

1. Introdução

O desenvolvimento, a aquisição e aplicação de Sistemas de Informação Geográficas (SIG) cresceram vertiginosamente nas últimas décadas. Desde suas origens na cartografia digital, a produção de SIG's tornou-se uma indústria, sendo utilizados pelos setores: público (entidades governamentais e autarquias), privado (empresas de consultoria, engenharia, entre outras) e universidades.

Atualmente a tecnologia de SIG é largamente utilizada como ferramenta de visualização e análise de dados espaciais, sendo utilizada para uma miríade de aplicações como a cartografia do uso do solo, para planejamento urbano, análise e logística de transporte, com o uso de ferramentas de roteirização, localizações cadastrais, cartografias de redes de infraestrutura, e, em múltiplas aplicações para gestão de recursos naturais.

Aliado ao estabelecimento desta indústria a tecnologia de sensoriamento remoto também vivenciou um desenvolvimento espetacular. A cada dia novos sensores, cada vez mais sofisticados, são lançados por foguetes e disponibilizados no mercado, criando a necessidade de métodos de análise e avaliação dessas imagens.

Sensores como *IKONOS* e *QUICKBIRD* apresentam resolução espacial de 1m e 60 cm na banda pan-cromática, respectivamente. Além da resolução espacial, outros sensores orbitais apresentam verdadeiras evoluções em termos de resolução espectral e radiométrica que permitem a captura de imagens em diferentes faixas do espectro eletromagnético, com alta resolução radiométrica em cada uma de suas bandas.

O sensoriamento remoto e o SIG podem ser entendidos como produtos de uma tecnologia de ponta e que funcionam integrados gerando informações contidas em um plano geográfico georreferenciado. O tratamento dessas informações permite a criação de novos mapas dos mais variados temas, estabelecendo uma correlação entre representação espacial e informações disponíveis, gerados a partir de um banco de dados criados em uma base computacional.

A combinação dessas duas tecnologias (SIG e Sensoriamento Remoto) apresenta múltiplas possibilidades de uso, aplicação e apropriação pela ciência geográfica. As

interpretações subjetivas proporcionadas pelo olhar do geógrafo tornam-se mais complexas, devido ao enorme número de dados disponíveis e facilidade para o cruzamento desses dados.

Muitos geógrafos dirigem seus olhares para a compreensão do fenômeno urbano, da urbanização e as suas interações geralmente conflituosas, com seu entorno natural. O crescimento urbano produz transformações na paisagem e tem sido apontado como a causa de diversos problemas enfrentados pela sociedade. No caso do Rio de Janeiro esta tensão percebida entre a expansão do espaço urbano sobre as encostas instáveis dos maciços litorâneos cariocas geram, anualmente, prejuízos incalculáveis, tanto de vidas humanas quanto materiais na infra-estrutura da cidade.

Entre essas transformações podem-se apontar as ocupações irregulares (tanto de baixa quanto de alta renda), o fogo (provocados por balões, ou iniciado criminosamente), aberturas de estradas, entre outros, como fatores que geram instabilidade nas encostas podendo desencadear deslizamentos que mobilizam grande quantidade de material detrítico, sendo muitas vezes catastróficos (figuras 1, 2, 3 e 4).



Figura 1 – Ocupações irregulares (a e b), fogo (c) e abertura de estradas (d) como vetores de transformação da paisagem.

Fonte: Fotos do autor.

Os movimentos de massa são mecanismos naturais de extrema importância na dinâmica da paisagem e são resultantes da atuação de processos geomorfológicos nas mais diversas escalas temporais. Esses movimentos de massa geram cicatrizes na paisagem. Essas cicatrizes erosivas funcionam como clareiras, das mais diferentes formas, que exercem importante função no processo de sucessão da floresta. Montezuma (2005) ressalta que uma vez que implica, obrigatoriamente, em remoção do substrato, muitas vezes expondo a rocha mãe, tal fenômeno faz com que a sucessão ocorra de forma mais lenta.

VARNES (1978 apud GUARIGUATA, 1990) define um movimento de massa como a ruptura e deslocamento de uma massa do solo que cria uma superfície de ruptura definida (forma). O autor identifica dois tipos de movimentos de massa: rotacional – quando há deslocamento sem deformação do pacote de solo deslocado e translacional – quando o deslocamento progride paralelamente ao longo de uma superfície planar, deformando posteriormente a estrutura original do solo.

Os mecanismos que desencadeiam os movimentos de massa podem estar associados a ações antrópicas ou ter origens naturais. Dentre os mecanismos naturais pode-se destacar a declividade (GUARIGUATA, 1990), geologia, a morfologia e as grandes precipitações com suas principais variáveis: altura, duração, intensidade e precipitação acumulada. Quanto aos antrópicos pode-se destacar desmatamentos, compactação do solo, aberturas de estradas, queimadas e construções, que alteram a funcionalidade hidrológica da encosta.

Devido às constantes alterações na paisagem causadas pela construção de novos espaços pela sociedade, esses eventos, outrora, naturais e de suma importância para a manutenção da diversidade nos sistemas florestais, representam, atualmente, dificuldades explícitas para as autarquias responsáveis pela gestão do espaço público, limitações evidentes à ocupação humana, além sentimentos confusos, por parte dos moradores de áreas onde ocorreram grandes deslizamentos, como o medo de novos deslizamentos ou mesmo, da remoção.

No caso das florestas as clareiras produzidas pelos movimentos de massa podem ser entendidas como verdadeiras aberturas no dossel tendo como limites as bordas das copas das árvores. Os processos desencadeados a partir da abertura dessas clareiras

deixadas pelos movimentos de massa são resultantes da conjugação de fatores físicos, como o estágio sucessional da floresta onde ocorreu o evento, amplitude (largura pela extensão), posição na encosta e orientação das clareiras, e pela origem da abertura, que criam novos nichos, iniciando novos processos sucessionais.

Assim o processo de sucessão da vegetação pode apresentar diferenças espaciais no interior das cicatrizes. Segundo Guariguata (1990), a melhor fertilidade e a presença de um maior banco de sementes nas porções inferiores das cicatrizes proporcionam uma colonização pelas espécies florestais mais rápida nessas áreas. No maciço da Tijuca, Rocha Leão (1997) confirma esta observação quando aponta que o processo de revegetação ocorre nos sentidos das bordas para o centro e de baixo para cima. Chirol (2003) complementa estes resultados por estudos que enfatizam o subsistema de decomposição através da fauna endopedônica nesta clareira. Este autor comprova que existe uma variabilidade espacial da ocorrência desses animais, que são bons indicadores do estado de regeneração. A base constitui a área com estruturação de serrapilheira mais desenvolvida e apresenta uma comunidade de fauna endopedônica que aproxima-se das condições do entorno. O centro da clareira é a área mais degradada.

Deste modo, pode-se afirmar que as clareiras desempenham um papel importantíssimo na manutenção da diversidade em ambientes florestais, permitindo que o banco de sementes e propágulos que recobrem as áreas abertas, produzam na floresta Atlântica, grandes mosaicos sucessionais que resultam na enorme biodiversidade típica dos trópicos.

A utilização de imagem de sensores remotos obtidos em datas próximas aos eventos de movimentos de massa é um produto importante para a elaboração de inventários de cicatrizes deixados pelos escorregamentos. E o mapeamento mais preciso, em escalas de 1:5.000 das cicatrizes é fundamental para ser utilizado pelos diversos métodos de investigação e análise de estabilidade de encostas, pois permitem calibrar e validar tais métodos.

Existem basicamente duas diferentes maneiras de classificar uma imagem, através da classificação visual ou da classificação automática. Na interpretação visual de imagens de satélite de alta resolução o foto-intérprete utiliza-se de um conjunto de critérios subjetivos de sua percepção cognitiva para interpretar uma determinada feição

como sendo uma cicatriz de movimento de massa. Estes critérios são, basicamente, a ausência de vegetação, a forma, o tamanho e a posição da feição na encosta, como pode ser observado na figura abaixo.

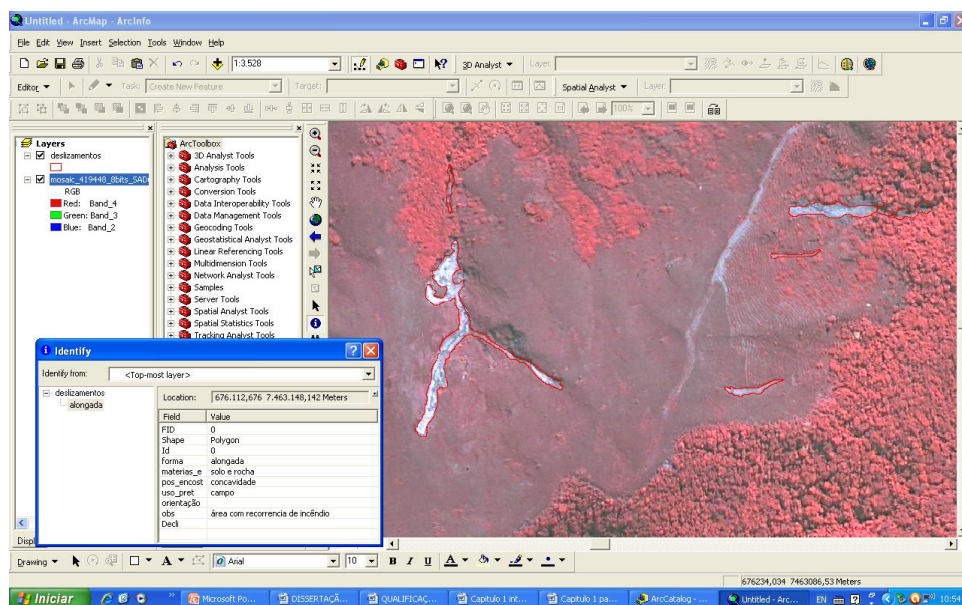


Figura 2: Exemplo da Classe “Movimento de Massa”

A questão norteadora deste trabalho se apresenta em como o uso de imagens de satélite de alta resolução e *softwares* de Sistemas de Informações Geográficas podem auxiliar na classificação dos movimentos de massa e na qualificação desta classe em ambiente computacional, considerando os materiais envolvidos (solo e solo e rocha).

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho se deu, principalmente, devido ao evento de precipitação extrema ocorrido no mês de abril do ano de 2010 na cidade do Rio de Janeiro e que provocou uma série de movimentos de massa, em diversos pontos dos maciços cariocas, causando, mais uma vez, uma série de prejuízos à cidade e muitos transtornos aos cidadãos.



Figuras 3 a e b: Repercussão dos Movimentos de Massa ocorridos em abril de 2010.

Assim este primeiro capítulo introdutório contextualiza de um modo geral a problemática, ou seja, os movimentos de massa provocados pelas chuvas de abril de 2010 nas encostas do Rio de Janeiro e o uso de ferramentas de sensoriamento remoto e SIG, na análise deste fenômeno transformador da paisagem e apresenta também os objetivos gerais e específicos a serem alcançados pelo método aqui utilizado.

O capítulo 2 é um capítulo pretende apresentar os conceitos e as categorias analíticas aqui utilizadas para melhor fundamentar as interpretações subjetivas das representações do espaço na imagem de satélite. Neste capítulo pretende-se elaborar algumas considerações sobre o conceito de espaço, a partir da proposta deste ser um conceito de múltiplas dimensões e dotado também intencionalidades intrinsecamente relacionado aos modos de produção e reprodução da sociedade. Trabalhar-se-á, também, o conceito de paisagem através da dialética criada e debatida que se percebe necessária para a geografia, não apenas pela divisões e incertezas que a teoria dos sistemas complexos traz para a ciência como um todo, mas para que se distinga na paisagem as constantes mudanças ocorridas no espaço geográfico.

Ainda no segundo capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos sobre os movimentos de massa e as cicatrizes erosivas como elementos naturais da paisagem. Será realizada, também, uma retrospectiva dos estudos de sensoriamento remoto na classificação de movimentos de massa.

O terceiro capítulo é dedicado ao método utilizado para atingir os objetivos e será dividido em três partes. A primeira parte fará uma caracterização da área de estudo contemplando, de uma maneira geral, a interpretação da paisagem. A segunda parte será dedicada à rotina de procedimentos executados no laboratório e no campo. E a terceira parte descreverá os materiais utilizados nessas rotinas.

No quarto capítulo serão apresentados os resultados das análises da classificação das imagens de satélite e discutidos à luz dos estudos desenvolvidos anteriormente.

As considerações finais serão apresentadas no quinto e último capítulo. Pretende-se neste momento, avaliar a “distância” entre as informações geradas em ambiente computacional e as levantadas em campo para aferir a validade da metodologia. Algumas questões também serão apresentadas sobre, por exemplo, o risco do uso combinado de Sistemas de Informações Geográficas e imagens de sensores orbitais se tornar mais uma ferramenta para a construção de um discurso mais sólido das remoções das áreas de risco, e, por outro lado, como *softwares* gratuitos como o *google earth*, banco de dados espaciais menos sofisticados, porém disseminados pela Internet e de uso no cotidiano das pessoas pode auxiliar na construção de uma percepção espacial mais apurada e auxiliar as pessoas envolvidas ao questionamento da política de remoção. E também, levantar questões sobre como a geografia, que tem como um de seus principais méritos apresentar uma visão do espaço geográfico mais dinâmica e complexa, pode contribuir significativamente para a construção de uma teoria da geoinformação, enfatizando a noção de processo em contraposição à natureza estática dos Sistemas de Informações Geográficas de hoje.

1.1. Objetivos Gerais e Específicos

Esta dissertação está inserida no contexto de estudos de transformações da paisagem conduzidos pelo Laboratório de Geoprocessamento do Núcleo Interdisciplinar de Meio Ambiente (LabGis/NIMA) da PUC-Rio. Tem como objetivo geral avaliar a eficácia do uso de imagens de alta resolução no mapeamento.

Tem objetivos específicos gerar o mapeamento dos movimentos de massa ocorridos no maciço da Tijuca em Abril de 2010. Gerar e organizar um banco de dados

georreferenciados contendo informações geomorfológicas, de cobertura pretérita e pedológicas do maciço da Tijuca visando qualificar a classe de cobertura “movimento de massa”. Classificar e avaliar a classe de “movimento de massa” por: tipo de deslizamento, forma, posição na encosta e classe de cobertura pretérita.

Espera-se com os resultados gerados contribuir para o desenvolvimento de métodos de classificação automática de imagens de satélite de alta resolução a partir da compilação das informações de diferentes planos de informação em um *geodatabase* e desta forma avançar na construção de modelos de susceptibilidade e risco de movimentos de massa. Acredita-se que com a construção de modelos precisos de instabilidade das encostas seus efeitos subseqüentes podem ser, minimamente, mitigados através do ordenamento do uso do solo mais preciso e políticas públicas mais eficientes.

A escolha do maciço da Tijuca como recorte para esta dissertação deve-se principalmente a sua condição *sui generis* de interface entre a floresta e a cidade, que cria condições para análise da dinâmica complexa do espaço urbano do Rio de Janeiro refletida por sua paisagem singular.