

MAPEAMENTO DE ÁREAS EROSIVAS NA AMAZÔNIA POR TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE IMAGENS TM/LANDSAT

Paulo Sérgio de Rezende Nascimento – UNESP - psrn@rc.unesp.br

1 INTRODUÇÃO

A utilização de técnicas de processamento digital de imagens permite a análise de extensas áreas e a obtenção de resultados rápidos e precisos. Técnicas baseadas na segmentação de imagens e na classificação por regiões são bastante promissoras. Nesta abordagem, as imagens são particionadas em regiões com características comuns, as quais são classificadas a partir de um arquivo de atributos estatísticos das regiões geradas. Desta forma, a classificação temática se refere a um conjunto de *pixels* da imagem, beneficiando-se, portanto, da informação contextual e espacial, além da espectral, o que minimiza as limitações das técnicas de processamento digital baseadas em análise pontual (*pixel-a-pixel*).

A crescente ocupação dos espaços rurais, nem sempre de forma ordenada, tem ocasionado uma série de impactos negativos sobre o meio ambiente. No contexto amazônico, desde 1960, as florestas primárias têm sido desmatadas extensivamente e provocado constantes mudanças no uso da terra, o que gera polêmicas quanto a sua forma de ocupação. Esse desmatamento, que tem como meta o uso agrícola, formação de pastagens e exploração madeireira, contribui para causar distúrbios significativos como os processos erosivos intensos. Estudos recentes de imagens orbitais indicaram que na região norte de Manaus, esta situação tem ocorrido com frequência, o que torna uma área crítica (TARDIN; CUNHA, 1989; LUCAS et al., 1993). Pelo menos dois fatores são responsáveis por este quadro, os fatores químicos e de manejo do solo, o que induz os agricultores a usarem suas terras por apenas 3-5 anos (INSTITUTO..., 1993). Isso se deve ao fato da implantação de sistemas agrícolas incompatíveis com as características edafoclimáticas da Amazônia (INSTITUTO..., 1991).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é mapear as áreas erosivas por segmentação por crescimento de regiões e classificação não supervisionada dessas regiões e avaliar o seu desempenho, a fim de possibilitar a sua utilização por toda a Amazônia Legal. Para isto, utilizou-se das técnicas de tabulação cruzada e estatística Kappa para analisar a concordância entre o mapa gerado automaticamente pelo classificador e o mapa de referência obtido por interpretação visual. O presente trabalho, discute ainda, detalhes operacionais do procedimento empregado.

A área de estudo possui 190 km² e localiza ao norte de Manaus (AM), delimitada pelos paralelos 2°19'13'' e 2°25'09'' de latitude Sul e pelos meridianos 60°06'03' e 59°58'24'' de longitude Oeste. O acesso é possível pela rodovia federal BR-174 (Manaus-Boa Vista). Sob o ponto de vista geológico, a área é constituída por argilito siltoso na parte basal, sobreposto por arenito grosseiro e no topo por siltito argiloso. Apresenta relevos planos e homogêneos e o solo dominante é do tipo Latossolo Amarelo de baixa fertilidade. O clima é do tipo quente e úmido, com temperaturas médias elevadas entre 25 e 27°C, as precipitações pluviométricas anuais variam entre 1.355 e 2,839 mm, alta umidade relativa do ar, com 84 a 90% nos meses de outubro a maio (BRASIL, 1978).

2 MATERIAL E MÉTODO

Neste estudo foram utilizadas as imagens TM/Landsat (bandas 1 a 5 e 7) referentes à órbita 231 e ponto 63-B, passagem de 02/08/99, livre de cobertura de nuvens; as cartas topográficas Fazenda Rio Branco (AS.20-ZB-III) e Rio Urubu (AS.21-Y-A-1) – escala 1:100.000 – Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), para a correção geométrica e orientação cartográfica das imagens e o *software* computacional SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o processamento das imagens digitais, bem como análise dos dados obtidos.

O primeiro procedimento foi a elaboração do mapa de referência através da interpretação visual, posteriormente utilizado como base para a avaliação da exatidão da classificação automática. Foram realizadas as seguintes etapas: interpretação visual das imagens; edição de dados; ajustes de linhas; criação de polígonos e edição das classes temáticas. Para a interpretação visual utilizou-se dos diferentes elementos de foteointerpretação (cor, forma, tamanho, textura, entre outros). Esta etapa foi executada diretamente sobre o monitor do computador, o qual possui certas funções inerentes aos algoritmos de processamento de imagens digitais. Dentre elas, podem ser citadas as ampliações de contraste e de áreas, que possibilitam a discriminação mais precisa dos alvos. Esta análise foi validada por dados de campo e permitiu identificar três classes temáticas: floresta primária, floresta secundária e área erodida. Esta última, foi definida pela alta reflectância de solos expostos às intempéries e desgastados pelo fluxo hídrico laminar superficial e pela textura rugosa de fluxos concentrados formando feições lineares.

Para corrigir eventuais erros de digitalização, como por exemplo, nós ajustados, foi necessário um ajuste de linhas com a finalidade de unir os nós de arcos adjacentes. Após ajustadas as linhas foi necessário a criação de polígonos, que permitiu um relacionamento topológico na estrutura dos dados e por último rotulou-se as classes temáticas.

A próxima etapa foi o processamento digital das imagens (segmentação e classificação), no entanto, a qualidade desses procedimentos está condicionada a dois pré-processamentos: filtragem mediana e ajuste de média e da variância (BINS et al., 1992). Estes procedimentos foram testados e validados por Batista et al. (1997) e Nascimento et al. (1998). Para o ajuste da média e da variância, calculam-se estes valores e o desvio padrão de cada imagem e obtem-se os ganhos e *offsets* necessários à transformação do histograma de cada banda. O ganho tem a finalidade de igualar as variâncias das respectivas bandas e o *offset* visa o deslocamento das médias do histograma até atingir o valor 128 e assim aumentar a intensidade de brilho das bandas. Após este procedimento, as imagens foram submetidas a um filtro mediana. O processo de filtragem foi realizado a partir de máscaras aplicadas sobre a imagem para a suavização da textura e realce das bordas, sem diminuir a resolução das imagens.

Finalizada esta fase de pré-processamento, as imagens estão preparadas para serem segmentadas. Em geral, a segmentação pode ser processada com base em duas características dos tons de cinza de uma imagem: descontinuidade e similaridade. O método baseado em descontinuidade detecta mudanças abruptas dos níveis de cinza de uma cena. O método da similaridade baseia-se no agrupamento de *pixels* semelhantes, cuja similaridade é determinada por um valor de tolerância determinado pelo analista e que representa a

distância Euclidiana entre os centros dos segmentos. O algoritmo usado além de permitir a definição do limiar de similaridade e do limiar de área, que é o tamanho mínimo da região. Estes limiares permitem ao usuário controlar o resultado de forma interativa. Como não há *a priori* um valor ideal, foram testadas diferentes combinações de limiares, com a finalidade de se definir o par de limiares adequados.

Os critérios de aceitação e rejeição dos limiares foram analisados em decorrência da separação coerente de níveis de cinza visualmente distintos. É importante evitar o excesso de regiões, pois poderá ocorrer um número muito grande de classes no processo de classificação por região e assim dificultar a rotulação destas classes. No entanto, é necessário ter cuidado ao se evitar o excesso de região, pois classes vizinhas distintas podem ser unidas erroneamente. A avaliação do processo de segmentação foi realizada pela comparação visual da imagem segmentada com o mapa temático de referência e pela sobreposição da imagem segmentada com as imagens originais utilizadas na sua geração.

Após a avaliação das imagens segmentadas e definido o par de limiares (similaridade e área) mais adequado, o próximo passo foi a classificação desta imagem segmentada, que também requer que o analista especifique o limiar de aceitação (distância máxima de Mahalanobis a qual as regiões podem estar afastadas do centro da classe) para a separação ou agrupamento de classes distintas. Foram testados todos os limiares de aceitação disponíveis (99,9%; 99%; 95%; 90% e 75%). A última etapa foi o mapeamento das geoclasses ou reclassificação na qual o intérprete rotula e une as classes geradas de acordo com as classes temáticas de interesse.

Este classificador não supervisionado por regiões não utiliza nenhum conhecimento *a priori* sobre as classes existentes na imagem. A sua principal característica consiste na aplicação de um algoritmo de *clustering* sobre as regiões obtidas na fase de segmentação e na utilização do vetor média e da matriz de covariância destas regiões para estimar o centro das classes.

O último procedimento foi a análise comparativa dos produtos através do confronto entre o resultado da classificação e o mapa de referência. A análise qualitativa foi realizada diretamente sobre a tela de visualização. Para a avaliação quantitativa do resultado foram utilizadas a tabulação cruzada e a estatística Kappa. Para a realização da operação de tabulação cruzada é necessário que os dados estejam no formato varredura, apresentar a mesma resolução horizontal e vertical, o mesmo número de linhas e colunas e compreender as mesmas coordenadas do terreno. Esta operação permitiu o cálculo de área das interseções entre as classes temáticas do mapa fotointerpretado de referência com as classes temáticas geradas na reclassificação e gerou uma matriz de erro. Esta matriz de erro forneceu as porcentagens corretas global e por classes. Os valores das sobreposições das áreas, ou seja, das matrizes de erros, dados em km^2 , foram transformados em número de pixels, para posterior aplicação da estatística Kappa.

Uma vez obtida esta matriz, o parâmetro Kappa indicou a similaridade existente entre a classificação e o mapa de referência pelo teste de concordância, com um nível de confiança de 95% e os valores de Z para o correspondente índice de Kappa maior que 1,64 para rejeitar a hipótese H_0 . O teste de independência baseia-se nos seguintes testes de hipótese: $H_0: K = 0$ (não existe concordância) e $H_1: K > 0$ (existe concordância). Este

algoritmo utilizado foi desenvolvido por Medeiros (1987) e implementado por Ponzoni e Almeida (1996), segundo os conceitos preconizados por Congalton et al. (1983).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi gerado um mapa fotointerpretado da área de estudo que mostra as principais unidades da área: floresta primária, floresta secundária e áreas erodidas. Como as estradas estavam bastante nítidas e discrimináveis também foram mapeadas. Este produto serviu de referência para a análise comparativa com o produto gerado por classificação automática não supervisionada. O contato entre as classes floresta secundária e áreas erodidas foi o que gerou maior dificuldade por estarem muitas vezes interligadas, formando padrões texturais complexos. Isto se deve ao fato que nestas regiões, as florestas secundárias estarem em estágio inicial e algumas porções das áreas erodidas apresentarem incipiente regeneração da vegetação.

No processo de segmentação, dos limiares testados, o par com valor 12 para o limiar de similaridade e 10 para o de área, foi o que permitiu melhor delimitação das classes temáticas. Limiares de similaridade menores e de área mais baixos resultaram em grande número de segmentos, tornando as regiões visualmente confusas. Limiares mais altos englobaram classes espectrais distintas. Este efeito propiciou a perda total ou parcial de algumas regiões de interesse.

O limiar aplicado gerou 830 regiões, onde a maioria das bordas coincidiu com as definidas pela interpretação visual. A classe floresta primária foi muito bem particionada e assim como na interpretação visual, as bordas das classes floresta secundária e áreas erodidas apresentaram maiores problemas de contorno. As estradas por serem muito estreitas foram geralmente incluídas nas demais classes e apesar dessa classe não ser de interesse, ocasionou uma certa perda na acurácia da classificação, fato não ocorrido na interpretação visual, pois a forma e o padrão das estradas são nítidos na imagem.

Para a classificação não supervisionada foi escolhido o valor 75%, como limiar de aceitação. Limiares maiores englobaram numa mesma classe temática, classes temáticas distintas, pois quanto maior o limiar, menor é o número de classes espectrais geradas. Nesta etapa, foram geradas 28 classes espectrais representadas por cores distintas, e que foram posteriormente agrupadas nas quatro classes temáticas de interesse, resultando no mapa final automático.

Uma simples análise visual comparativa entre este mapa e o fotointerpretado permite constatar a alta correlação entre eles, o que atestou o alto desempenho das técnicas automáticas supracitadas. No entanto, a análise qualitativa é subjetiva, pois depende do ponto de vista do intérprete, assim fez-se necessário as análises quantitativas.

A técnica de tabulação cruzada gerou uma matriz que indica a correspondência espacial entre as classes dos mapas considerados. O resultado de acerto da classe floresta primária foi o maior, 96%; a floresta secundária apresentou 86% e a pior classificação foi a das estradas, 51%. A classe de interesse teve 84% de acerto e a classificação global obteve 90% de desempenho. Estatisticamente, estes resultados são explicados pelos erros de omissão e inclusão, ocasionados pela dificuldade do segmentador e do classificador em algumas áreas de fronteiras. Computacionalmente, este problema pode ser solucionado pela implementação da distância de Mahalanobis no processo de segmentação, o qual utiliza a

distância Euclidiana. A diferença básica entre eles é que esta última considera uma região como um único ponto e a Mahalanobis, como uma distribuição de pontos.

O teste estatístico Z foi de 566,60, maior que 1,64, logo houve concordância (95% de confiança) entre a classificação automática e o mapa de referência. Obteve-se valor do coeficiente Kappa de 0,86, o que indica que houve concordância “muito boa”, segundo Landis e Kock (1977).

Assim, as técnicas de segmentação e classificação de regiões em imagens TM/Landsat mostraram-se altamente satisfatórias no mapeamento de áreas erodidas na Amazônia. Estas técnicas devem ser adotadas em toda a Amazônia Legal, pois otimiza o tempo de trabalho e os custos operacionais. É importante ressaltar que em áreas com níveis topográficos e declividades variadas, outros pré-processamentos devem ser realizados (NASCIMENTO, 2001).

REFERÊNCIAS

- BATISTA, G. T. et al. Efeito do pré-processamento (filtro mediana) no desempenho da segmentação e classificação de imagens Landsat-TM. In: **SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPTION REMOTA**, 8., 1997, Mérida. Anais... São José dos Campos:SELPER-INPE, 1997, p.569-570.
- BINS, L. S. et al. Um método de classificação não supervisionada por regiões. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS**, 5., 1992, Águas de Lindóia. Anais... São José dos Campos:INPE, 1992, p.65-69.
- CONGALTON, R. G. **Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, v.49, n.12, p1671-1678, 1983.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA. **Bases científicas para estratégia de preservação e desenvolvimento da Amazônia: fatos e perspectivas**. Manaus, 1991. 237p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA. **Bases científicas de preservação e desenvolvimento da Amazônia**. Manaus, 1993. 291p.
- LANDIS, J.; KOCK, G. C. **The measurements of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*, Washington v.33, n.3, p.159-174, 1977.
- LUCAS, R. M. et al. **Characterizing tropical secondary forests using multi-temporal Landsat sensor imagery**. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.14, n.16, p.3061-3067, 1993.
- MEDEIROS, J. S. **Desenvolvimento metodológico para a detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS/Landsat**. 1987. 81f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- NASCIMENTO, P. S. R. Procedimento metodológico para compartimentação geomorfológica através de técnicas automáticas de sensoriamento remoto. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 9., Recife. Anais... Recife:AGB, 2001. p.197.
- NASCIMENTO, P. S. R. et al. Efeito do pré-processamento (ajuste) no desempenho da segmentação e classificação de imagens Landsat-TM. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE**

SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. Anais... São José dos Campos:INPE, 1998. (1 CD).

PONZONI, F. J.; ALMEIDA, E. S. A estimativa do parâmetro Kappa da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 8., 1996, Salvador. Anais... São José dos Campos:INPE, 1996. (1 CD).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Nacional. Projeto RABAMBRASIL: **Folha SA 20 Manaus, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1978. v.18.

TARDIN, A. T.; CUNHA, R. P. **Avaliação da alteração da cobertura florestal na Amazônia Legal utilizando sensoriamento remoto orbital**. São José dos Campos:INPE, 1989, 43p. (INPE-5010-RPE/607).