocorreu um trabalho de reflorestamento desde o ano de 2005 no âmbito de um projeto do programa Petrobras Ambiental. Em novembro de 2009 durante as medições rotineiras de campo foi observado a ruptura da encosta aqui registrada na figura 81. Com os eventos extremos de precipitação de Abril de 2010 esta área cedeu e deu origem ao movimento de massa 3 (figura 72 a e b).



Figuras 72 a e b: Ponto de ruptura do movimento de massa localizado no morro do Elefante em novembro de 2009 e o movimento de massa ocorrido em Abril de 2010.

Agora será apresentado um exemplo onde o movimento de massa localizado nas condições menos favoráveis para o mapeamento, ou seja, teve seu ponto de ruptura sob cobertura “floresta”, em encosta orientada para Sul, em área de declive acentuado, em encosta convexa e que, como era esperado não apareceu no mapeamento e ainda teve um elemento humano que não pode ser desprezado.

Já nas fotografias 34 e 35 pode se observar o movimento de massa 3, que não foi captado pelo sensor e foi verificado posteriormente em campo, que traz a tona um fato que atesta para a importância da validação do mapeamento em

campo. Observando a imagem de satélite é impossível se perceber a presença de uma captação irregular de água na porção superior da cicatriz exposta pelo movimento de massa. Durante o processo de validação em campo, porém, observou-se a captação irregular e que esta minava constantemente água no encaixe entre as duas mangueiras. Pode se supor que esta água que mina da captação tenha criado condições de umidade no solo que associada à acentuada declividade do terreno e ao grande volume de chuva precipitada contribuíram para o desencadamento do movimento de massa. Este fato atesta para que além dos condicionantes físicos como a declividade das encostas, a precipitação, os diferentes tipos de solo e seus horizontes, as várias tipologias de cobertura florestal, as formas da encosta, a presença do homem na paisagem tem uma correlação significativa no desencadeamento dos processos erosivos na encosta e evidencia as conflituosas relações da construção do espaço social pela sociedade com a transformação da paisagem.

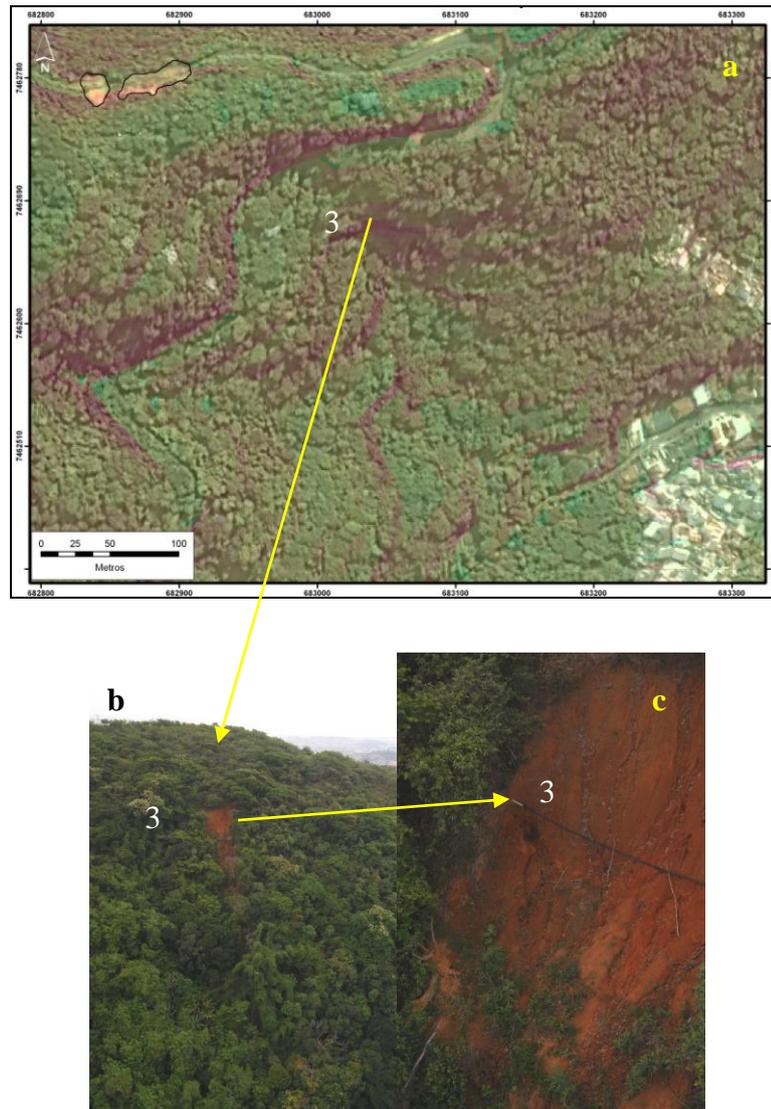


Figura 73 a, b e c: Movimento de massa observado em campo e captação de água irregular na porção superior da cicatriz erosiva.

4.5. Plataforma PEDOGEO

A plataforma PEDOGEO é um sistema que contém informações geológicas, geotécnicas e pedológicas criado com apoio do da FAPERJ e elaborado no Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. Este sistema apresenta o mapeamento das classes de solo presentes no município do Rio de Janeiro além de informações sobre a pedregosidade e presença de blocos. Esta informações são relevantes nos estudos sobre a estabilidades das encostas visto que a presença

destes blocos, de fraturas e falhas constituem em importantes descontinuidades mecânicas e hidrológicas.

A caracterização e a terminologia dos materiais envolvidos nos movimentos de massa são um aspecto considerado importante para os estudos de classificação deste processo erosivo. Distribuição e as propriedades dos solos tropicais, sem desconsiderar a dificuldade em distingui-los, devem ser investigadas. De acordo com Fernandes e Amaral (2000) com frequência, materiais extremamente heterogêneos tais como: solos residuais com estruturas reliquias, blocos rochosos *in situ* integrantes de formações residuais e colúvias, depósitos de encostas com diferenciação de solos residuais bastante complexas com perfis de intemperismo em estágio avançado de alteração, depósitos de lixo apresentam-se misturados a aterros e matérias naturais.

Desta forma percebe-se a influência, também, de condicionantes geológicos, como fraturas, falhas, foliação e descontinuidades no solo. As fraturas e falhas representam importantes descontinuidades, tanto mecânicas quanto hidráulicas. Algumas com origens associadas a atuação de agentes internos (fraturas tectônicas, por exemplo) podendo ser formada durante fases de caráter rúptil. Fernandes e Amaral (2000) expõem que a direção e o mergulho das fraturas tectônicas, são na escala de afloramento, constantes no espaço e os planos tendem a ser paralelos entre si, formando um sistema (*set*) de fraturas.

Ainda de acordo com os autores outras fraturas não tem sua origem associada a eventos tectônicos, como as fraturas de alívio, por exemplo. Essas fraturas tendem a acompanhar a topografia do terreno e mostrar uma diminuição do acompanhamento entre os planos quando estes se aproximam da superfície. Fernandes e Amaral (*op cit*) escrutam que quanto mais homogênea for a rocha mais paralelas à superfície e mais contínuas serão as fraturas de alívio de tensão geradas. Desta forma, rochas com textura granítica tendem a mostrar fraturas de alívio bem paralelas a superfície. Já nos gnaisse bandados, por exemplo, estas tendem a se apresentar de forma bem mais anômala condicionada pelos planos de fraqueza existentes na rocha no momento do alívio.

As falhas, de um modo geral, atuam como caminhos preferenciais de alteração permitindo que a frente de intemperismo avance para o interior do maciço. A interseção destes planos de falha com outras descontinuidades resulta na individualização de blocos não alterados no interior de uma massa bem mais intemperizada, gerando um aumento na heterogeneidade do maciço como um todo. Deere e Paton (1970 *apud* Fernandes & Amaral, 2000) afirmam que com frequência as falhas afetam diretamente a dinâmica dos fluxos subterrâneos nas encostas.

Assim várias descontinuidades podem estar presentes dentro do saprolito e do solo residual tais como, feições estruturais relíquias do embasamento rochoso (fraturas, falhas, bandamentos etc) e horizontes de solo formados pela atuação de processos pedogenéticos. Estas descontinuidades podem atuar de modo decisivo no condicionamento da distribuição das poro-pressões no interior da encosta e, conseqüentemente, de sua estabilidade. Selby (1993) aponta que estas fraturas relíquias, por exemplo, podem gerar planos preferenciais ao longo dos quais o intemperismo avança mais rapidamente do que na massa saprolítica não intemperizada .

O tipo de movimento de massa a ser gerado em encostas constituídas por solos saprolíticos pode estar relacionado a características de fraturas relíquias. Movimentos de massa como os translacionais rasos, frequentemente encontrados no maciço da Tijuca, podem predominar em encostas com juntas relíquias a partir da alteração de fraturas de alívio de tensão ou mesmo a partir da alteração de bandas composicionais (Fernandes & Amaral, 2000). Muitas vezes os movimentos de massa podem ter seu plano de ruptura condicionado por descontinuidades hidráulicas existentes no interior do solo saprolítico, do solo residual ou mesmo no contato entre os dois.

Ao se observar a figura 78 pode se observar a ocorrência de 78 movimentos de massa sobre Latossolo Vermelho Amarelo, 35 sobre Argissolo Vermelho Amarelo e 19 sobre áreas mapeadas como urbana. De acordo com a literatura os latossolos são solos que apresentam horizontes Bw caracterizados pelo avançado estágio de intemperização, bastante porosos e permeáveis, com textura que varia de média a muito argilosa. Sendo, de um modo geral, solos que

por apresentarem boa permeabilidade e baixa relação textural B/A (pouca diferenciação de argila entre os horizontes A e B) apresentam susceptibilidade reduzida à erosão.

Os argilossolos são solos que apresentam horizonte B textural (Bt) caracterizado por acumulação de argila, por iluviação, translocação lateral interna ou formação no próprio horizonte. Apresentam, em geral, diferenças significativas no teor de concentração de argila entre os horizontes A e B (relação textural mais alta que os latossolos), passando de um horizonte superficial mais arenoso para um subsuperficial mais argiloso. Esta condição se apresenta como importante descontinuidade hidráulica no perfil de solo, o que diminui sua permeabilidade favorecendo a formação de fluxos subsuperficiais na zona de contato entre eles. Estes solos apesar de apresentarem características de agregação e boa estruturação (horizontes Bt em blocos angulares ou subangulares) apresentam certa susceptibilidade aos processos erosivos, que serão tão intensos quanto forem as descontinuidades texturais e estruturais ao longo do perfil.

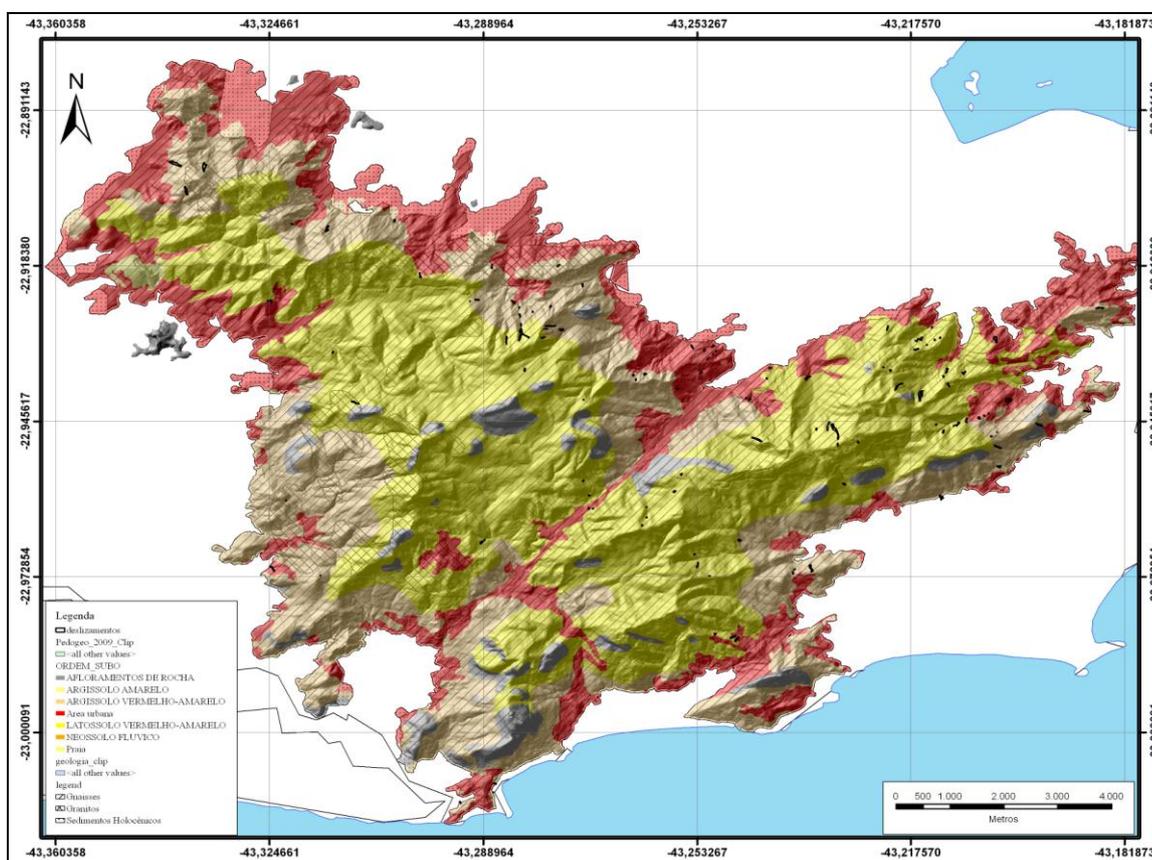


Figura 74: Mapa PEDOGEO (solos e geologia).

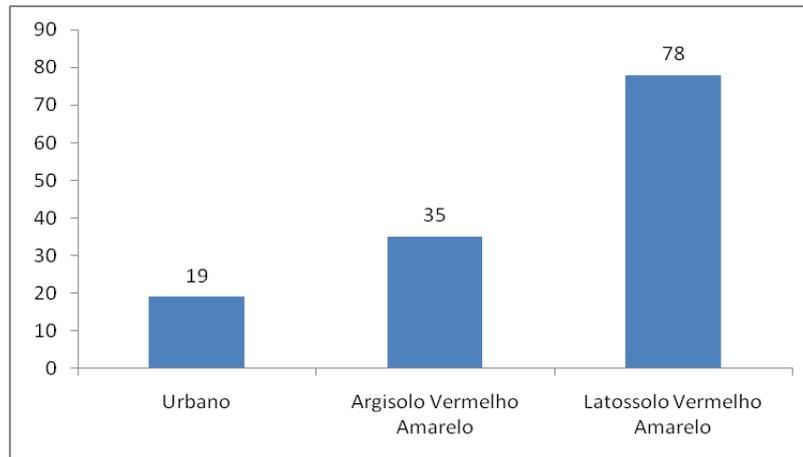


Figura 75: Relação dos movimentos de massa de acordo com a classe de solos do PEDOGEO.

Embora a escala que foi elaborada a plataforma PEDODEO (1:20.000) não seja a mais apropriada para a investigação precisa de fraturas, falhas, espessura do manto de intemperismo a caracterização da ordem dos solos e a descrição da presença ou não de blocos torna este mapeamento uma variável que pode ser utilizada para, num próximo momento, alimentar o banco de dados para a classificação automática das imagens e, também, para a construção de modelos de susceptibilidade a movimentos de massa

Os resultados acima apontam para que para um comportamento análogo ao descrito pela literatura disponível, este fato sugere que a declividade tenha sido fator preponderante no caso dos movimentos de massa ocorridos sobre as áreas de Latossolo Vermelho Amarelo.