
ANÁLISE DA FRAGILIDADE DO RELEVO. ABORDAGEM EMPÍRICO-EXPERIMENTAL

Sílvio C. Rodrigues

Prof. Dr. Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia

RESUMO: *Este trabalho apresenta uma metodologia de avaliação da fragilidade do relevo – solo com base na correlação de dados cartográficos, experimentos de campos e análises de laboratório. a proposta metodológica tem como base a utilização de informações detalhadas das características do ambiente que interferem na manutenção do equilíbrio do relevo, seja em condições naturais, ou em áreas onde a intervenção humana alterou a dinâmica superficial e condiciona o desenvolvimento de processos de desestabilização do relevo. Como resultado da pesquisa foram produzidos documentos cartográficos, como os mapas de uso da terra, fragilidades potenciais associadas as inclinações das vertentes, geomorfológico e de fragilidade do relevo e uma série de experimentos de campo, como os ensaios de resistência a penetração e coletadas diversas amostras de solo, que posteriormente foram analisadas e tratadas estatisticamente.*

Palavras chave: Geomorfologia, planejamento ambiental, fragilidade do relevo.

ABSTRACT: *This paper presents a methodology of evaluation of the fragility of the relief - soil with base in the correlation of cartographic data, fields experiments and laboratory analyses. the methodological proposal has as base the use of detailed information of the characteristics of the environment that they interfere in the maintenance of the equilibrium of the relief, be in natural conditions, or in areas where the human intervention altered the superficial dynamics and it conditions the development of processes of desestability of the relief. As a result of the research, cartographic documents were produced, as the maps of landuse, associated potential fragilities of the inclinations of slopes, geomorphological and of fragility, and a series of field experiments, as the resistance rehearsals the penetration and collected several soil samples, that later on were analyzed and they sustained statistical treatment. The obtained results demonstrate that it is possible the application of this methodology in humid tropical areas, being indicated for studies of physical-territorial planning in detail scales.*

Key words: geomorphology, landform fragility, environmental planning

1 - INTRODUÇÃO

A superfície das vertentes é controlada por variáveis internas e externas. Da relação de forças entre estas variáveis depende o equilíbrio

dinâmico do relevo. Tradicionalmente as áreas de relevo fortemente dissecado e com altas declividades são consideradas como áreas desfavoráveis à ocupação urbana, pois possuem alta fragilidade e, portanto maior potencialidade

ao desenvolvimento de processos erosivos e movimentos de massa. O estabelecimento de parâmetros que indiquem quais os reais limites à ocupação de uma determinada forma de relevo devem respaldar-se em informações qualitativas e quantitativas que expressem a realidade de cada forma de relevo. A avaliação geomorfológica deve permitir a obtenção deste tipo de resultado, utilizando-se para isto de métodos e técnicas pertinentes.

Os sistemas naturais não são estáticos, variando com o tempo. Entretanto, o conjunto de inter-relações que compõem uma paisagem possui alguma duração, assim como a alteração das paisagens também se processa ao longo do tempo. A esculturação das formas de relevo possui uma dinâmica natural própria, regida por leis da natureza. Os processos como intemperismo físico-químico, radiação solar, gravidade, atividade biológica e diversos outros fenômenos universais, atuam de forma exogenética, enquanto a disposição das litologias e das estruturas foram moldadas por fenômenos da dinâmica interna como, por exemplo, o tectonismo e magmatismo que atuaram e atuam de forma endogenética.

O homem, porém, visualiza apenas uma pequena parcela da escala têmporo-espacial. A observação micro-física da natureza revela situações diferentes das visíveis à escala humana de observação. Chorley *et al.* (1984) ao analisarem os sistemas geomorfológicos apresentam 4 tipos de equilíbrio em função da escala temporal adotada e do tipo de fenômeno observado: (1) equilíbrio declinante (*decay equilibrium*); (2) estado de estabilidade (*steady state equilibrium*); (3) equilíbrio dinâmico (*dynamic equilibrium*); (4) equilíbrio dinâmico meta-estável (*dynamic metastable equilibrium*).

Deve-se, porém, reconhecer que qualquer modificação realizada em qualquer componente de um sistema em equilíbrio dinâmico reflete-se de uma forma ou de outra sobre as demais componentes do sistema modificando as interações entre energia e massa e, portanto, o estado de equilíbrio do sistema. A atuação humana sobre o meio físico é um componente externo ao processo de evolução natural das formas de relevo e que hoje é altamente condicionadora dos processos geomorfológicos que atuam na evolução do relevo. A ação humana ocorre de forma direta no modelamento das formas de relevo, seja do ponto de vista de uma modificação direta do relevo, como no caso de cortes, aterros, abertura de sistema viário, impermeabilização do solo, criação de nova morfologia através das edificações nas áreas urbanas, seja pela exposição do solo aos agentes climáticos nas áreas rurais, através da retirada da cobertura vegetal, aração, gradeação e outras formas de movimentação de terra.

Estas intervenções no relevo alteram as taxas de operação e provocam adaptações dos processos geomorfológicos à nova situação ambiental implementada pelas intervenções antrópicas no relevo. Como exemplo destaca-se a alteração da direção e da dinâmica dos fluxos hídricos, através da formação de reservatórios, canalizações de rios e de águas pluviais e alterações de perfis de vertentes a partir da realização de cortes, aterros, entre outros.

A questão da perda da qualidade ambiental pode ser enfocada a partir da relação entre condicionantes do meio físico e as atividades humanas. Segundo Drew (1986), observa-se naturalmente que os processos de alteração do relevo ocorrem com uma circulação de energia antes difusa do que concentrada. Dessa

forma, não são facilmente “controláveis”. Os pontos de influência são poucos e altos os limiares a alterar; as mudanças feitas pelo homem são antes locais do que regionais e mais intensivas do que extensivas.”.

Situações desfavoráveis à ocupação, como os casos observados acima, necessitam ser melhor entendidas e dimensionadas. Para isso, deve-se realizar uma análise profunda das características do meio físico em relação às condições que este oferece ao assentamento urbano de alta densidade, com a preocupação de se buscar uma harmonia entre as formas de ocupação e as diversas características ambientais existentes.

Os trabalhos de geomorfologia, que abordam o tema da alteração antrópica ou de planejamento urbano geralmente, são encontrados em várias escalas, podendo abranger grandes áreas como Estados e Municípios. Quando trabalhada em escalas de detalhe, a geomorfologia compreende o estudo de pequenas bacias hidrográficas ou parcelas menores do terreno, subdividida em loteamentos. Trabalhos práticos, como o elaborado por Lima (1991) enfocando a alteração do relevo em uma pequena bacia hidrográfica afluente da represa Guarapiranga, indicam um dos caminhos freqüentes da análise geomorfológica, que é a constatação das alterações antrópicas do relevo e o resultado deste na dinâmica ambiental local. Outro exemplo de abordagem geomorfológica é o trabalho Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano (IPT, 1986), que apresenta uma caracterização do relevo, do substrato rochoso e da dinâmica superficial.

Entretanto, essas escalas até então trabalhadas estão muito distantes das realidades locais de cada assentamento urbano e, apesar de serem úteis para o planejamento urbano, não são suficientes para entender grande parte dos

problemas que surgem com os assentamentos clandestinos ou ilegais, que se proliferam na periferia da Região Metropolitana da Grande São Paulo.

A geomorfologia pode, e deve, contribuir para a análise desta problemática, pois dentro de uma visão integrada do ambiente e trabalhando em escalas apropriadas aos fenômenos estudados ela propicia o entendimento do funcionamento e as inter-relações entre os parâmetros morfométricos e estruturais das vertentes e as possibilidades de ocupação destas para o uso urbano. Para isto estudos qualitativos e quantitativos dos materiais superficiais aliados a uma análise morfográfica de detalhe podem permitir um avanço na análise geomorfológica.

Este trabalho, portanto, tem como principal objetivo analisar os aspectos da relação relevo-solo na fragilidade de relevos muito dissecados esculpido em rochas cristalinas no ambiente tropical úmido. Neste sentido, estabeleceu-se uma análise integrada dos produtos de origem cartográfica com os resultados das avaliações e correlações obtidas a partir das características do material superficial. O resultado desta análise poderá servir para implementar um aprimoramento no modelo de análise da fragilidade do relevo, buscando elucidar, parcialmente, o jogo de forças internas e externas que atuam na dinâmica de vertentes.

Para alcançar este objetivo geral formularam-se alguns objetivos específicos que permitiram uma análise mais particularizada dos fatos. Entre estes estão:

- Elaboração da cartografia geomorfológica de detalhe.
- Aprimoramento da análise da fragilidade do relevo com inserção de dados sobre o solo

- Elaboração de experimentos de campo como a utilização do penetrômetro manual.
- Avaliação precisa do comportamento do solo em função da dinâmica superficial atual.
- Confeção de Carta de Fragilidade do Relevo

2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

Tendo em vista os pressupostos da pesquisa tem-se como principais questionamentos metodológicos as questões referentes a escala tempo-espacial, a cartográfica geomorfológica e a ocupação urbana.

2.1 - A QUESTÃO TÊMPORO-ESPACIAL

A questão temporal apresenta-se como uma variável que os estudos geomorfológicos

enfocam com dificuldade ou deixam à margem da pesquisa. Nos trabalhos que abrangem grandes superfícies, a questão temporal é avaliada dentro da escala geológica do tempo. Nos estudos mais localizados, este problema torna-se mais grave, pois a escala do tempo geológico nem sempre satisfaz o enfoque adotado, sendo difícil adotar outros intervalos menores de tempo envolvidos nos processos ou na esculturação do relevo de determinadas áreas. Esta preocupação é encontrada no trabalho de Mercerjakov (1968) quando analisa o problema de classificação do relevo da Terra. Neste trabalho foi apresentada uma esquematização das morfotecturas, morfoestruturas e morfoesculturas segundo diferentes ordens espaciais, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Esquema Geral de Classificação do Relevo da Terra (adaptado de Mercejakov, 1968)

Superfície em Km ²	Elementos Morfoestruturais (morfotectônica do Relevo de continentes e depressões oceânicas)	Categorias Morfoesculturais do Relevo (Terra Firme)	Categorias Morfoesculturais do Relevo (Fundo dos Oceanos e Mares)
10 ⁷ a 10 ⁶ .	Morfotecturas de 1a. ordem - massas continentais (incluindo as plataformas continentais) depressões oceânicas)	Zonas morfoesculturais (morfoclimáticas) zonas de morfoesculturas criogênica, glacial, fluvial, árida e outras	Zonas morfoesculturais: -zonas circumpolares de formas glaciais - zonas de altitudes temperadas - zonas tropicais e equatoriais
10 ⁶ a 10 ⁵	Morfotecturas de 2a. ordem planos de plataforma, zonas montanhosas (orogênicas)		
10 ⁵ a 10 ³	Morfoestruturas de 1a. ordem - planaltos, baixas regiões planas, cadeias de montanhas, depressões extensas, etc.	Províncias morfoesculturais, províncias de morfoesculturas fluvial de tipo Mediterrâneo, províncias de erosão glacial, províncias de acumulação, etc.	
10 ³ a 10 ²	Morfoestruturas de 2a. ordem - bombeamentos tectônicos marcados no relevo, depressões tectônicas, etc.	Regiões morfoesculturais de morainas frontais, regiões de relevo cárstico, etc	
10 ² a 10	Morfoestruturas de 3a. ordem - anticlinais marcadas no relevo, fossas recentes, cumeadas, etc.	Formas particulares do relevo determinadas sobretudo pelos fatores exogenéticos. Vales fluviais, formas cársticas, etc.	Vales submarinos, formas de acumulação de icebergs.
10 a 10 ⁻¹	Microrrelevo tectônico, diques, fendas.	Pequenas formas de relevo de origem exógena. Solos poligonais, pequenos hidrolacólitos.	

Tentando resolver esta questão Tricart (1965) apresenta uma proposta de classificação taxionômica dos fatos geomorfológicos na qual as unidades de superfície têm correspondência com diferentes escalas temporais. Esta classificação associa diferentes unidades da superfície da Terra a diferentes unidades espaço-temporais. Tabela 2.

Tabela 2 – Tabela Sinótica. Classificação taxionômica dos fatos geomorfológicos. (adaptado de Tricart, 1965)

Unidade em Km ²	Características das Unidades, exemplos	Unidades climáticas correspondentes	Mecanismos genéticos que comandam o relevo	Ordem de grandeza temporal
10 ⁸	Continentes, Bacias Oceânicas (configuração do Globo)	Grandes conjuntos zonais comandados pelos fatores astronômicos	Diferenciação da crosta terrestre, Sial e Sima	10 ⁹ anos
10 ⁶	Grandes conjuntos estruturais (Escudo Escandinavo, Bacia do Congo)	Grandes tipos de climas (interferência de influências geográficas através de fatos astronômicos).	Movimentos da crosta terrestre, como formação de geosinclinais. Influências climáticas sobre a dissecação	10 ⁸ anos
10 ⁴	Grandes unidades estruturais (Bacia de Paris, Maço do Jura, Maço Central)	Nuances dentro dos tipos climáticos, mas com pequena importância para a dissecação.	Unidades tectônicas que podem ter ligações com a paleogeografia. Velocidade de dissecação influenciada pela litologia	10 ⁷ anos
10 ²	Unidades tectônicas elementares: maciços, montanhas, horst e fossas	Climas regionais influenciados geograficamente sobretudo nas regiões montanhosas	Influência predominante da tectônica, secundariamente da litologia	10 ⁷ anos

Limiar de compensação isostática

10	Acidentes tectônicos: Anticlinais, sinclinais, montes, vales, etc.	Climas locais, influenciados pela disposição do relevo: topografia montanhosa	Predomínio da litologia e da tecto-estática. Influências estruturais clássicas	10 ⁶ a 10 ⁷ anos
10 ⁻²	Formas do relevo: terraços, circos e morainas glaciais, cones de dejectão	Mesoclimas ligados diretamente a forma (nicho de nivação, por exemplo)	Predominância de fatores morfodinâmicos, influencia da litologia	10 ⁴ anos
10 ⁻⁶	Microformas: depósitos de solifluxão, solos poligonais, ravinas.	Microclima diretamente ligado a forma por autocatalise (exemplo: lapies)	idem	10 ² anos
10 ⁻⁸	Microscópicas: detalhes de corrosão, etc.	Meios microscópicos	Interferência da dinâmica e da textura da rocha.	

Alguns fenômenos são estudados levando em consideração apenas o instante (momento) em que se desencadeia uma mudança radical na morfologia de um determinado ponto. Desta forma um processo de escorregamento pode ser analisado em si mesmo, detectando-se o momento de seu início, sua duração e, ao final, o resultado de seu desenvolvimento; podem também ser detectados a energia despendida e os volumes movimentados; tudo isso levando em

consideração as leis físicas implicadas (Guidicini, 1976; Whalley, 1976).

Porém, este mesmo fenômeno pode também ser analisado em outro intervalo de tempo, onde são estudadas suas condicionantes, como, por exemplo, o tempo de preparação para a ocorrência de um fenômeno, o tempo de desenvolvimento da forma onde este fenômeno ocorre, verificar se este é um fenômeno cíclico

no local ou região ou mesmo estender a pesquisa por período de tempo compatível com o tipo de tema a ser desenvolvido (Young, 1972; Lewin, 1980; Colângelo, 1991).

2.2 - INTERVENÇÃO HUMANA.

Através dos tempos o Homem vem atuando sobre o relevo, alterando, em maior ou menor parte seus elementos, como por exemplo, a alteração dos canais dos rios, a formação de lagos artificiais, a escavação de minas a céu aberto, a criação de terraços artificiais para aproveitamento agrícola e a apropriação do terreno para o uso urbano. Estas alterações modificam sensivelmente a paisagem, contribuindo para a alteração da dinâmica ambiental e suas diversas situações de equilíbrio, gerando em muitos casos novas paisagens e novos comportamentos morfodinâmicos. A frequência destas mudanças é muito grande, Ter-Stepaniam (1988) indica que em uma única geração, as alterações antrópicas são mais significativas do que as promovidas pelas diversas variações climáticas ocorridas durante o Quaternário. Neste sentido valem as orientações de Cruz (1985):

"Os processos geomorfológicos sofrem intervenção humana modificando-se e gerando novas formas - a geomorfogênese antrópica - esta intervenção humana leva a modificação das condições de vida da população. Nesse sentido é preciso apreender a gênese e desenvolvimento dos processos, visando também uma possibilidade de intervir na prevenção de ocorrência de episódios críticos."

Levando em conta a atuação antrópica, pode-se dividir aquelas que aceleram processos já existentes no ambiente, como por exemplo, áreas expostas aos processos erosivos em

virtude do desmatamento, desertificação, barragens e assoreamento ou ainda as formas de atuação antrópica que geram novas morfologias, como por exemplo, os túneis rodoviários, pontes, minas profundas e cidades. (Ter-Stepaniam, 1988). Nestas novas morfologias, os processos geomorfológicos acabam por atuar de forma diversa daquelas existentes em ambientes naturais, pois as trocas de energia e matéria ocorrem condicionadas pela ação do homem.

Segundo o IPT (1991) "A ocupação humana do solo representa o fator decisivo na aceleração dos processos erosivos, que são comandados pelos seguintes fatores naturais: 1)- volume d'água que atinge o terreno, 2)- cobertura vegetal, 3)- tipo de solo/rocha, 4)- lençol freático, e 5)- topografia". Entre os principais fatores preparatórios à predisposição para a instabilização do terreno são segundo o IPT (op. cit.) "a ação humana" sendo que as diversas intervenções que o homem realiza no meio, como, por exemplo, corte, aterros, desmatamentos, concentrações de águas superficiais, vibrações etc., modificam o equilíbrio das encostas, provocando sua instabilização.

A ação antrópica manifesta-se de diversas formas, produzindo resultados variando do efeito pontual à atuação em grandes extensões, podendo gerar efeitos que variam da pouca significância a acontecimentos catastróficos. Segundo a CETESB (1991) nas condições climáticas atuais as vertentes estando em equilíbrio com a cobertura vegetal original fazem que os movimentos de massa fiquem restritos as zonas de fortes declividades. Porém, se o equilíbrio for rompido por uma ação humana (desmatamento, obras civis, etc.), esta passa a interagir face às suas características

morfológicas potencializando os movimentos de massa. Este aspecto foi levantado por Erhart (1955) em trabalho elaborado em Madagascar, onde foi construída a Teoria Bio-Resistásica.

As alterações provocadas pela ação humana podem ser classificadas segundo diferentes graus de apropriação e intervenção no relevo. Desta forma, uma área com edificações possui um grau de alteração superior a uma área com agricultura e esta por sua vez, uma alteração maior do que uma área com capoeira ou com estratos herbáceos.

Em estudo dos fatores que afetam as variações espaciais de erosão do solo, (Weaver, 1988), apresenta o resultado preliminar da investigação das relações de 23 fatores que possam influenciar os desastres erosivos (movimentos de massa) e erosão dos solos. O princípio do estudo foi detectar quais os fatores que individualmente mais interferem na variação da erosão dos solos. Para isto foram estabelecidas cinco classes de avaliação da erosão, as quais foram mapeadas e comparadas segundo a variação de características do relevo e também de uso do solo. As classes de erosão estão expressas na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos tipos de erosão (adaptado de Weaver, 1988)

CLASSE	TIPO DE EROSÃO
1	sem erosão;
2	erosão laminar e em sulcos;
3	erosão laminar , em sulcos e evidências de ravinamento;
4	erosão em ravinas;
5	ravinamento generalizado.

Os resultados deste trabalho mostraram que a única variável que possui relação direta nas variações espaciais da erosão do solo é o uso da terra. Estes estudos indicaram que as áreas de floresta possuem uma menor frequência de erosão do que as áreas com vegetação arbustiva ou herbácea e esta por sua vez menor frequência do que nas áreas cultivadas.

Em áreas urbanas, os estudos relacionados ao escoamento superficial, utilizam-se dos cálculos do Coeficiente de Deflúvio, parâmetro este que indica a variação do escoamento em função das diferenças de permeabilidade e de retenção da água na superfície, fator afetado diretamente pelo tipo de uso da terra. Estes tipos de indicadores

mostram claramente as diferenças proporcionadas pelos diferentes tipos de uso da terra - seja em área rural ou urbana - afetando a dinâmica dos fluxos hídricos e conseqüentemente dos processos erosivos e da dinâmica superficial em geral. A tentativa de classificar estes parâmetros é uma tarefa intrincada, pois não é possível realizar uma avaliação métrica das relações de causa e efeito.

Para a avaliação dos movimentos de massa a diferenciação do tipo de uso do solo também é um fator importante. Com a ocorrência de desmatamento deveria ser esperado um aumento da probabilidade de ocorrer movimentos de massa rápidos. No entanto, De Ploey (1981) apresenta aspectos desfavoráveis

da presença de vegetação, que podem desencadear deslizamentos; quer sejam:

“Aumento da carga suplementar de vários kg/cm numa porção limitada do solo para árvores maiores de 10 metros, e que a vegetação dificulta o fluxo superficial, e junto com a serrapilheira, facilitam a infiltração da água das chuvas.”

Assim a diferenciação do tipo de uso do solo, um dos fenômenos tradicionalmente denominados como desencadeadores de deslizamentos requerem investigações mais precisas, para definição do papel da vegetação neste fenômeno.

Apesar de todas as dificuldades de delimitação precisa de parâmetros de proteção do relevo pelos diversos tipos de uso, torna-se necessário uma classificação destes parâmetros. Segundo Ross (1990; 1994), a proteção dos solos pela cobertura vegetal e culturas pode ser hierarquizada segundo classes ou graus de proteção obedecendo em ordem decrescente da capacidade de proteção frente aos impactos pluviométricos os seguintes graus. Claramente, este tipo de classificação é aplicável a áreas rurais, sendo de caráter não paramétrico e empírico.

2.3-CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA

A questão da representação das formas de relevo apresenta dificuldades quanto a sua concepção e conceituação teórica e técnica. Diversas técnicas são utilizadas para a cartografia do relevo, o trabalho de Salomé & Van Dorsser (1982) apresenta uma comparação entre seis modelos de representação cartográfica do relevo de uma mesma área, mostrando e comparando os diferentes resultados obtidos pelas diferentes

técnicas. Segundo Ross (1992),

“A cartografia geomorfológica resente-se da dificuldade de encontrar adequado modelo de representação gráfica, existindo uma diversidade de propostas metodológicas, que valorizam sempre um determinado elemento do relevo”.

Este também é o resultado a que chegam Salomé & Van Dorsser, através da experiência citada acima, pois cada um dos modelos de representação acaba seguindo preferencialmente uma ou outra linha de sustentação teórico-metodológica.

Segundo recomendação da União Geográfica Internacional a cartografia geomorfológica deve apresentar necessariamente quatro níveis de abordagem. Assim, devem ser anotados a morfometria (altimetria, dimensões, desníveis, extensões); a morfologia (formas do perfil, concavidades, convexidades, retineidades, rupturas, topos, fundos de vale, etc); a gênese (degradação ou agração); a cronologia relativa (idade relativa das formas, datação absoluta) e o comportamento morfodinâmico.

Porém deve-se seguir uma organização na elaboração dos mapeamentos geomorfológicos buscando-se uma certa lógica na execução dos mesmos, neste ponto a orientação de Ross (1992) é bastante elucidativa:

“A cartografia geomorfológica deve mapear concretamente o que se vê e não o que se deduz da análise geomorfológica, portanto em primeiro plano os mapas geomorfológicos devem representar os diferentes tamanhos de formas de relevo, dentro da escala compatível. Em primeiro

plano deve-se representar as formas de diferentes tamanhos e em planos secundários, a representação da morfometria, morfogênese e morfocronologia, que têm vínculo direto com a tipologia das formas."

Também se deve levar em consideração alguns aspectos relativos à elaboração dos mapas geomorfológicos, como por exemplo, a relação entre o detalhamento da representação e a escala de apresentação do mapa, a base topográfica onde serão representadas as informações, a relação entre o mapa geomorfológico e outros mapas temáticos que componham um estudo e por fim a possibilidade de representação gráfica tendo em vista aspectos como a diferenciação clara entre as classes representadas, a facilidade de leitura e entendimento do mapa. (Gellert, apud Demek, 1972)

2.4 - A ÁREA DE TRABALHO

Para atender aos objetivos do trabalho foi escolhida uma área localizada no município de Santo André, localizada junto a represa Billings, que possui características consideradas de risco, como altas declividades e grandes desníveis topográficos.

Em áreas tropicais úmidas, como as localizadas no sudeste do Estado de São Paulo no Planalto Atlântico, as condições ambientais são desfavoráveis à implantação de sítios urbanos, uma vez que combinam padrões de forma instáveis e altos índices pluviométricos, principalmente em áreas próximas a Serra do Mar, onde chuvas intensas ocorrem com frequência e o relevo é bastante dissecado.

A instalação de grandes áreas urbanas nessa região acabou por extrapolar as áreas com sítios de ocupação mais favoráveis. O processo

de expansão urbana torna-se cada vez maior, atingindo inclusive áreas totalmente desfavoráveis.

Nestas áreas, a ocupação, que é realizada na maior parte das vezes pela população de baixa renda, assume características desastrosas pois a maior parte das intervenções no meio físico é feita de forma desordenada e aleatória, até mesmo por completa falta de informações e dados sobre as características ambientais dos locais a serem ocupadas.

A ocupação destas áreas vem ocorrendo de duas formas diferentes: a primeira, através de loteamentos, geralmente clandestinos, com lotes pequenos e com grande adensamento de edificações em cada terreno; a segunda, em forma de chácaras de lazer. As grandes áreas industriais ocupam posições estratégicas próximas às principais estradas que ligam a Capital à Baixada Santista e às cidades do interior, aglutinando uma série de loteamentos e invasões em suas proximidades. Este é o caso das rodovias Anchieta e Imigrantes, onde se observam diversos loteamentos irregulares instalados na Área de Proteção aos Mananciais da Grande São Paulo.

Entre os problemas que podem ser enumerados decorrentes destas formas de ocupação, destacam-se a existência de cortes irregulares no terreno, a execução de aterros sem critérios de acomodação dos materiais formando taludes instáveis, arruamentos em posições topográficas e geométricas desfavoráveis, estrangulamento dos canais naturais de escoamento, geralmente por disposição de bota-fora ou lixo, ocupação de áreas impróprias, normalmente devido à tipologia de ocupação estar em desconformidade com o suporte oferecido pelo relevo.

Em geral, a vegetação de mata, as plantações ou bosques de eucaliptos, protegem as vertentes naquelas áreas que ainda não foram ocupadas.

3 - PROCEDIMENTOS TÉCNICOS - OPERACIONAIS

Para a realização de estudos que pudessem atender aos objetivos formulados adotou-se uma série de procedimentos operacionais.

A organização dos trabalhos realizados permite a identificação de três grandes fases de trabalho: I – Levantamento e Processamento de Dados, que se consiste na escolha da área e da escala de trabalho; levantamento de dados secundários e reconhecimento da área de estudo; produção de dados primários, com elaboração de mapas, análises laboratoriais e experimentos de campo, II - Correlação de Informações, que se consiste nas correlações de dados cartográficos com resultados de experimentos de campo e análise de laboratório associados com uma avaliação empírica, III - Análise Geral dos Resultados. Estas etapas encontram-se ilustradas na Figura.1.

3.1 - AS TÉCNICAS

Foram utilizados três grupos de técnicas no estudo: as técnicas de gabinetes, as técnicas de campo e as técnicas de laboratório.

3.1.1 - TÉCNICAS DE GABINETE.

As técnicas de gabinete abrangem diversas atividades, sendo que se pode separar as técnicas cartográficas que propiciaram a elaboração de diversas cartas temáticas, as técnicas estatísticas que levaram à organização dos dados brutos, gerando tabelas e gráficos e permitindo a comparação entre os dados obtidos

e os resultados apresentados em outros estudos. Também pode-se citar como técnica de gabinete a pesquisa bibliográfica e cartográfica sobre os temas relacionados a atual pesquisa.

3.1.1.1 - PRODUTOS E TÉCNICAS CARTOGRÁFICAS.

Foi escolhida para representação cartográfica a escala de 1:2.000, sendo executados nesta escala os mapeamentos primários realizados na área de pesquisa.

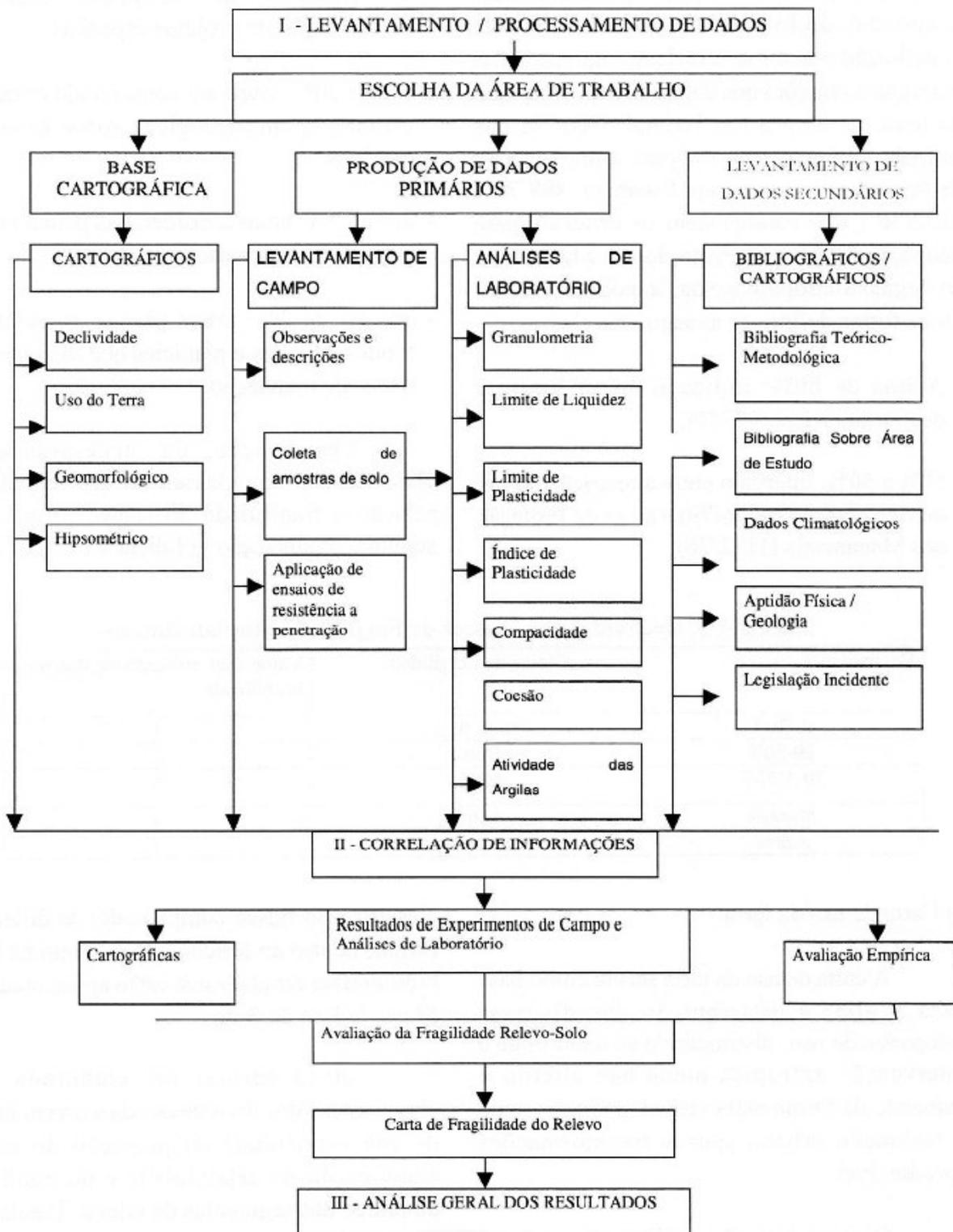
a) Carta de Fragilidade Potencial Associada às Inclinações das Vertentes

A carta de Fragilidade Potencial Associada às Inclinações das Vertentes é baseada na proposição de Carta Clinográfica proposta por De Biasi (1970, 1992). Este tipo de carta foi utilizada em estudos de planejamento físico territorial para o estabelecimento de diferentes classes de inclinação do relevo, sendo utilizado como um dos critérios para diferenciação de áreas com diferentes possibilidades de uso.

Segundo Sanches (1993) as cartas de declividade, são construídas a partir de cartas topográficas em curva de nível entre as quais se passa, normalmente um ábaco contendo as classes de declividade que são determinadas em função da escala da carta-base, do espaçamento entre as curvas de nível e da finalidade para a qual se pretende construir a carta de declividade.

A confecção das cartas clinográficas segue o estabelecimento de classes de declive, proposta por DeBiasi (1970). A utilização deste tipo de carta apresenta uma generalização dos declives, no entanto, como a escala de trabalho e o espaçamento das curvas de nível apresentam grande detalhe, neste trabalho consideramos

Figura.1 – Fluxograma das Atividades e Produtos sobre a Fragilidade Relevo-Solo



adequada a utilização deste produto. Tomando como base esses critérios foram determinadas as classes de declividade utilizadas nesse estudo. A definição baseou-se nas classes apresentadas em regulamentações que tratam do uso e ocupação da terra, no caso a Lei Federal 6766/79, que estipula limites e critérios para a implantação de loteamentos e as Leis Estaduais 898/76 e 1172/76 (que estabelecem os critérios para ocupação da Área de Proteção aos Mananciais da Região Metropolitana da Grande São Paulo.) Desta forma definiu-se as seguintes classes:

- Acima de 60%: indicado como limite à ocupação na Lei 1172/76;
- 50% a 60%: intervalo entre a restrição da Lei de Uso do Solo (6766/79) e a Lei de Proteção aos Mananciais (1172/76);

- 30% a 50%: intervalo previsto pela Lei 6766/79 passível de ocupação mediante apresentação de projetos especiais;
- 20% a 30%: intervalo considerado crítico em estudos geomorfológicos sobre processos erosivos;
- 20% a 2%: áreas consideradas pouco críticas em estudos geomorfológicos;
- abaixo de 2%: áreas planas associadas a fundos de vales e planícies que são sujeitas a riscos de inundação.

Em função da necessidade de classificação das classes de declividade em relação a fragilidade do relevo propôs-se a seguinte organização: (Tabela 4)

Tabela 4 -. Declividades e Classes de Fragilidade Morfodinâmicas

Declividade	Classe de Fragilidade	Valor a ser utilizado na Matriz de Fragilidade
0 -20%	Muito Baixa	1
20-30%	Baixa	2
30 A 50%	Média	3
50-60%	Alta	4
> 60%	Muito Alta	5

b) Carta de uso da terra

A carta de uso da terra serviu como base para avaliar a distribuição das diversas categorias de uso, distinguindo as áreas onde a intervenção antrópica ainda não alterou o ambiente de forma mais visível, daquelas onde o fenômeno urbano causou transformações considerável.

O atual trabalho utilizou-se de uma classificação empírica dos tipos de uso da terra para a análise da fragilidade das vertentes. Esta

classificação busca compreender as diferentes formas de uso do terreno que ocorrem na bacia hidrográfica estudada que estão apresentadas no Mapa de Uso do Solo.

Desta forma, foi elaborada uma classificação dos tipos de uso da terra em função de sua capacidade de proteção do solo e manutenção da estabilidade e do equilíbrio dinâmico dos segmentos de relevo. Tabela 5.

Tabela 5 - Tipos de Uso Da Terra e Classes de Proteção ao Solo e de Fragilidade Correlacionadas.

Tipo de Uso	Classe de Proteção ao Solo	Classe de Fragilidade	Valor a ser utilizado na Matriz de Fragilidade
Vegetação de Porte Arbóreo	Muito Alta	Muito Fraca	1
Formações Pioneiras	Alta	Fraca	2
Capoeira Densa	Alta	Fraca	2
Reflorestamento	Média	Média	3
Cultivos	Baixa	Forte	4
Áreas Edificadas e Entorno	Muito Baixa	Muito Forte	5
Solo Exposto	Muito Baixa	Muito Forte	5

Para fins de elaboração do Mapa de Fragilidade do Relevo foi elaborada a seguinte associação:

- Para as classes de fragilidade potencial foram utilizados os tipos de uso: Mata, Capoeira, Formações Pioneiras e Reflorestamento.
- Para as classes de fragilidade emergente foram utilizados os tipos de uso: Culturas Agrícolas, Ocupação Antrópica, Solo Exposto e Arruamento.

Esta classificação esta associada à efetiva existência de marcas no relevo que indiquem uma situação de fragilidade emergente, ou apenas a ocorrência de áreas com maior ou menor potencialidade de processos de desequilíbrio das vertentes.

c) Carta geomorfológica

Esta carta procura apresentar as formas do relevo seguindo a proposta taxionômica de Ross (1992), valorizando-se os 5° e 6° táxons da proposta, onde a morfologia e morfometria das formas de relevo estão em evidência.

Como resultado foram mapeados os segmentos de vertentes diferenciados em função

da morfologia. Desta forma foram mapeados os seguintes segmentos de relevo: Topo convexo; Patamar Convexo; Vertentes Convexas; Vertentes Retilíneas; Vertentes Côncavas; Colos; Fundos de Vale; e Planícies Fluviais.

Para confecção do mapa foram utilizadas fotografias aéreas na escala de 1:8.000 e ampliações fotográficas na escala 1:2.000. A interpretação fotográfica foi auxiliada pela existência de cartas topográficas na escala 1:2.000, que serviram de base para a plotagem dos diferentes tipos de segmentos de relevo. Os segmentos de vertente, topos e patamares foram posteriormente separados em função das classes de declividades obtidas na Carta de Inclinações associadas a Fragilidade do Relevo. Os fundos de vale foram subdivididos em dois tipos, Fundo de Vale Aberto e Fundo de Vale Fechado. As Planícies Fluviais foram subdivididas em três segmentos em função do tipo de sedimentação predominante.

d) Carta de Fragilidade do Relevo

Esta carta é produto da correlação da carta clinográfica, da carta morfológica e da carta de uso da terra, seguindo a proposta elaborada por Ross (1994). Para isto foi anteriormente atribuído um valor de fragilidade para cada

categoria mapeada nos mapas acima descritos, conforme sua adequação ou inadequação à ocupação humana.

O produto deste mapeamento apresenta como resultado a delimitação de áreas potenciais, que são aquelas onde os ambientes encontram-se com suas características naturais ou pouco alteradas, enquanto as áreas ocupadas são classificadas como emergentes.

3.1.2 - AS TÉCNICAS DE CAMPO

As técnicas de campo consistiram-se da coleta de amostras de solo através de sondagens e de tradagens ao longo das vertentes que compõem a bacia hidrográfica. Outra técnica de campo consistiu na medida dos valores de declividade média das vertentes com a utilização de clinômetro de bolso. Também se procedeu a conferência de mapeamentos realizados e observações em cortes e aterros, tomando características dos solos e sua relação com as formas do relevo.

3.1.3 - AS TÉCNICAS DE LABORATÓRIO

As técnicas de laboratório consistiram-se na análise dos materiais coletados em campo, obtendo-se valores de granulometria, teor de umidade, limite de liquidez e plasticidade. A granulometria foi obtida através da técnica de peneiramento para a fração areia. As frações silte e argila foram tomadas através das técnicas de densimetria. Os valores de, limites de liquidez e plasticidade foram obtidos através das técnicas de adição de água e pesagem do volume de água adicionado até o rompimento dos limiares para cada amostra de solo e posteriormente sofreram tratamento estatístico e foram utilizados na montagem de um quadro de correlações entre as formas de

relevo, tipos de solo e substrato rochoso.

A partir dos resultados dos limites de liquidez, plasticidade e umidade, foram estabelecidos através de cálculos os valores do índice de consistência e de coesão do material. Também foram realizados experimentos de campo, para obtenção dos valores de resistência penetração.

- Classificação textural do solo

As amostras de solo coletados em campo foram acondicionadas em sacos e posteriormente secas em estufa. A separação por granulometrias foi elaborada primeiramente a partir de uma massa de 2kg, que foi peneirada até a fração de areia fina. As frações silte e argila são determinadas por densimetria. Para classificação do material coletado em campo foi utilizada como base a classificação textural de Campinas (Moniz, 1972), que apresenta as seguintes frações:

. Areia Grossa	- >0,2 mm
. Areia Fina	- 0,2 a 0,02 mm
. Silte	- 0,02 a 0,002 mm
. Argila	- <0,002 mm

- Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)

O limite de plasticidade é aquele acima do qual um material deixa de ter um comportamento semi-sólido (estado semi-sólido) e passa a um comportamento plástico (estado plástico) após a introdução de umidade. Neste estado, o material pode ser deformado sem sofrer alteração de volume. Com o acréscimo de umidade, o mesmo material pode atingir o limite de liquidez, passando a ter um comportamento viscoso (estado líquido). A

diferença entre o limite de plasticidade e o limite de liquidez é denominado de índice de plasticidade.

Estes parâmetros identificam uma série de testes definidos arbitrariamente e que podem ser realizados facilmente mostrando indicações a respeito de algumas propriedades do solo. Conforme Whalley (1976) eles são representativos das mudanças no estado do solo; do sólido para o plástico e deste para o líquido. Eles são definidos como o seguinte:

Limite de Plasticidade (LP): o conteúdo mínimo de umidade no qual o solo pode ser rolado formando um rolo de 3 mm de diâmetro sem quebrar.

Limite de Liquidez (LL): o conteúdo mínimo de umidade no qual o solo consegue manter seu volume sem fluir.

Ainda como índice significativo pode ser considerado o Índice de Plasticidade, expresso por $(LP - LL)$. Este índice indica o quão plástico é um material.

- Umidade do Solo

A umidade do solo indica a quantidade de água no solo no momento de sua coleta, é indicativa indireta da porosidade e da permeabilidade do material. O método clássico para sua determinação é o da pesagem do solo antes e depois da secagem na estufa a 110° Celsius, através das equações:

$$Pu - Pe = Pa \quad \text{e} \quad w(\%) = 100Pa/Pu$$

onde: Pu = gramas de solo seco ao ar;

Pe = gramas de solo seco na estufa;

Pa = gramas de água em Pu;

$w(\%)$ = umidade higroscópica"

- Índice de Consistência e Resistência a Compressão Simples

Estes índices são aplicáveis preferencialmente a solos coesivos, ou seja com predominância das frações de argila, indicando uma relação inversamente proporcional entre a consistência do solo e o teor de umidade. Os solos que foram coletados não possuem grandes teores de argila, no entanto, foram realizados os cálculos destes índices para melhorar a análise do material.

O índice de consistência (I_c) é expresso pela fórmula: (Caputo, 1988; Vargas, 1981)

$$I_c = LL - h/IP$$

onde LL = Limite de Liquidez; h = teor de umidade; IP = Índice de Plasticidade

A classificação do Índice de Consistência indica as diferenças de dureza do material segundo os valores de consistência destes. Esta classificação foi adaptada para este trabalho, buscando adotar uma homogeneização de tratamento em relação aos parâmetros utilizados. Desta forma adotou-se a classificação do Índice de Consistência conforme expresso na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação do Índice de Consistência em Função da Fragilidade. (adaptado de Caputo (1988) e Vargas (1981))

Índice de Consistência	Classe de Fragilidade	Valor a ser utilizado na Matriz de Fragilidade
0 - 0,25	Muito Baixa	1
0,25 - 0,5	Baixa	2
0,5 - 0,75	Média	3
0,75 - 1,0	Alta	4
> 1,0	Muito Alta	5

- Resistência à penetração

Foram realizados em campo medições com o aparelho Penetrômetro de manual. Este aparelho mede a resistência a penetração do solo. O ensaio consiste em medir sistematicamente a resistência a penetração do solo em relação a uma haste, que é comprimida perpendicularmente a superfície do terreno, buscando medir a resistência do solo à força de penetração aplicada.

As medidas são tiradas automaticamente no momento em que cessa a penetração, ou quando é atingida uma marca pré-fixada na haste. São realizadas uma série de cinco medições nos horizontes B e C do solo, para cada ponto

amostral e elaborada uma tabela com os valores brutos, em seguida é obtida a média aritmética para cada ponto amostrado. As medidas realizadas com o Penetrômetro Manual equivalem a kgf/cm^2 , sendo similares aos valores de Resistência a Compressão Simples.

Assim como no caso do Índice de Consistência, foi adotada uma tabela para classificação da Resistência a Penetração, utilizando como base os valores adotados na classificação dos materiais em função de sua maior ou menor rigidez. Os ensaios de penetração geram medidas equivalentes a Resistência a Compressão, podendo, portanto, utilizar a mesma classificação aplicada aquele parâmetro, conforme ilustra a Tabela 7.

Tabela 7 – Classificação da Resistência a Penetração em Função da Fragilidade (adaptado de Caputo (1988) e Vargas (1981))

Resistência a Penetração (kgf/cm^2)	Classe	Valor a ser utilizado na Matriz de Fragilidade
< 0,25	Muito Baixa	1
0,25 - 0,5	Baixa	2
0,5 - 1	Média	3
1 - 4	Alta	4
> 4	Muito Alta	5

- Coesão

Pode-se obter através dos ensaios de laboratório os valores comparativos de Coesão e de Atividade das Argilas. Segundo Vargas (1981) de uma forma geral, poder-se-ia definir

coesão como a resistência ao cisalhamento de um solo quando, sobre ele, não atua pressão externa alguma. Ainda segundo este autor a coesão pode ser derivada de três origens: a) no efeito de um cimento natural, b) no efeito de uma ligação entre os grãos exercida pelo potencial

atrativo de natureza molecular ou coloidal e c) por efeito de pressão capilar na água intersticial.

Deve-se levar em conta que este tipo de análise deve ser realizado apenas para solos

coesivos, ou seja com grande quantidade de argila ou argilas ativas. No entanto este parâmetro, ainda que apresente ressalvas, servirá para apurar a análise da relação entre o solo e a estabilidade do relevo. (Tabela 8)

Tabela 8 – Classificação da Coesão em Função da Fragilidade (adaptado de Caputo (1988) e Vargas (1981))

Coesão	Classe de Fragilidade	Valor a ser utilizado na Matriz de Fragilidade
< 0,25	Muito Baixa	1
0,25 – 0,5	Baixa	2
0,5 - 1	Média	3
1 – 2	Alta	4
> 2	Muito Alta	5

3.1.4 - CORRELAÇÃO DE DADOS

A fase de correlação de dados tem como principais objetivos a análise da fragilidade na relação relevo-solo e a confecção da Carta de Fragilidade do Relevo. A primeira etapa desta fase se consiste na elaboração de uma correlação entre os tipos de segmento de relevo com os dados de experimentos de campo e análise de laboratório dos materiais coletados. Para isto, foram tabulados os resultados destes ensaios em função de seu posicionamento topográfico e morfológico. O resultado desta etapa se consiste em uma série de tabelas que foram analisadas em separado. Com estes procedimentos estabeleceu-se uma caracterização dos materiais superficiais para cada tipo de segmento de vertente.

A segunda etapa consiste na elaboração da Carta de Fragilidade do Relevo. Esta carta deve expressar os diferentes segmentos de relevo em função das características morfológicas, dos resultados dos ensaios de campo, das análises laboratoriais e do tipo de uso da terra. A correlação estabelece-se entre as cartas de classes de fragilidade associadas a inclinação

do relevo (clinográfica), com a carta de uso da terra e a carta geomorfológica. A partir deste processo é produzida uma carta básica com uma série de polígonos, com diferentes associações destas três variáveis. Em seguida, são associados a cada tipo de polígono, as características dos materiais superficiais relacionados a cada uma das área.

A identificação da fragilidade é feita através de uma matriz de correlação. Nesta matriz são associadas a cada polígono identificado suas características referentes ao tipo de segmento de vertente, declividade, uso da terra, resistência a penetração, índice de consistência, coesão. Cada uma destas variáveis é classificada em função de sua maior ou menor fragilidade frente a processos erosivos e instabilização das vertentes, recebendo classificação entre Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta Fragilidade. A cada classe foi atribuído um valor Muito Baixo (1), Baixo (2), Médio (3), Alto (4) e Muito Alta (5). Estes valores foram utilizados para obter o valor médio de fragilidade, como ilustra a Tabela 9.

Tabela 9 - Tabela Comparativa Utilizada na Classificação da Fragilidade

Valor médio obtido utilizando-se os parâmetros de relevo, uso da terra e físicos do solo	Classe de Fragilidade Geral do Relevo
0,1 a 0,5	MUITO BAIXA
0,51 a 1	MUITO BAIXA A BAIXA
1,1 a 1,5	BAIXA A MUITO BAIXA
1,51 a 2	BAIXA
2,1 a 2,5	MÉDIA A BAIXA
2,51 a 3	MÉDIA
3,1 a 3,5	ALTA A MÉDIA
3,51 a 4	ALTA
4,1 a 4,5	MUITO ALTA A ALTA
4,51 a 5	MUITO ALTA

Para finalizar é elaborada uma tabela para classificação das áreas em função do Valor Médio encontrado para cada área. Este valores são comparados com uma tabela de Classes de Fragilidade do Relevo que apresenta dez classes previamente estabelecidas, variando entre Classe de Fragilidade do Relevo Muito Baixa a Classe de Fragilidade do Relevo Muito Alta. O mapa é então construído a partir das diferentes classes de fragilidade encontradas.

4 - RESULTADOS

O mapeamento geomorfológico básico, na escala 1:2000 seguindo a metodologia proposta, foi realizado buscando subdividir os segmentos de relevo, em função de sua morfologia, entendendo-se como tal a forma geométrica do perfil da vertente, e a declividade média deste segmento.

Neste sentido foram definidas como categorias básicas de mapeamento os seguintes tipos de segmentos de relevo: Topo convexo, Patamar Convexo, Vertente Convexa, Vertente Retilínea, Vertente Côncavas, Colos, Fundos de Vale e Planícies Fluviais. Estes segmentos, foram delimitados com base em fotografias aéreas e

na carta topográfica, gerando uma interpretação preliminar. Os segmentos relacionados a Topos Convexos, Patamares Convexos, Vertente Convexa, Vertente Côncava e Vertente Retilínea, foram classificados segundo cinco classes de declividade. As classes de declividade utilizadas foram: I - Classe de 0 – 20%, II - Classe de 20 a 30%, III - Classe de 30 a 50%, IV - Classe de 50 a 60% e V - Classe acima de 60%. Estas classes de declividade foram definidas seguindo os parâmetros legais (Lei de Uso e Ocupação do Solo (6766/79), Lei de Proteção aos Mananciais (1172/76)) e técnicos (Ross, 1992).

Os segmentos de relevo mapeados como Planícies Fluviais, Colos e Fundos de Vale, foram diferenciados segundo diferentes níveis de colmatagem (no caso das planícies) ou segundo seu perfil geométrico (no caso dos fundos de vale). As planícies fluviais foram subdividas em três segmentos em função de diferentes estágios de colmatagem, diferenciando as áreas com sedimentação mais antiga daquelas com deposição atual. Os fundos de vale foram separados em duas classes: a primeira corresponde a fundos de vale fechado e a segundo a fundos de vale abertos.

A elaboração da Classificação de Fragilidade contou com 4 etapas até a sua finalização, na qual foi elaborado o mapa de Fragilidade do Relevo:

1 – Estabelecimento dos atributos que seriam utilizados na elaboração da matriz de correlação. Nesta etapa foram selecionados: os tipos de segmento de relevo, que constitui-se da somatória dos valores de morfologia e de declividade, os tipos de uso da terra, índice de consistência, coesão e resistência à penetração.

2 – Atribuição dos valores numéricos associados a cada um dos atributos utilizados na matriz. Neste caso foram utilizados os valores expressos na coluna referente a coluna Valor a ser utilizado na Classificação de Fragilidade constantes nas tabelas 4, 5, 6, 7 e 8.

3 – Estabelecimento da média aritmética dos atributos utilizados na Matriz de Fragilidade

4 – Comparação do valor médio obtido na matriz de fragilidade e comparação com a Tabela 10 para estabelecimento da Classe de Fragilidade.

Tabela 10 – Exemplo dos atributos para Correlação utilizada para classificação da Fragilidade do Relevo-solo.

Classe de Fragilidade de (1)	Parâmetros de Relevo e Respectivas Classes de Fragilidade			Parâmetros de Uso Da Terra e Respectiva Classe de Fragilidade		Parâmetros Físicos do Material Superficial e Respectivas Classes de Resistência a Processos de Instabilização						Valor Médio para o segmento identificado
	Morfo-logia	Decli-vidade	Classe de Fragili-dade (2)	Uso da Terra	Classe de Fragili-dade (3)	Resistência a Penetração (Kgf/Cm ²) (4)		Índice de Consistência Ic =(LL-H/IP) (4)		Coesão C = (Ic/2) (4)		
						Hori-zonte B	Hori-zonte C	Hori-zonte B	Hori-zonte C	Hori-zonte B	Hori-zonte C	
BAIXA	Topos e Pata-mares	Abaixo de 20%	Baixa	Áreas Edificadas , Impermeabilizadas e Solo Exposto	Alta	Alta - 3.98	Alta - 3.5	-	Muito Alta - 12.75	-	Muito Alta - 6.38	3,83
Valor atribuído			1		4	4	4		5		5	

Fonte: Carta de Fragilidade do Relevo

Organização: Silvio Carlos Rodrigues

1 – Classe de Fragilidade obtida através da correlação entre os parâmetros de relevo, uso da terra e parâmetros físicos do material superficial

2 – Classe de Fragilidade obtida a partir da classificação da potencialidade a desestabilização. (Ver Capítulo 3 - Procedimentos Técnico-Operacionais.

3 – Classe de Fragilidade obtida a partir da classificação de proteção ao solo proporcionada pelo tipo de uso, . (Ver Capítulo 3 - Procedimentos Técnico-Operacionais.

4 – Valores obtidos em experimentos de campo/ensaios de laboratório. A classificação refere-se a resistência dos materiais aos processos de instabilização dos materiais superficiais. E foi obtida a partir de comparação com a classificação geotécnica dos materiais.

Após a elaboração da Matriz de Fragilidade foi elaborada uma apresentação geral dos dados utilizando-se os valores quantitativos e qualitativos dos parâmetros

utilizados na classificação da fragilidade geral do relevo, ilustrados na Tabela 11.

Tabela 11 – Matriz de Classificação das Classes de Fragilidade.

Segmento de Relevo/ Declividade	Valor Atribuído ao Segmento de Relevo/ Declividade	Tipo de Uso da Terra	Valor Atribuído ao Uso da Terra	Valor Atribuído a Resistência a Penetração (hor. B)	Valor Atribuído a Resistência a Penetração (hor. C)	Valor Atribuído ao Índice de Consistência horizontal B	Valor Atribuído ao Índice de Consistência horizontal C	Valor Atribuído a Coesão horizontal B	Valor Atribuído a Coesão horizontal C	Média Geral dos Valores Atribuídos	Classe de Fragilidade Geral do Relevo
Topos e Platamenes	2	Vegetação de Porte Arbóreo, Reforestamento, Capoeira Densa e Formações Pioneiras.	1	-	-	1	-	2	-	1,50	Baixa a Muito Baixa
Ventante Côncava	4	Vegetação de Porte Arbóreo.	2	2	2	1	1	2	2	2,00	Baixa
Ventante Côncava	4	Reforestamento e Capoeira Densa	2	-	-	1	-	2	-	2,25	Média a Baixa
Ventante Retilínea	4	Vegetação de Porte Arbóreo.	2	1	-	1	1	2	2	1,86	Baixa
Ventante Côncava	5	Reforestamento e Capoeira Densa	2	2	2	1	1	2	2	2,13	Média a Baixa
Ventante Côncava	5	Vegetação de Porte Arbóreo.	2	2	2	-	1	-	2	2,33	Média a Baixa
Ventante Retilínea	5	Reforestamento e Capoeira Densa	2	2	2	-	1	-	2	2,33	Média a Baixa
Ventante Côncava e Coto	2	Vegetação de Porte Arbóreo.	2	-	-	-	-	-	-	2,00	Baixa
Fundo de Vale Fechado	3	Reforestamento e Capoeira Densa	2	-	-	1	-	2	-	2,00	Baixa
Fundo de Vale Aberto e Planície Fluvial	4	Reforestamento Capoeira Densa e Formações Pioneiras.	2	-	-	1	-	1	-	2,00	Baixa
Topos e Platamenes	2	Áreas Edificadas, Impermeabilizadas e Solo Exposto	4	2	2	-	1	-	1	2,00	Baixa
Ventante Côncava	4	Áreas Edificadas Impermeabilizadas e Solo Exposto	4	2	2	1	1	2	1	2,13	Média a Baixa
Ventante Côncava	4	Áreas Edificadas, Impermeabilizadas	3	1	2	1	1	2	2	2,00	Baixa
Ventante Retilínea	4	Áreas Edificadas, Impermeabilizadas	4	-	-	-	-	-	-	4,00	Alta
Ventante Côncava	5	Áreas Edificadas, Impermeabilizadas e Área Cultivada	4	1	1	1	1	2	2	2,13	Média a Baixa
Ventante Côncava	5	Áreas Edificadas, Impermeabilizadas e Área Cultivada	4	-	2	1	1	2	2	2,13	Média a Baixa
Ventante Retilínea	5	Áreas Edificadas, Impermeabilizadas e Solo Exposto	4	1	1	-	-	-	-	2,75	Média
Ventante Côncava e Coto	3	Áreas Edificadas, Impermeabilizadas	4	2	-	-	-	-	-	3,00	Média
Fundo de Vale Fechado	3	Áreas Edificadas, Impermeabilizadas e Solo Exposto	4	-	-	-	-	-	-	3,50	Alta a Média
Fundo de Vale Aberto e Planície Fluvial	4	Áreas Edificadas, Impermeabilizadas e Solo Exposto	4	-	-	-	-	-	-	4,00	Alta

Fonte: Cartas Isoclinográfica, de uso da Terra, Geomorfológica e Dados coletados em ensaios de campo e de laboratório
Organização: Silvio Carlos Rodrigues

5 - BIBLIOGRAFIA

- CAPUTO, H.P. - Mecânica do solos e suas aplicações – Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988, 234p.
- CHORLEY, R. et al - Geomorphology, Methuen & Co. New York. 1984, 606 p.
- COLÂNGELO A.C. - Movimentos de massa e evolução geomorfológica das vertentes marginais no lago de barragem Paraibuna. Município de Paraibuna - SP. São Paulo, 1991, 105p. Dissertação de Mestrado em Geografia Física, - Departamento de Geografia, F.F.L.C.H / Universidade de São Paulo.
- CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia e Saneamento Básico. Carta Morfodinâmica da Serra do Mar na Região de Cubatão – SP. São Paulo. 1991, 35p.
- CRUZ, Olga. A escala temporal-espacial nos estudos dos processos geomorfológicos erosivos atuais, uma questão de método. São Paulo, 1985, IG/USP, 6p, (Geomorfologia 33).
- DE BIASI, Mario. Cartas de Declividade: confecção e utilização. São Paulo, 1970, IGEOG/USP, (Geomorfologia 21).
- DE BIASI, Mario. A carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. in Rev. do Depto. Geografia - FFLCH-USP, São Paulo, n.6, p. 45-53, 1992.
- DE PLOYE J. Os efeitos ambivalentes de alguns fatores de erosão. Mem. Inst. Geol. Louvain, Leuven, Belgium, v. XXXI, p.171-181, 1981.
- DEMEK J. (ed) Manual of detailed geomorphological mapping. Praga, IGU, Comm Geomorph. Surv. Mapping, 1972, 368 p.
- DREW, D., Processos Interativos Homem-Meio Ambiente, Difel, São Paulo, 1986, 206 p.
- ERHART, H. – Biostasie et Resistasie: esquisse d'une theorie sur lê rôle de pedogenese en ant que phénomène geologique. C.R.S.Ac. de Sciences – vol.241. 1955, pp. 1218-1220.
- GUIDICINI, G., NIEBLE C.M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo, E. Bluscher/Edusp, 1976, 170p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano. (1:10000), Guia de Utilização. São Paulo, 1986,
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA. Manual de Ocupação de Encostas, São Paulo, 1991, 216p.
- LEWIN, L. - Avaliable and Appropriate Timescales in Geomorphology. In: GULLINGFORD, R.A., DAVIDSON, D.A. & LEWIN, J. (eds) Timescales in geomorphology, Great Britain, John Wiley., 1980, 360p.
- LIMA, Cleide Rodrigues de, Urbanização e intervenções no meio físico na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo. Uma abordagem geomorfológica. São Paulo, 1991, 78p, Dissertação de Mestrado em Geografia Física, Departamento de Geografia, FFLCH/USP.
- MERCERJAKOV J.P. Les concepts de morphostruture et de morphoesculture: un

- nouvel instrument de l'analyse geomorphologique. Annales de Geographie, Paris, n.423, p.539-552, set./out., 1968.
- MONIZ, A.C. (org) - Elementos de Pedologia, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1975, .459p.
- PIRES NETO, A.C. - As abordagens Sintético-Histórico e Analítica-Dinâmica. Uma proposição metodológica para a geomorfologia. São Paulo. 1991. Tese de Doutorado em Geografia Física. Depto. de Geografia, FFLCH/USP. 302p.
- RODRIGUES, S.C. - Análise Empírico-Experimental da Fragilidade Relevo-Solo no Cristalino do Planalto Paulistano: Sub-bacia do Reservatório Billings. São Paulo, 1998, 267p, Tese de Doutorado em Geografia Física. Departamento de Geografia, FFLCH/USP.
- ROSS, Jurandy Luciano Sanches., Geomorfologia: Ambiente e Planejamento. São Paulo, Contexto, 1990. 85p. (Repensando a Geografia).
- ROSS, Jurandy Luciano Sanches., O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. Rev. do Dpto. Geografia – FFLCH-USP, São Paulo, n.6, p.17-29, 1992
- ROSS, Jurandy Luciano Sanches., Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados, Rev do Depto. Geografia - FFLCH-USP, São Paulo, n.8, p.63-74, 1994.
- SALOMÉ, A.L., VAN DORSSER, H.J. Examples of 1:50000 scale geomorphological map of part of the Ardennes. Zeitschrift fur Geomorphologie, Berlin, v.26, n.4, p.481-489, dez. 1982.
- SANCHES, M. C. - A Propósito das Cartas de Declividade, in IV Simpósio de Geografia Física Aplicada, 1993, São Paulo, Anais... São Paulo: USP, 1993, p.311-314.
- SCHUMM, S.A., LICHTY, R.W., 1965 - Time, space and causality in geomorphology. Am. Journ. of Sci., 263: 110-119, trad. por A. Christofolletti in Not. Geomorfológica., 13 (25): 43-62, 1973.
- TER-STEPANIAN , G. – Begging of the Tecnogene., Bull of International Assoc. of Engen. Geology. Paris, n.38. p.133-148,1988.
- TRICART, J., Principles e Methodes de la Geomorphologie. Masson et Cie. Ed. Paris. 1965.
- TRICART, J., O conceito ecológico, in Ecodinâmica. Rio de Janeiro, FIBGE, 1977, p.17-29.
- VARGAS, Milton, Introdução à Mecânica dos Solos., Macgraw-Hill, São Paulo, 1981, 509p.
- VILLELA, S.M., MATTOS, A., Escoamento Superficial, in Hidrologia Aplicada, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1977, pg 102-124.
- WEAVER, A. van BREDA; Factors Affecting The Spatial Variation in Soil Erosion in Ciskei: An Initial Assessment at the Macroscale. In G.F. DARDIS, B.P.MOON (eds), Geomorphological Studies in Southern Africa., Rotterdam, Balkema, 1988, p.215 - 227.

WHALLEY, W.B. Properties of materials and geomorphological explanation. London, Oxford Press, 1976, 58p.

YOUNG, Antony., Slopes. Edinburg, Oliver & Boid., 1972, 288p.

