



Domínios Geo-Hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ: Subsídios ao Entendimento dos Processos Hidrológicos e Erosivos

Geo-Hidroecological Domains in the Tijuca Massif, RJ:
Support to the Hydrologic and Erosive Process Knowledge

*Manoel do Couto Fernandes¹; André de Souza Avelar² &
Ana Luíza Coelho Netto³*

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia, CCMN/IGEO
Cidade Universitária, Ilha do Fundão, 21.941-590, Rio de Janeiro, RJ*

¹GeoCart – Laboratório de Cartografia - mfernandes@acd.ufrj.br

*^{2,3}GEOHECO – Laboratório de Geo-Hidroecologia – andreavelar@acd.ufrj.br;
ananelto@acd.ufrj.br;*

Recebido em: 28/09/2006 Aprovado em: 22/11/2006

Resumo

O maciço da Tijuca constitui um sistema geomorfológico, no qual a substituição da cobertura vegetal por feições urbanas e área de gramíneas contribui para a modificação do comportamento hidrológico, que caracteriza o desenvolvimento de condições favoráveis a um aumento dos processos erosivos por diferentes mecanismos e conseqüentemente, das descargas líquidas e sólidas que podem atingir as áreas circundantes de baixada. O entendimento destes processos, dentro de uma análise geoecológica sob o foco geomorfológico, requer a interpretação dos elementos que os regulam, em nível estrutural, funcional e dinâmico, delimitando diferentes áreas de respostas hidrológicas e erosivas, ou seja, domínios geo-hidroecológicos. Para a elaboração dos domínios foram abordados sistematicamente, o uso e cobertura do solo, a distribuição dos tipos e características dos solos, geologia e índice de eficiência de drenagem, utilizando-se técnicas de geoprocessamento e o método analítico-integrativo. Os resultados mostram que os setores 1, 2 e 5 possuem domínios que corroboram à ocorrência de enchentes em suas áreas e nas baixadas interconectadas a eles. As áreas de ocupação urbana nos setores 2, 3 e 4 conferem a estes a concentração de deslizamentos, justamente por nestes setores ocorrerem os maiores índices de eficiência de drenagem, reflexo de altos gradientes e densidade de eixos de concavidade. Neste sentido a continuidade da degradação, principalmente nestes setores, promoverá um aumento drástico dos processos erosivos no maciço da Tijuca.

Palavras-chave: Geoecologia de Floresta; GIS; Hidrologia; erosão

Abstract

Tijuca massif constitute a geomorphologic system, where the replacement of vegetation cover by urban features and grass areas, contribute to change in the hydrological behavior. As a consequence of this change there is an increase of erosion processes by different mechanisms, and in the solid and liquid discharge that can affect lowlands. The understanding of these processes, in a geoecological research above center of interest geomorphologic view requires the interpretation of the elements control them, in structural, functional and dynamic way. This way, the aim at interpreting the transformation processes that occur in this massif, and delimitate the use and covering of the soil that with others structural and functional elements define areas with different hydrological and erosive results (geo-hydroecological dominions). To define this dominions, it was taken into consideration systematically, the soil use, type and characteristic of the soil, geology and drainage efficiency, using geoprocessing technic and analytic-integrative method. The results show that in the sectors 1, 2 and 5 have dominions that make is inundation in them lowlands. The areas of urbarn occupation in the sectors 2, 3 e 4 concentrate the landslides, because in this areas occur the bigger drainage efficiency, reflex of higher gradients and density of concave axis. In this way the continuatily will promote a drastic growth of Tijuca massif's erosive processes.

Key words: Forest Geoecology; GIS; Hydrolog; erosion

1 Introdução

Dentro da concepção geo-hidroecológica¹, a bacia de drenagem é adotada como o recorte espacial de análise da paisagem, onde é fundamental entender o arranjo estrutural e funcional dos elementos que a compõem, assim como a sua dinâmica de transformação, a medida que estas características traduzem-se em uma singularidade de repostas a nível dos processos hidrológicos e erosivos. Estas repostas variam de acordo com a quantidade e intensidade das entradas de energia na bacia, e também com as transformações destes elementos. Para tanto, torna-se importante considerar as relações internas da paisagem associadas à interação dos fatores bióticos, abióticos e humanos no comportamento hidráulico e mecânico dos solos em diferentes posições de encostas. Alterações na composição destes fatores, as quais são principalmente

¹ Geo-hidroecologia – Análise dos sistemas ambientais a partir das funções ecológicas, hidrológicas e mecânicas, onde os fluxos de água, sedimentos e solúveis através da paisagem são indicadores da dinâmica dos processos geomorfológicos e da evolução das transformações das bacias de drenagem em diferentes níveis hierárquicos (Coelho Netto, 1992).

impostas pela variável humana, podem induzir à modificações significativas na dinâmica espaço-temporal dos processos hidrológicos atuantes na encosta e conseqüentemente, no trabalho geomorfológico. Assim transformações em uma determinada porção da bacia poderão afetar outras áreas situadas à jusante, ou seja, catalisando efeitos sobre a natureza e/ou intensidade na evolução desses processos geomorfológicos (Chorley, 1962; Coelho Netto, 1994). Portanto, mudanças de ordem natural ou antrópicas que atuem no fornecimento de energia causam reajustes nas formas e processos, de acordo com o grau das mudanças (Gilbert, 1877; Gregory & Walling, 1973; Dunne & Leopold, 1986).

Este quadro é bem marcado no maciço da Tijuca, onde a transformação contínua da paisagem contribui para a modificação do comportamento hidrológico, caracterizando o desenvolvimento de condições favoráveis ao aumento de processos erosivos por diferentes mecanismos, e conseqüentemente, contribuindo para um aumento das descargas líquidas e sólidas nos canais fluviais. Durante os eventos pluviométricos mais intensos, essas descargas tornam-se maiores e mais rápidas, gerando mais freqüentemente às inundações nas porções inferiores dos vales e baixadas adjacentes. Como exemplo podemos citar os casos registrados em 1966, 1967, 1988 e 1996, que assumiram um caráter catastrófico, principalmente nas áreas habitadas por populações mais pobres, em face da carência de infra-estrutura urbana, como da precariedade das construções aí localizadas. Estes processos de transformação da paisagem, segundo Fernandes (1998), assumem diferentes direções e magnitudes ao longo do tempo que são expressas por vetores que podem ser diretos (queimadas, estradas, favelização e expansão da malha urbana) e difusos (distribuição espacial da pluviosidade; poluição; emissão de balões), e vão dar origem à configuração estrutural do sistema de análise.

Com isto podemos compreender que sob determinadas condições ambientais vigora um conjunto específico dessas variáveis, capazes de detonar processos dominantes ou de ordem secundária, com comportamentos variáveis dentro de um certo período de tempo, até que ocorram mudanças significativas internas ou externas ao domínio em análise. O conjunto destas inter-relações podem ser espacializadas dando origem a um diagnóstico integrado em base geo-hidroecológico, ou seja, um levantamento que leve em consideração estes fatores, que em conjunto atuam como uma das principais forças reguladoras dos mecanismos e magnitudes dos processos hidrológicos e erosivos, caracterizando assim, uma análise geomorfológica associada a uma perspectiva geoecológica.

Face ao exposto acima, fica clara a importância de criar este diagnóstico em base geo-hidroecológica, na medida em que este identifica as variáveis-controles (elementos estruturais e funcionais) que interferem na estrutura,

funcionalidade e dinâmica da paisagem florestal-urbana do maciço, e fornece subsídios básicos ao planejamento da ocupação do solo, através de mapas-síntese dos domínios geo-hidroecológicos, identificando potenciais e restrições das formas de uso.

2 Área de Estudo

A cidade do Rio de Janeiro é formada por dois compartimentos geomorfológicos bem distintos: os maciços litorâneos e as áreas de baixada, onde ainda se incluem alguns morros isolados (Figura 1). Dentre os maciços litorâneos destaca-se o da Tijuca, que é uma unidade fisiográfica situada dentro do sítio urbano da cidade do Rio de Janeiro, a qual, juntamente com o mar, caracteriza-se como um dos grandes limitadores do processo de expansão da ocupação da urbana.

O maciço da Tijuca possui uma área, delimitada acima da cota 40 m, de 118,7 km² marcada por um relevo montanhoso, que pode ser subdividido em cinco grandes sub-sistemas hidrográficos (setores), os quais possuem distintos arranjos a nível biótico, abiótico e de ocupação humana (Figura 2). De uma maneira geral estes setores encontram-se ambientalmente degradados, face às condições de remoção florestal proveniente de desmatamentos, queimadas e ocupações desordenadas, apresentando também boa parte de seus rios em regime temporário. Estes cinco sub-sistemas ou setores drenam em direção à Baía de Guanabara (setores 1 - Norte e 2 - Nordeste), à lagoa da Tijuca ou de Jacarepaguá (setores 4 - Sul e 5 - Oeste), à lagoa Rodrigo de Freitas ou diretamente para o oceano (setor 3 - Leste).

A área apresenta um clima definido como tropical de altitude, com precipitação média anual em torno de 2.200mm, e temperatura média anual de 22°C. O substrato rochoso é de idade pré-cambriana, constituído predominantemente por gnaisses diversos (microclina, biotita e granitóides) e algumas intrusões de granitos. A comunidade vegetal constitui a Floresta da Tijuca - mata latifoliada perene, que está inserida no Parque Nacional da Tijuca, e se destaca pela grande variedade de espécies que nela se desenvolvem, caracterizando uma fisionomia marcada pela ocorrência de três estratos bem diferenciados.

Domínios Geo-Hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ:
 Subsídios ao Entendimento dos Processos Hidrológicos e Erosivos
 Manoel do Couto Fernandes; André de Souza Avelar & Ana Luiza Coelho Netto

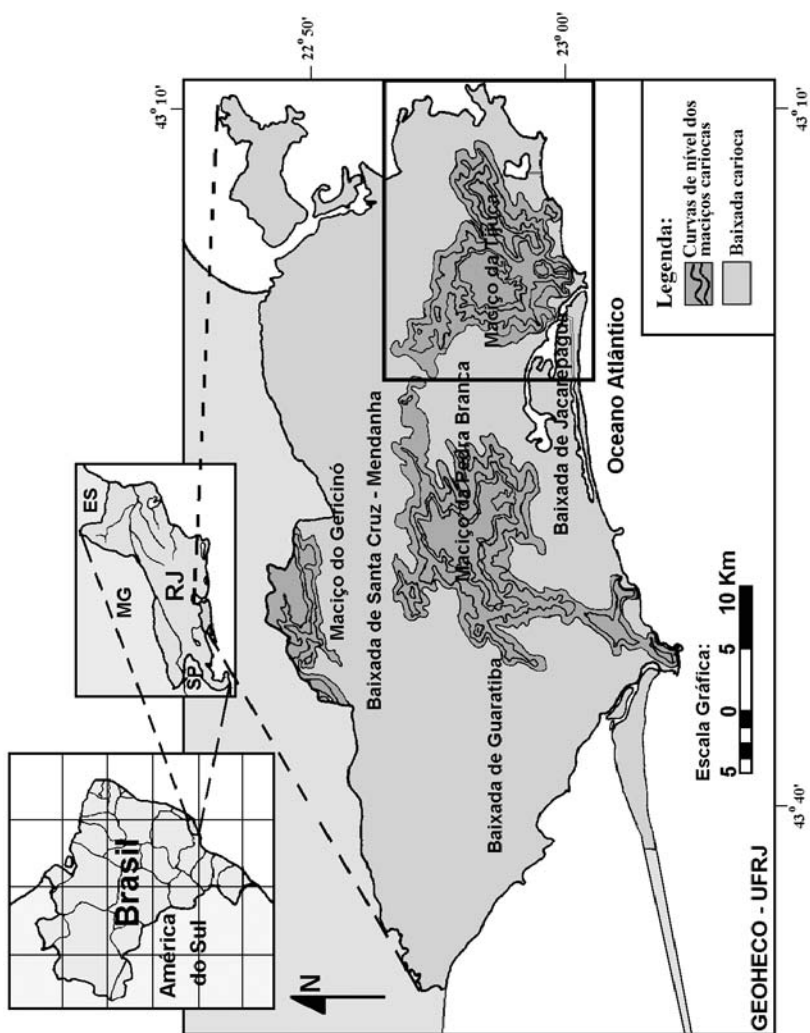


Figura 1 Mapa de localização da cidade do Rio de Janeiro e seus compartimentos geomorfológicos (Fernandes, 1998).

Domínios Geo-Hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ:
 Subsídios ao Entendimento dos Processos Hidrológicos e Erosivos
Manoel do Couto Fernandes; André de Souza Avelar & Ana Luiza Coelho Netto

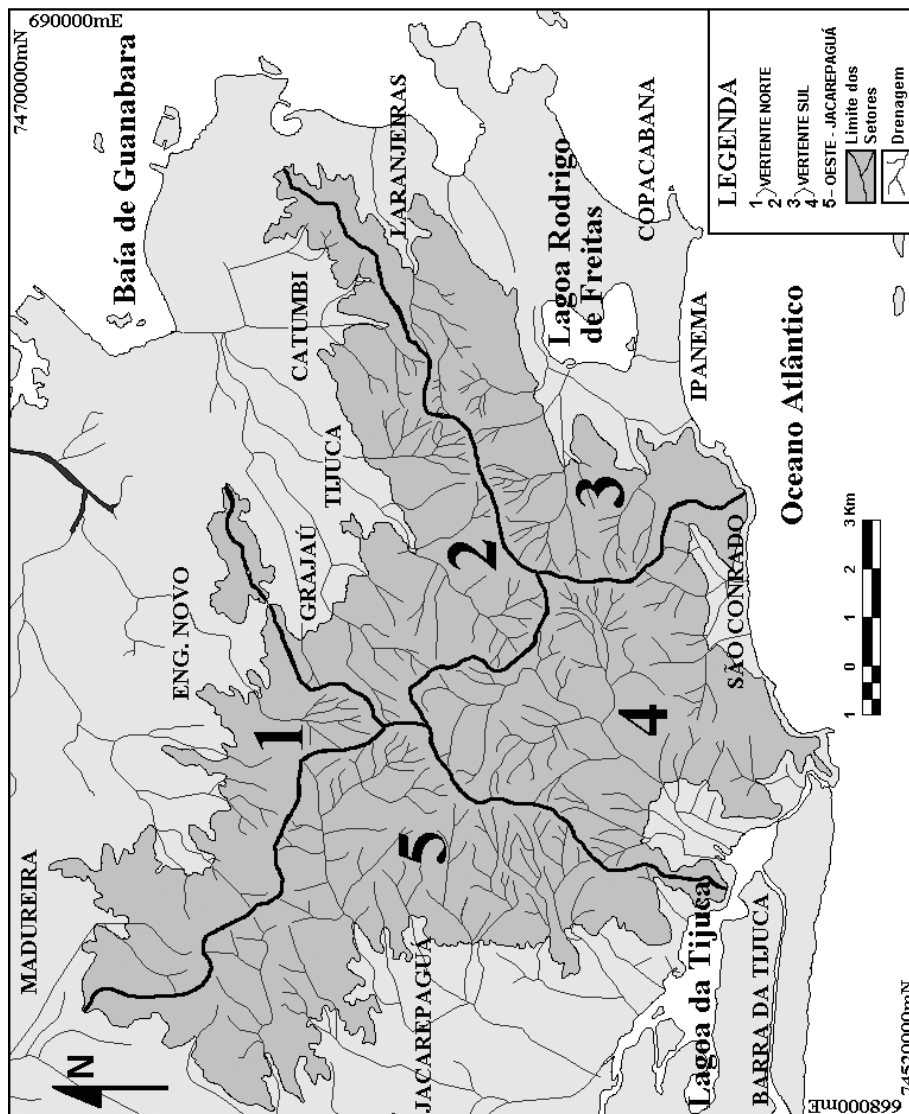


Figura 2 Mapa de localização da área de estudo (Fernandes, 1998).

3 Metodologia

A definição dos domínios geo-hidroecológicos foi amplamente pautada no método analítico-integrativo (Coelho Netto *et alii*, 1993 e Rosas & Coelho Netto, 1994), associado a técnicas de geoprocessamento. Seguindo o método analítico-integrativo, inicialmente foram selecionadas as variáveis-controle, levando-se em consideração a escala de trabalho (1:50.000). Estas foram: geologia, uso e cobertura do solo - 1990, tipos de solos, e índice de eficiência de drenagem. Outros mapas, como de formas de encosta, declividade, pluviosidade e distribuição de favelas, também foram gerados, porém não foram utilizados para a definição dos domínios, mas sim como subsídios de apoio à análise proposta, assim como foi levado em consideração o banco de dados da GEORIO, elaborado por Amaral (1996), para os deslizamentos da cidade do Rio de Janeiro, o qual foi discretizada para os setores da área de estudo, e outros trabalhos já existentes na área como, Cambra & Coelho Netto (1997), que serviram como parâmetros de controle em relação a definição dos domínios geo-hidroecológicos.

Os mapas selecionados foram elaborados da seguinte forma. (a) Uso e Cobertura do Solo: Foi gerado a partir de interpretação da imagem Spot multiespectral (Xs) de 1990 nas bandas 1, 2 e 3. Após o registro das bandas, elas foram realçadas com a finalidade de se criar imagens de saída tendo como destaque as classes a serem identificadas: floresta, uso urbano, desmatamento/capim e afloramentos rochosos. Posteriormente, foram coletadas amostras (assinaturas) representativas de cada classe, as quais foram utilizadas para a classificação através do método de Máxima Verossimilhança. A partir desta classificação foram feitos trabalhos de campo para verificar e corrigir o resultado obtido (Figura 3). Vale ressaltar, que a classe afloramento rochoso foi corrigida pelo mapa do IPLAN/RIO (1:25.000). Ainda em relação aos afloramentos foi feito um detalhamento a fim de se identificar aqueles com maior potencial à recarga de fluxos d'água em subsuperfície, através da relação entre o perímetro da linha de contato com o solo com a área do afloramento, em Km/Km². (b) Geologia: As informações desta variável foram compiladas a partir do mapeamento realizado por Heilbron *et alii* (1993) e complementadas com o trabalho realizado por Helmbold *et alii* (1964). (c) Solos: Os tipos de solos e suas características foram obtidos a partir do levantamento semidetalhado de solos do município do Rio de Janeiro (EMBRAPA, 1980). A partir deste também foi extraído o mapa de solos para o maciço. (d) Índice de Eficiência de Drenagem (IED): Esse índice revela a importância de alguns parâmetros geomorfológicos que influenciam o escoamento d'água de uma bacia de drenagem. Demonstrado por Coelho Netto *et alii* (2006), este define-se por ser o valor adimensional resultante do produto do gradiente da bacia

(Gr) pela densidade de eixos de concavidade (DEC), ou seja, $IED = Gr \times DEC$. O índice de eficiência de drenagem foi mapeado obedecendo as seguintes classes: < 1,5 (Baixo), 1,5 - 2,0 (Médio), 2,0 - 2,5 (Médio Alto) e > 2,5 (Alto) (Figura 4). Inicialmente para a definição deste índice foi realizada em cima da base topográfica 1:50.000, com a drenagem reconstituída a partir da base do IPP 1:25.000, a separação das bacias de segunda ordem, segundo a classificação proposta por Strahler (1952). A partir daí foi realizada a compartimentação topográfica, seguindo o método sugerido por Meis *et alii* (1982), gerando classes de: 0 - 300m, 300 - 500m, 500 - 700m e bacias acima de 700m de desnivelamento. Esta medida foi utilizada para definir o valor de gradiente de cada bacia, ou seja, utilizando o valor do desnivelamento sobre a extensão do eixo maior da bacia, como no trabalho desenvolvido por Coelho Netto & Dantas (1996). Os valores de gradiente para cada bacia foram mapeados de acordo com as seguintes classes: < 20%, 20 - 30%, 30 - 50% e > 50%. O valor de densidade de eixos de concavidades foi obtido através da metodologia sugerida por Coelho Netto *et alii* (1988) e Oliveira *et alii* (1994). As bacias foram classificadas e mapeadas nas seguintes classes: < 4,5, 4,5 - 5,5, 5,5 - 6,5 e > 6,5 Km/Km u.².

É importante que para todos estes mapas produzidos as áreas situadas entre as bacias de segunda ordem foram classificadas por extrapolação. Além disso, vale ressaltar que face a metodologia de desenvolvimento do índice de eficiência de drenagem, este fica amplamente influenciado pela escala espacial adotada, sendo assim, os resultados obtidos são adequados à escala de 1:50.000, e quando empregada em outra escala estes podem até continuar mantendo a mesma tendência, mas com valores diferentes.

Os mapas adquiridos através de compilação, solos e geologia, sofreram algumas alterações tendo em vista uma primeira agregação de suas categorias (unidades) e criação de novas classes, caracterizando a segunda etapa do procedimento analítico-integrativo, onde há uma reorganização das categorias pela similaridade funcional destas em relação a problemática hidrológica e erosiva. Estes mapas, de solos e geologia, com agregação de classes são apresentados nas figuras 5 e 6, respectivamente. Após esta etapa foi realizado o cruzamento dos mapas, através de superposições executadas através da função CROSSTAB do programa IDRISI, o qual deu origem a uma série de mapas integrativos que permitiram a análise individual ou em conjunto das variáveis utilizadas. Em cima destes resultados foi feita uma análise preliminar, com redefinições de fatores, temas e pesos. Um exemplo deste procedimento foi o cruzamento do mapa de geologia com o de solos, onde a geologia serviu como um elemento controle, a medida que, a não ocorrência de algumas classes (combinações geologia-solos incoerentes de ocorrerem na natureza) serviu para validar a correção geométrica a qual foi imposta ao mapa de solos que possuía algumas distorções.

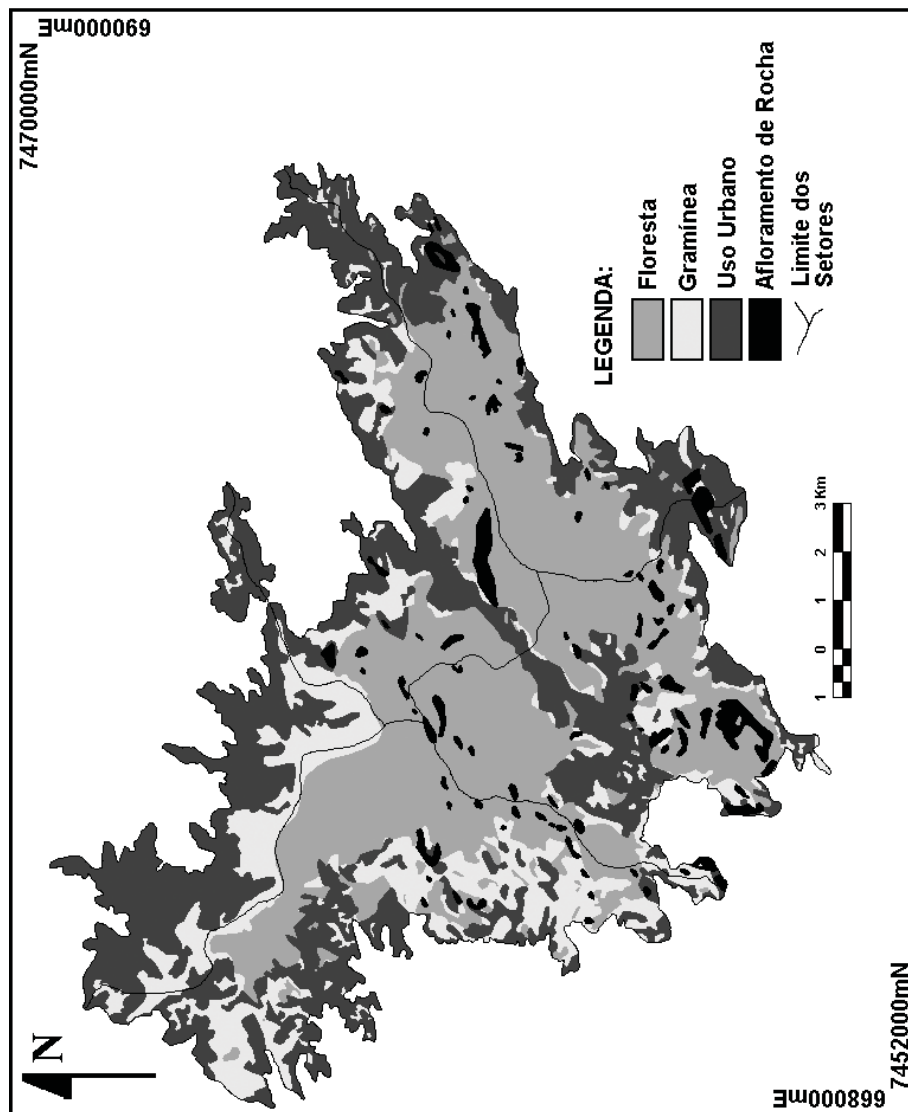


Figura 3 Mapa do uso e cobertura do solo do maciço da Tijuca em 1990.

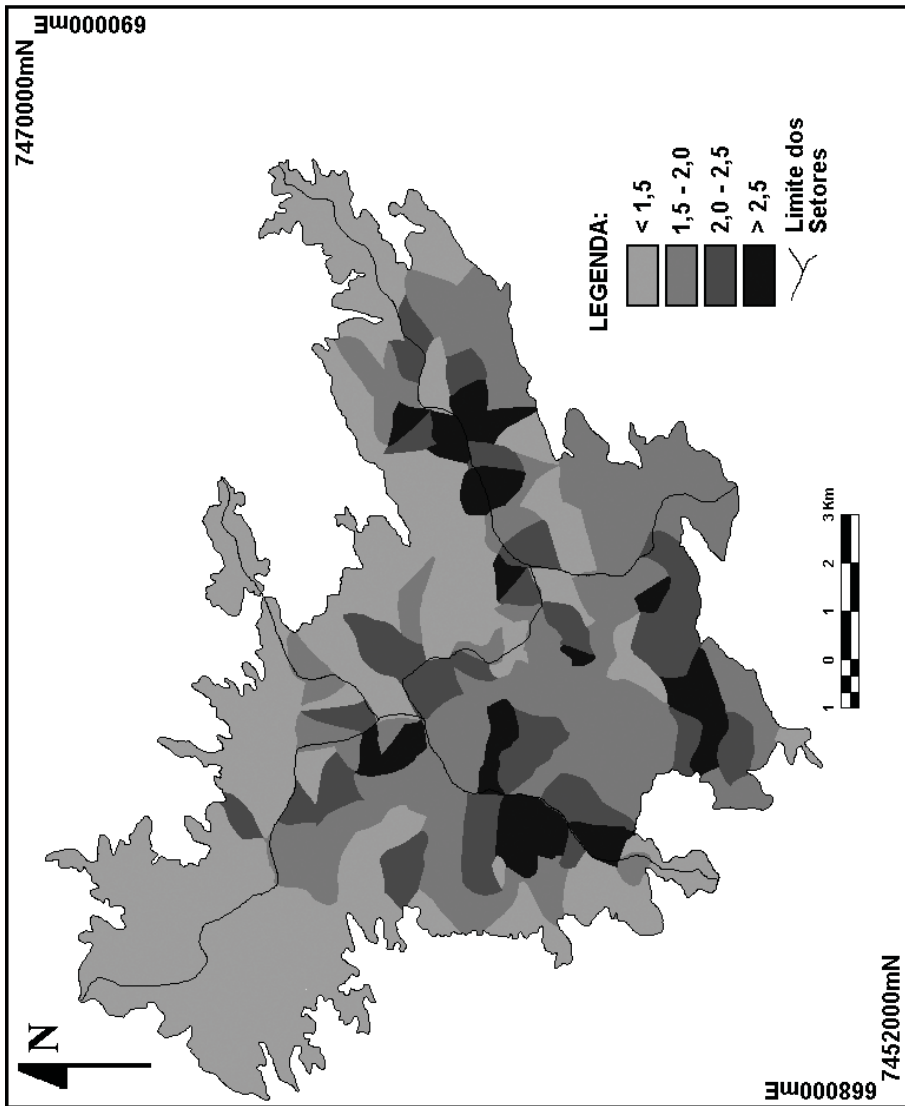


Figura 4 Mapa do índice de eficiência de drenagem do maciço da Tijuca.

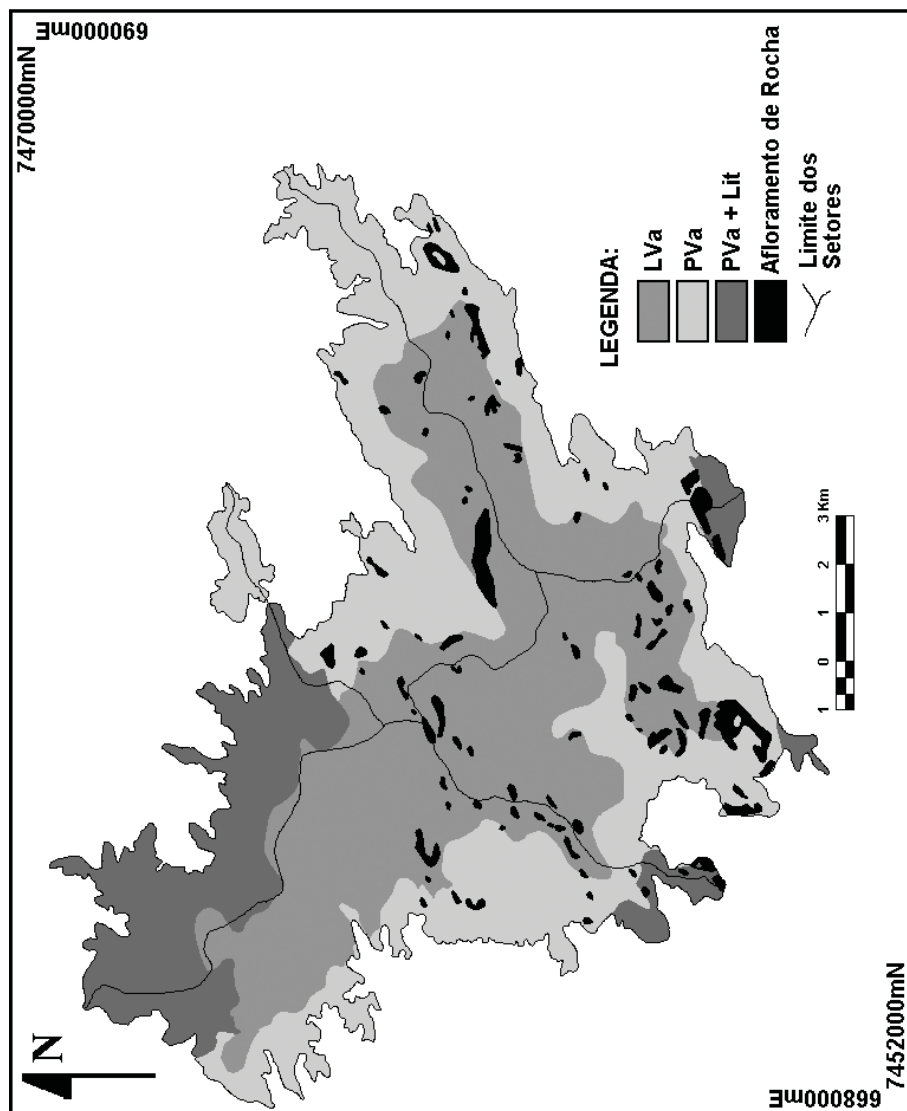


Figura 5 Mapa pedológico do maciço da Tijuca com agregação de classes.

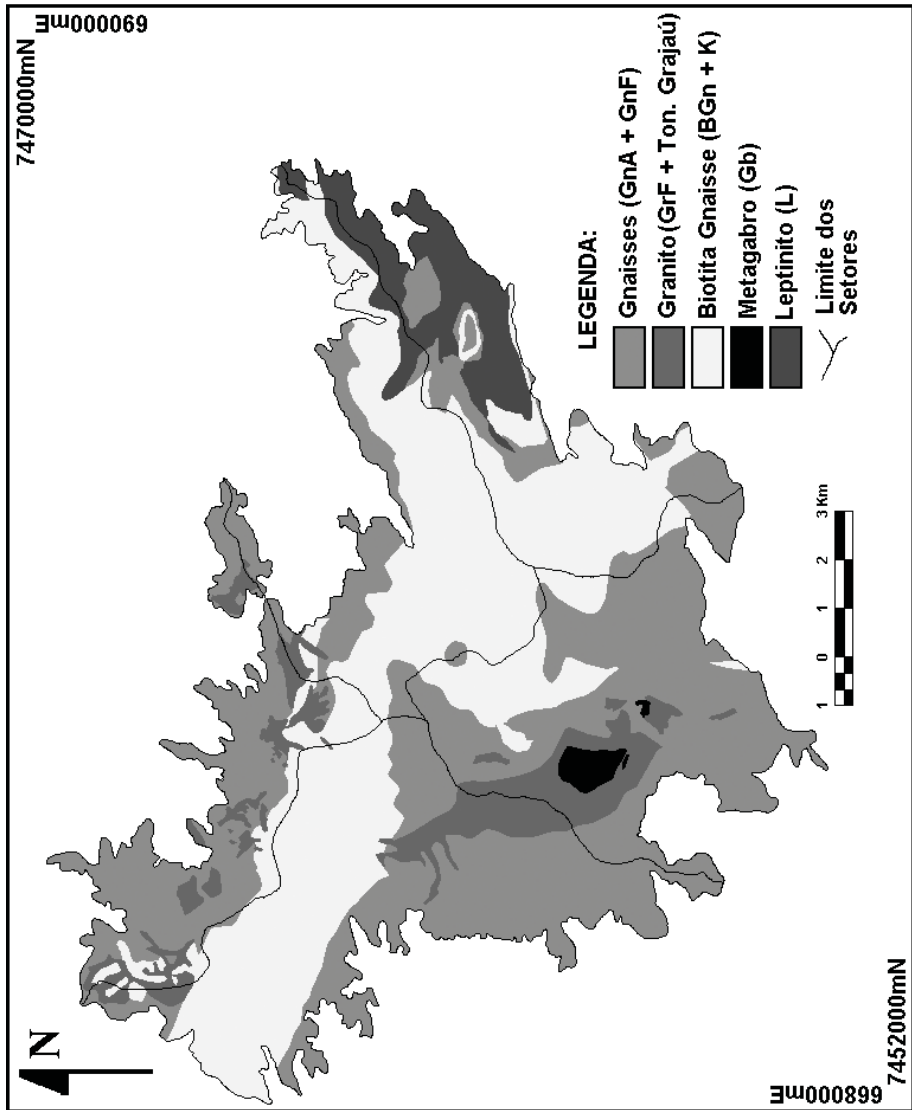


Figura 6 Mapa geológico do maciço da Tijuca com agregação de classes.

Esta última etapa do procedimento levou a uma nova fase de cruzamentos, e finalmente os resultados foram confrontados com os controles de campo e conhecimentos sobre a área, para a definição dos domínios geo-hidroecológicos em cada uma das referidas áreas, caracterizando assim, o método analítico-integrativo.

4 Resultados e Domínios Geo-Hidroecológicos

O resultado de todo o procedimento citado anteriormente deu origem a 12 domínios geo-hidroecológicos, levando-se em consideração o comportamento hidrológico e erosivo de cada uma das variáveis-controle abordadas (uso e cobertura do solo – Figura 3, índice de eficiência de drenagem – Figura 4, solos – Figura 5 e geologia – Figura 6). Estes domínios são representados na Figura 7, confoeme descritos a seguir. **Domínio I (DI)** - Este domínio é caracterizado pela presença das classes de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVa) e Podzólico Vermelho-Amarelo (PVa) em áreas de baixo índice de eficiência de drenagem, com cobertura florestal. Esta constituição é favorável a ocorrência de processos de infiltração e recarga d'água em subsuperfície, com provável formação de apenas fluxos de base e respostas muito lentas nos canais. **Domínio II (DII)** - É formado pela classe Latossolo Vermelho-Amarelo (LVa) com IED elevados em áreas de floresta, que favorecem os processos de infiltração e drenabilidade, mas ao contrário do domínio I (DI) possui uma resposta mais rápida no canal, face ao maior índice de eficiência de drenagem. **Domínio III (DIII)** - Possui uma constituição idêntica ao domínio II (DII), entretanto, ao invés de possuir Latossolos, é constituído pela classe Podzólico Vermelho-Amarelo (PVa). Neste sentido, possui as mesmas características de infiltração com escoamento subsuperficial lateral menos profundo do que nos Latossolos do domínio II (DII), tendo em vista a zona de descontinuidade hidráulica entre os horizontes A e Bt (horizonte B textural) desses solos. Esta característica associada a elevados índices de eficiência de drenagem podem causar movimentos de massa na base da encosta, visto o maior potencial de saturação neste local. Já nos PVa que também estão presentes no domínio I (DI) isto não ocorre, pois estão associados a baixos IED, que nestas áreas em específico são reflexos de baixos gradientes, os quais dificultam a ocorrência desses processos. **Domínio IV (DIV)** - Neste, como nos outros domínios com uso urbano (DIV, DV e DVI), foi assumido o valor de infiltração aproximadamente igual a zero com grandes valores de escoamento superficial, sendo assim as características do solo nesses domínios perderam importância, e se ressaltou, para análise dos processos hidrológicos e erosivos, a constituição do relevo expresso pelo índice de eficiência de drenagem. O domínio IV (DIV) é caracterizado pela ocorrência das 3 classes de solo, com índice elevado e em áreas urbanas, o que propicia a ocorrência de altas taxas de escoamento

Domínios Geo-Hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ:
 Subsídios ao Entendimento dos Processos Hidrológicos e Erosivos
Manoel do Couto Fernandes; André de Souza Avelar & Ana Luiza Coelho Netto

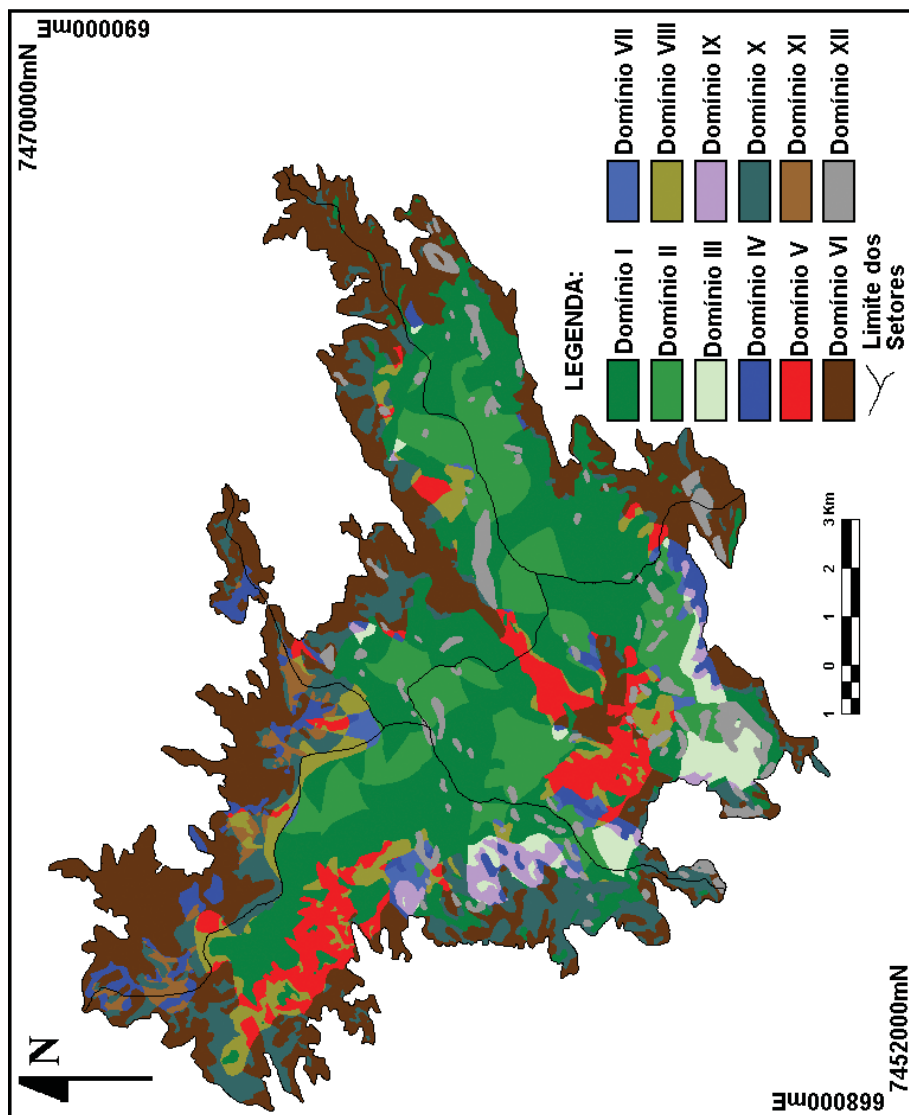


Figura 7 Mapa dos domínios geo-hidroecológicos do maciço da Tijuca.

superficial, podendo ser associadas a enxurradas com fluxos de águas e sedimentos (solo + lixo) e altas vazões nas saídas das bacias associadas a este domínio. **Domínio V (DV)** - Esse domínio é formado por Latossolo Vermelho-Amarelo (LVa) em áreas de índices baixos com uso urbano, onde o escoamento superficial também é elevado, assim como a possibilidade de enxurradas e altas vazões. Contudo, proporciona respostas no canal mais lentas do que as do domínio IV (DIV), face aos menores valores de índices de eficiência de drenagem. **Domínio VI (DVI)** - Possui as mesmas características do domínio V (DV), entretanto, é formado pela classe Podzólico Vermelho-Amarelo (PVa), que apesar de não representar uma variável de importância nesse domínio, onde o índice de infiltração foi considerado igual a zero, indica a localização deste nas áreas mais baixas do maciço e com pequenos gradientes, principalmente nos setores 1 e 2. Esta característica possibilita a ocorrência de todos os processos descritos no domínio V (DV), além de enchentes, as quais são comuns nessas áreas. Vale ressaltar que isto é uma peculiaridade de algumas áreas desse domínio, pois no setor 3 os baixos índices de eficiência de drenagem, é reflexo dos pequenos valores de densidade de eixos de concavidade, sem a ocorrência de baixos gradientes, e sim o contrário. Todavia, este domínio em associação com afloramentos rochosos em áreas de alto gradiente são bastante suscetíveis à detonação de movimentos de massa, como é o caso da favela do Vidigal que se situa nos arredores do morro Dois Irmãos. **Domínio VII (DVII)** - Este domínio como os próximos quatro (DVII, DIX, DX e DXI) tem em comum a cobertura de gramínea (capim), que possui valores de infiltração próximos aos das áreas de cobertura florestal. Entretanto, com o aumento das intensidades das chuvas aumenta também a possibilidade de escoamento superficial hortoniano. Além disso, existe a potencialidade de movimentos de massa relacionados a frágil constituição do sistema radicular deste tipo de cobertura, como já questionado nos capítulos anteriores. O domínio VII (DVII) é constituído por Latossolo Vermelho-Amarelo (LVa) em áreas de índice elevado com cobertura de gramínea, onde predominam os processos de infiltração e recarga para o fluxo de base. Ocorre também a possibilidade de escoamento superficial nos espaços inter touceiras, gerando respostas mais rápidas no canal interligado a estas áreas, do que nas com as mesmas características em áreas de florestas. **Domínio VIII (DVIII)** - Possui as mesmas feições do domínio VII (DVII), no que tange o tipo de solo e cobertura. Entretanto, o índice de eficiência de drenagem desse domínio é baixo, fazendo com que as respostas no canal, alimentado pelo fluxo de base e possível fluxo superficial hortoniano, seja mais lento do que no anterior. **Domínio IX (DIX)** - Este domínio tem cobertura pedogenética da classe Podzólico Vermelho-Amarelo (PVa) e elevado índice de eficiência de drenagem, com cobertura de gramínea. O processo de infiltração com percolação lateral é predominante. Contudo, na base das encostas o acúmulo d'água aliado a provável saturação do pacote do solo acima da zona de descontinuidade hidráulica, pode promover a ocorrência

de fluxos superficiais de saturação e exfiltração d'água por poro-pressão, com conseqüente movimento de massa. **Domínio X (DX)** - É caracterizado pela mesma cobertura de solo e uso do domínio IX (**DIX**). Todavia, o baixo índice de eficiência de drenagem, que o diferencia este domínio do **DIX**, pode facilitar o processo de saturação do solo que ocorre por toda área, e não somente na base das encostas. Entretanto, é aí que este processo ganha mais força, assim como a possibilidade de geração de fluxos superficiais de saturação e problemas erosivos associados a ele. **Domínio XI (DXI)** - Ocorre em áreas de índices baixos, associado a classe PVa + Litossolo com cobertura de gramíneas. Este domínio localiza-se quase que exclusivamente no setor 1, onde predominam amplamente Podzólico Vermelho-Amarelo (PVa) raso, face a não ocorrência de Litossolos neste setor, assim como os afloramentos de rocha aos quais estes solos estão associados. Esta cobertura pedológica que caracteriza esse domínio possui um pacote pouco espesso acima da zona de descontinuidade hidráulica, que facilita a ocorrência de fluxos superficiais de saturação mais rápidos do que nos domínios IX e X (**DIX** e **DX**), assim como, respostas mais rápidas nos canais e processos erosivos superficiais. **Domínio XII (DXII)** - Este domínio é constituído pelos afloramentos de rocha, que se constituem em centros de dispersão d'água, assumindo um papel importante na hidrologia das encostas, a medida que, define um comportamento hidrológico diferenciado nas encostas. Pois a água que escoia sobre a superfície impermeável da rocha e/ou fraturas, ganha capacidade de infiltrar-se no solo adjacente, aumentando o teor de umidade em profundidade no solo e caracterizando assim zonas de recarga subsuperficial (Coelho Netto, 1985). Portanto, as encostas influenciadas pela presença deste domínio apresentam-se mais úmidas principalmente em profundidade, alimentando assim o fluxo subsuperficial, como afirma Castro Jr. (1991), que registrou situações de saturação em solos adjacentes a paredões rochosos à 120cm de profundidade.

Quando este domínio é associado a solos rasos, como é o caso dos litossolos embutidos em todas as classes de solos analisadas e dos Podzólico Vermelho-Amarelo rasos da classe PVa + Litossolo, estas condições de umidade são atingidas rapidamente no solo como um todo, facilitando a ocorrência de movimentos de base deste pacote saturado, que se desloca sobre a superfície de cisalhamento. Esta superfície é a rocha nos casos dos Litossolos ou o horizonte B textural (Bt) dos Podzólico Vermelho-Amarelo rasos. Este quadro se agrava quando da instalação de feições urbanas, que são geralmente favelas, próximas a estas áreas.

Vale ressaltar que a concentração d'água de recarga em subsuperfície varia de acordo com as características do afloramento, tendendo a ser maior nos afloramentos onde o perímetro de contato com o solo, para onde drena esta água, em relação a área do afloramento é menor. Neste sentido, quanto

maior for o afloramento, ou seja, a superfície de captação d'água e menor o perímetro, maior será a quantidade e concentração d'água para recarga em subsuperfície, como é o caso do afloramento próximo a área da Usina na Tijuca. Neste ponto de contato afloramento-solo, onde ocorrem estas condições, será maior a potencialidade de criação de zonas de saturação e de movimentos de massa, principalmente nos solos citados acima. Estes afloramentos foram divididos em 2 classes de maior ($<11\text{km}/\text{km}^2$) e menor ($>11\text{km}/\text{km}^2$) concentração d'água na linha de contato afloramento-solo, e são demonstrados na figura 8. Além desta característica hidrológica, vale ressaltar que próximo a esses domínios ocorre uma grande presença de blocos de diversos tamanhos embutidos na matriz do solo, os quais tendem a mergulhar e diminuir a sua intensidade de ocorrência em direção a áreas mais baixas. Estes blocos também podem influenciar na dinâmica hidrológica e erosiva dos domínios adjacentes a estes afloramentos, a medida que, altera o comportamento da água em subsuperfície. Segundo Coelho Netto (1992), estes blocos funcionam como superfícies impermeáveis e como barreira aos fluxos laterais nas encostas, provocando uma concentração ao redor dos mesmos e promovendo um desvio das águas e da distribuição da umidade, acarretando maiores tensões negativas à jusante destes blocos. Para eventos de chuvas maiores em períodos úmidos, a concentração de fluxos pode desencadear erosão ao redor dos blocos, formando túneis erosivos à montante e na lateral, pelo menos dos blocos de maior porte. Esses túneis podem então, atuar como drenos naturais aliviando as poro-pressões positivas no solo e reduzindo desta forma, as condições de ruptura da estabilidade dos materiais das encostas.

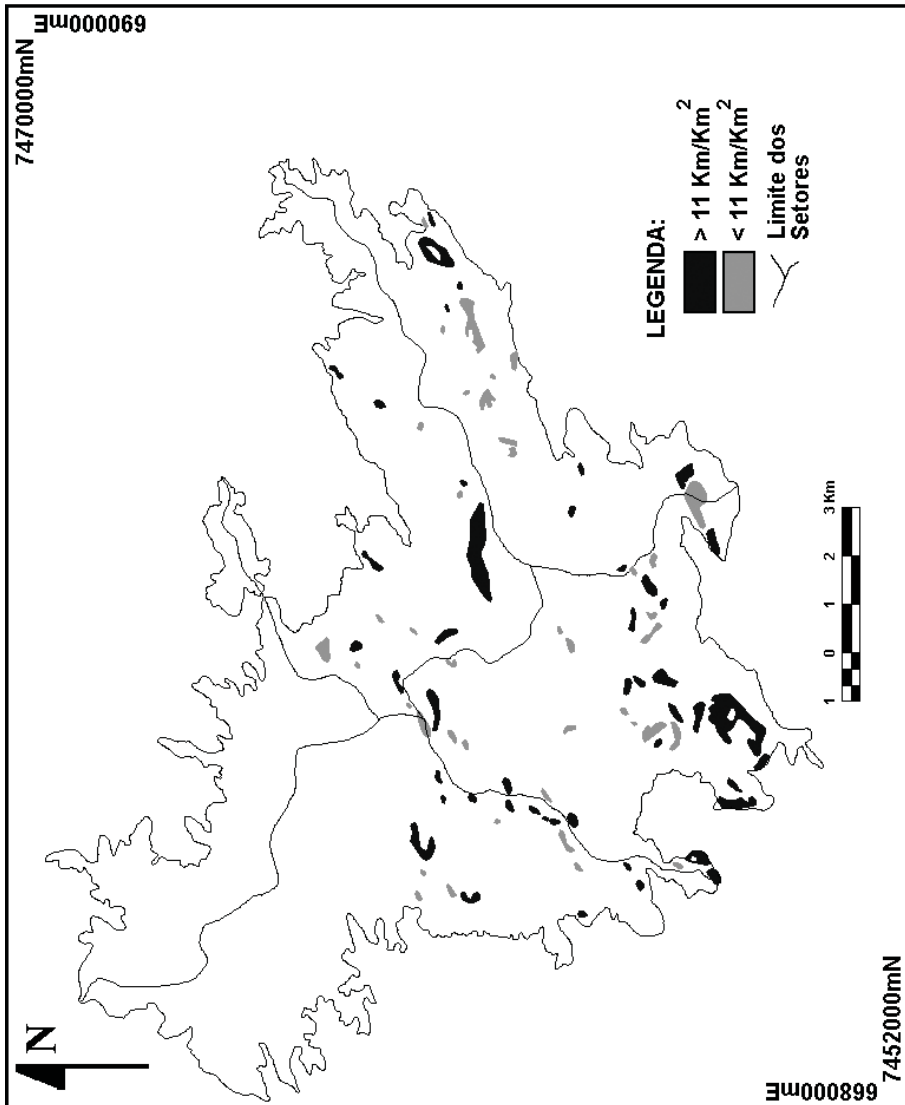


Figura 8 Mapa de classes dos afloramentos de rocha por concentração d'água na linha de contato afloramento-solo.

5. Considerações finais

A distribuição destes domínios pelo maciço da Tijuca e seus cinco subsistemas de drenagem (setores) se dá de maneira heterogênea, e pode ser analisada através da Figura 9. Os mais expressivos no maciço como um todo são os domínios VI, I, II e X, ocupando 27,4%, 26,5%, 11,8% e 9,6% da área total, respectivamente.

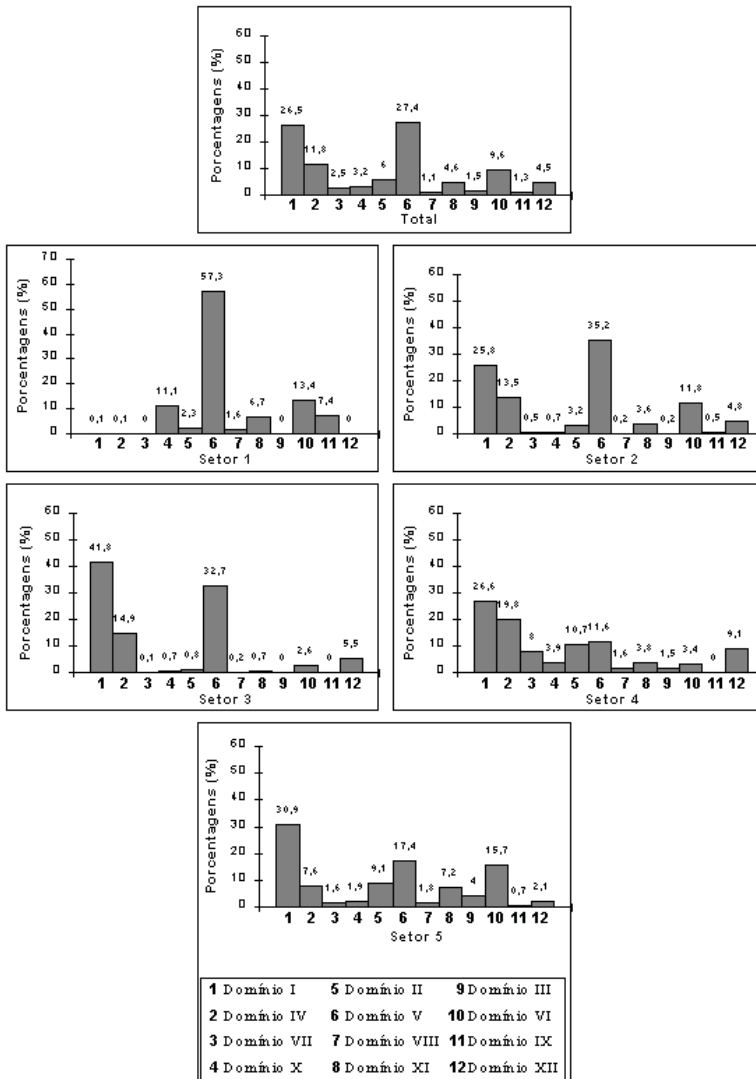


Figura 9 Histograma da distribuição por setores dos domínios geo-hidroecológicos.

No setor 1 o principal domínio é o VI com 57,3% da área deste, seguido do X (**DX**), com apenas 13,4%. Esta distribuição vem a corroborar os freqüentes problemas ligados a enchentes neste setor, visto as características do domínio VI (**DVI**), que se situa justamente nas partes mais baixas, onde ocorrem também pequenos valores de gradientes (Figura 10). Além disso, as manchas de domínio X (**DX**), que se situam à montante do domínio VI (**DVI**), colaboram também para o acúmulo d'água e sedimentos nas áreas mais baixas deste setor, face também a possibilidade de escoamento superficial neste domínio. Assim, estas características somadas à deficiência da rede de águas pluviais, nesta área de subúrbio, facilitam os processos de enchentes.

Neste setor, os altos valores de degradação florestal contribuem decisivamente para a definição desses domínios mais expressivos. Neste sentido, a maior concentração urbana neste setor, assim como a de gramínea, como podem ser vistos na figura 3, são fundamentais para o predomínio dos domínios citados acima.

Nos setores 2 e 3 predominam os domínios I, II e VI, entretanto, no 2 o de maior expressão é o VI (**DVI**), e no 3 é o I (**DI**). Esta variação é que faz o setor 2 em relação ao 3, possuir mais problemas ligados a processos erosivos e enchentes, como foi avaliado por Cambra & Coelho Netto (1997), para chuvas de mesma intensidade em março de 1993. Pois o domínio I (**DI**), que caracteriza áreas florestais, possui uma menor potencialidade de ocorrência de problemas erosivos do que o domínio VI (**DVI**), de área urbana com baixos índices de eficiência de drenagem. Já o setor 4 possui amplamente a cobertura dos domínios I e II, que caracteriza uma grande ocorrência de áreas ocupadas por domínios pouco propícios a problemas erosivos. Nestes três últimos setores, apesar de possuírem características de relevo (gradiente - Figura 10, densidade de eixos de concavidade – Figura 11 e índice de eficiência de drenagem – figura 4) e de solos semelhantes, ocorrem diferentes domínios predominantes, que variam basicamente de acordo com o uso do solo. Exemplos são os domínios VI e I que só se diferenciam pelo tipo de uso, onde este último tem maior representatividade justamente nos setores 3 e 4, onde sobressai a cobertura florestal. No setor 2 a malha urbana é maior que nos outros dois, e conseqüentemente o domínio VI (**DVI**) tem maior destaque.

O setor 5 possui uma boa ocorrência dos domínios VI e X nas áreas à jusante deste setor, indicando uma alta probabilidade de ocorrência de enchentes na base deste e na baixada adjacente. Na área à montante é bastante expressivo o domínio I (ri:**DI**), onde apesar dos baixos índices de eficiência de drenagem, ocorrem altos valores de gradiente, onde em eventos de chuvas extremos podem ser detonados processos erosivos de ordem catastrófica, os quais possuem condições de atingir as áreas mais à jusante deste setor, como os ocorridos em fevereiro de 1996 (Figura 12).

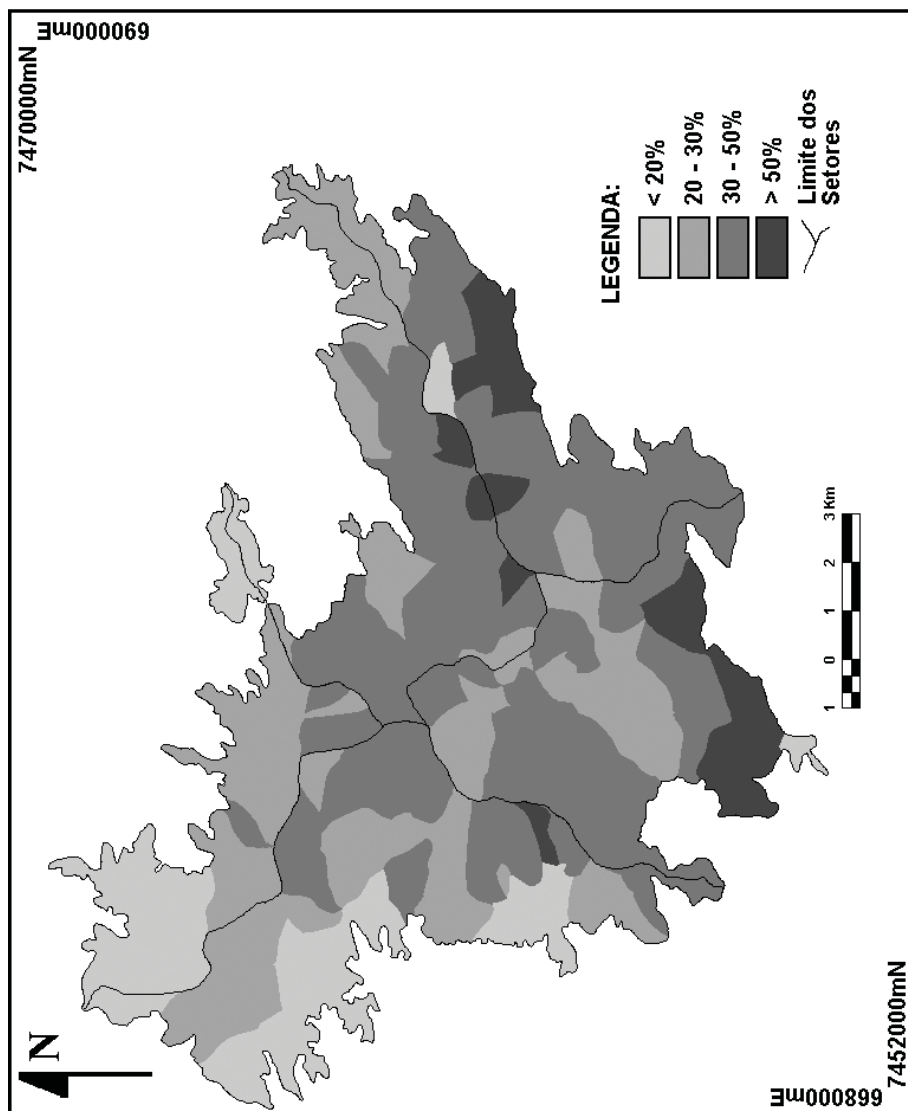


Figura 10 Mapa gradiente topográfico do maciço da Tijuca.

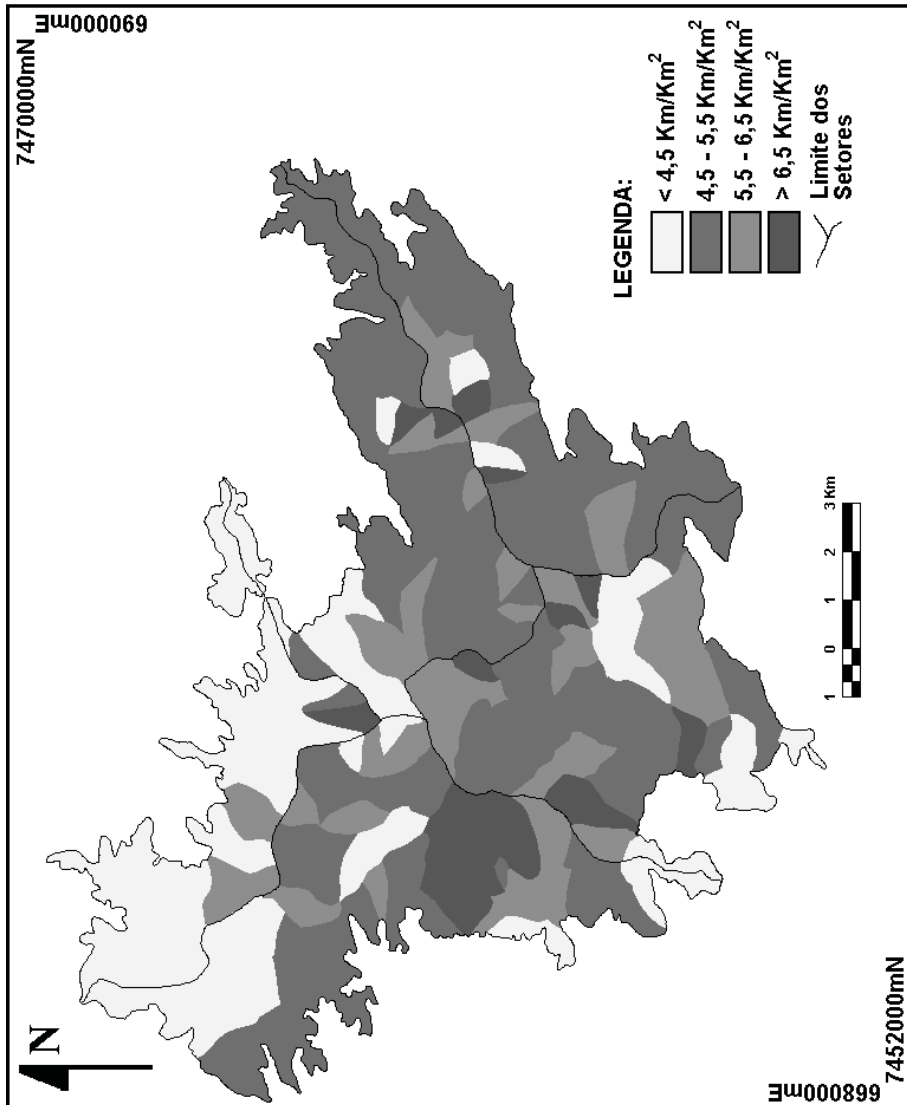


Figura 11 Mapa de densidade de eixos de concavidades do maciço da Tijuca.

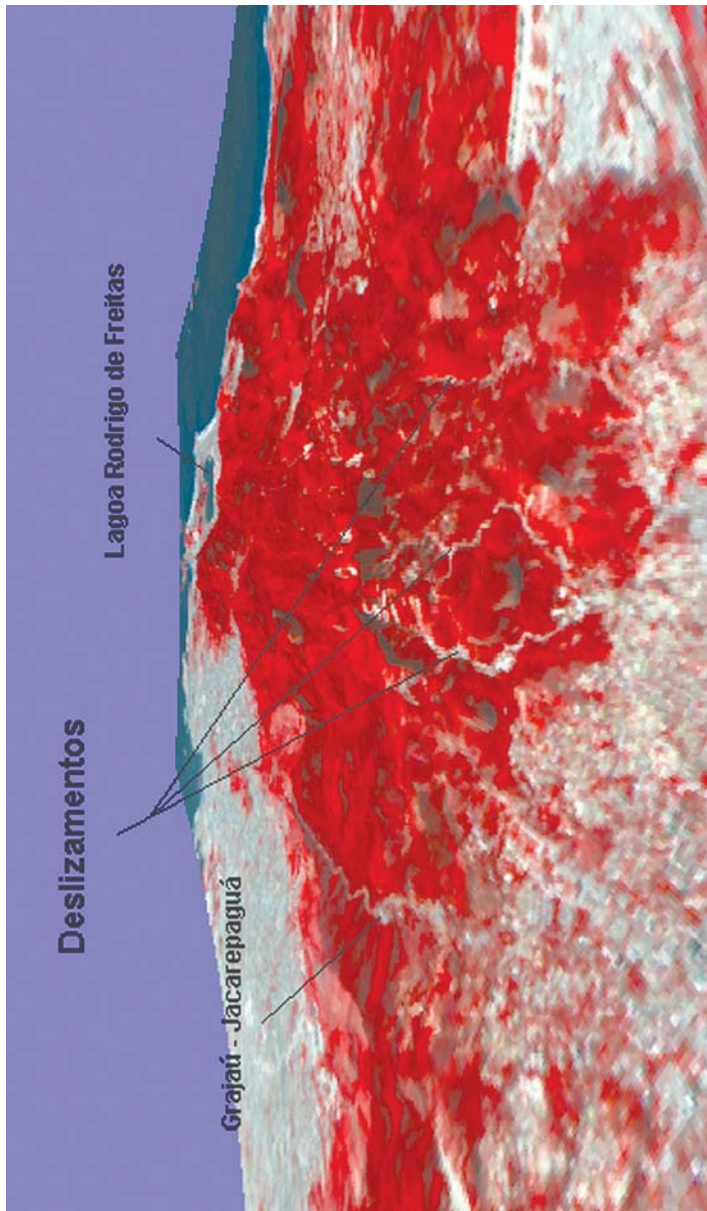


Figura 12 Deslizamentos no setor 5 em 1996 – imagem Spot (Xs) sobreposta ao Modelo Digital de Elevação.

Analisando separadamente as variáveis-controle eleitas, podemos perceber que as que mais variam por setores são o índice de eficiência de drenagem (Figura 4) e o uso e cobertura do solo (Figura 3). Neste sentido os setores 2, 3 e 4 possuem características de acordo com o relevo mais propícios a problemas erosivos, reflexos dos altos gradientes e densidade de eixos de concavidade, o que não ocorre nos setores 1 e 5. Por outro lado, os baixos valores de degradação da cobertura florestal nos setores 3 e 4 minimizam a probabilidade de ocorrência de processos erosivos nestes setores como um todo. Todavia nas áreas degradadas, principalmente de uso urbano, concentram-se em larga escala esses processos, como é o caso das ocorrências em favelas visto anteriormente. E é justamente essas áreas que conferem a alta concentração, de aproximadamente 48%, de processos erosivos no maciço da Tijuca em relação a cidade do Rio de Janeiro. Esses processos se concentram, de 1951 até 1996, no setor 2, e também nos 3 e 4 (Figura 13), os quais apesar de possuírem pequenas áreas de uso urbano em relação aos outros setores, estas estão situadas em áreas de altos índices de eficiência de drenagem, ou pelo menos altos gradientes. Já nos setores 1 e 5 que possuem concentração de uso urbano maiores que o 3 e 4, estas são localizadas em áreas de índices de eficiência de drenagem baixo, com baixos valores de gradiente e densidade de eixo de concavidade.

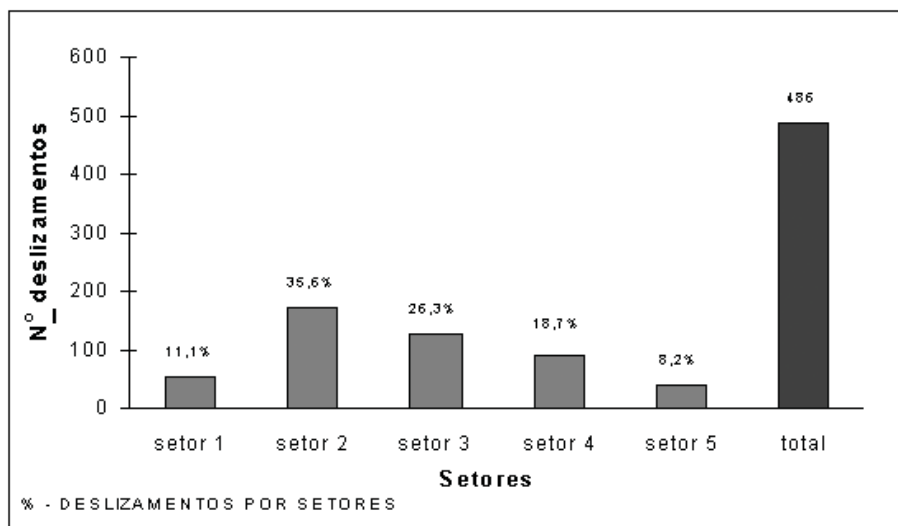


Figura 13 Histograma do número de deslizamentos no maciço da Tijuca entre 1951 e 1996.

Face ao exposto acima, fica claro que as alterações no uso e cobertura do solo, resultado direto da atuação dos vetores atmosféricos e terrestres são de fundamental importância para a distribuição dos processos erosivos do maciço da Tijuca. Assim, se a degradação florestal que ocorrem nos setores 1, 2 e 5 ocorresse com mesma intensidade nos 3 e 4, a gama de problemas erosivos no maciço teria dimensões muito maiores, assim como nas áreas mais preservadas dos setores 2 e 5, as quais também possuem características geomorfológicas semelhantes as de ampla ocorrência nos setores 3 e 4. Neste sentido, medidas preventivas devem ser tomadas para evitar o constante processo de degradação que atinge o maciço com um todo, e também deve ser fomentado o processo de recuperação de áreas degradadas, através de pesquisas e projetos voltados à prática de reflorestamento.

6 Referências

- Amaral, C.P. 1996. *Escorregamentos no Rio de Janeiro: inventário, condicionantes geológicos e redução do risco*. Tese de Doutorado, Engenharia Civil/PUC, Rio de Janeiro, 284 p.
- Cambra, M.F.E. & Coelho Netto, A.L. 1997. A cidade do Rio de Janeiro e as chuvas de março/93: (Des)organização urbana e inundações. *Anuário do Instituto de Geociências*, 20: 55-67.
- Castro Jr., E. 1991. *O papel da fauna endopodônica na estruturação física do solo e seu significado para a hidrologia de superfície*. Dissertação de Mestrado, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 150p.
- Chorley, R.J. 1962. *Geomorphology and the General Systems Theory*. U.S. Geol. Survey, Professional Paper, 500-B:10p.
- Coelho Netto, A.L. & Dantas, M.E. 1996. Recursos Hídricos. In: MITCHEL, G. & XIMENES, M. (org.). *Mata Atlântica no município de Angra dos Reis*, editado por Furnas Centrais Elétricas, Cap. 4, p. 111 - 150.
- Coelho Netto, A.L. 1985. *Surface hidrology and soil erosion in a tropical rainforest drainage basin, Rio de Janeiro*. PhD. Thesis University of Leuven, Belgium, 181 p.
- Coelho Netto, A.L. 1992. A Geomorfologia Frente aos Problemas Ambientais. In: WORKSHOP DE GEOCIÊNCIAS, 1, gráfica do IGEO, Anais, *Anuário do Instituto de Geociências*, 15: 157-162.
- Coelho Netto, A.L. 1994. Hidrologia de encostas na interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (org.). *Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos*, Ed. Bertrand Brasil, 3, p. 93-148.

- Coelho Netto, A.L.; Avelar, A.S.; Fernandes, M.C. & Lacerda, W.A. 2006. Landslide Susceptibility in a Mountainous Geoecosystem, Tijuca Massif, Rio de Janeiro: The Role of Morphometric Subdivision of the Terrain. *In: GEOMORPHOLOGY*. Aceito para publicação.
- Coelho Netto, A.L.; Dantas, M.E. & Rosas, R.O. 1993. Grandes domínios geoecológicos da Amazônia Legal (1:2.500.000): bases para o estudo dos efeitos de borda das linhas de transmissão de energia a serem implantadas na Amazônia florestal. Relatório solicitado pela ELETROBRÁS, 26 p.
- Coelho Netto, A.L.; Fernandes, N.F. & Deus, C.E. 1988. Gullying in the southeastern brazilian plateau Bananal, SP., Sediment Budgets, *In: BORDAS, M.R. & WALLING, D.E. (eds.). IAHS Publications, 174: 35 - 42.*
- Dunne, T. & Leopold, L.B. 1986. Water Environmental Planning. Ed. W.H. Freeman & Company, San Francisco, 818p.
- EMBRAPA/CNPS. 1980. Levantamento semidetalhado e aptidão agrícola dos solos do município do Rio de Janeiro, RJ. EMBRAPA/CNPS, Rio de Janeiro, RJ, *Boletim Técnico, 66*, 389 p.
- Fernandes, M.C. 1998. *Geoecologia do maciço da Tijuca-RJ: uma abordagem Geo-Hidroecológica*. Dissertação de mestrado, Departamento de Geografia, IGEO/UFRJ, Rio de Janeiro, 141p.
- Gilbert, G.K. 1887. Report on the Geology of the Henry Mountains. U.S. Geogr. Geol. Sunney Rocky Mountain Region, p.18-98.
- Gregory, K.J. & Walling, D.E. 1973. *Drainage Basin Form and Process: A Geomorphological Approach*. John Wiley and Sons, Inc, 456p.
- Heilbron, M.; Pires, F.R.M.; Valeriano, C. & Bessa, M.P. 1993. Litoestratigrafia, Evolução tectono-metamórfica e Magmatismo no Precambriano do setor sudeste do município do Rio de Janeiro. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 1*, Rio de Janeiro UERJ, *Atas:174-179.*
- Helmbold, R.; Valença, J.G. & Leonardos, O.H. 1964. Mapa geológico do estado da Guanabara. Ministério das Minas e Energia - Divisão de Geologia e Mineralogia.
- Meis, M.R.M.; Miranda, L.G.H. & Fernandes, N.F. 1982. Desnívelamento de altitude como parâmetro para a compartimentação do relevo: bacia do Médio Vale do rio Paraíba do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32*, Salvador, *Anais, 4: 1489-1509.*
- Oliveira, M.A.; Coelho Netto, A.L. & Avelar, A.S. 1994. Morfometria de encostas e desenvolvimento de boçorocas no médio vale do rio Paraíba do Sul, *Geociências, 13*, 9 - 23.
- Rosas, R.O. & Coelho Netto, A.L. 1994. Definição de domínios geo-hidroecológicos como subsídios ao planejamento ambiental: o método analítico integrativo

aplicado ao maciço da Tijuca. 148 *In: Encontro Brasileiro de Ciências Ambientais*, 1, Rio de Janeiro, *Anais*, p. 95 - 61.

Strahler, A.N. 1952. Equilibrium theory of erosional slopes approaches by frequency distribution analysis. *American Journal of Science*, 248: 673-696.