

ESTUDO AMBIENTAL DA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Antonio José Ferreira Machado e Silva¹
CCRio - Centro Científico Rio - IBM Brasil
Av. Presidente Vargas 824 - 22º andar
20.071-001, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RESUMO

Cada vez mais cresce o interesse em se conhecer a Amazônia brasileira. Região que guarda riquezas naturais inigualáveis, tanto do ponto de vista mineral, quanto animal ou vegetal. Ao mesmo tempo que seu gigantismo é um dos motivos para todo esse interesse, é também o fator que dificulta o controle sobre sua ocupação. Hoje, procura-se utilizar imagens de satélite para monitorar o meio ambiente desta que é a maior floresta tropical úmida do mundo. Técnicas de sensoriamento remoto aliadas a técnicas de processamento digital de imagens, suportadas num ambiente de integração de diversos tipos de dados geográficos, podem vir a ser a chave para a solução de se gerar anualmente um atlas que apresente as condições ambientais da Amazônia brasileira.

ABSTRACT

The interest in the Brazilian Amazon is getting bigger every day. This region possesses unparalleled natural resources, be them mineral, animal or vegetal. If, on one side, its gigantic proportions are one of the reasons for all the enormous interest it arouses, it is also true that it is a factor that makes even more difficult to control its occupation. Today, we use satellite imageries to monitor the environment of this region that is the world's greatest tropical rain forest. The use of remote sensing techniques, along with the image digital processing, supported in an environment where different types of geographic data are integrated, could become the key to solve the problem of generating an annual atlas which presents the environmental conditions of the Brazilian Amazon .

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira corresponde a mais da metade do território nacional, engloba a maior floresta tropical úmida da Terra e é, ainda hoje, uma região desconhecida, com grande carência de documentos cartográficos. Pela sua extensão, pela dificuldade de acesso ao seu interior, pelas condições climáticas, a Amazônia torna-se uma região onde é difícil o mapeamento cartográfico convencional, realizado a partir da cobertura aerofotogramétrica. Dessa forma, o

projeto RADAM procurou, na década de 70, contornar tais dificuldades e apresentar o primeiro quadro completo de toda região amazônica.

Apesar de não se caracterizar como uma região de grande dinâmica de ocupação, como as regiões sul e sudeste do Brasil, é necessário que se faça um acompanhamento contínuo das mudanças ambientais na Amazônia, principalmente pela posição estratégica que ela ostenta hoje em relação à qualidade ambiental do nosso planeta.

¹ Atualmente, o autor está na DVR Consultoria, Projetos e Serviços
Rua Barata Ribeiro 818 / 402, Rio de Janeiro, RJ, CEP 22051-000
e-mail: amachado_dvr@hexanet.com.br

Dona de um patrimônio natural invejável, onde se destacam grandes jazidas minerais e madeiras de lei em profusão, a Amazônia é a floresta de maior biodiversidade, com mais de 50% das espécies de plantas tropicais, além de apresentar uma variedade de peixes maior que a do Oceano Atlântico. Além disso, regula o ciclo hidrológico da maior bacia hidrográfica do mundo. Por tudo isso, a Amazônia torna-se o sonho de exploradores que procuram a riqueza fácil sem se preocupar com a conservação do meio ambiente. O resultado imediato é a queimada da floresta sem planejamento, sem controle, proporcionando devastações que podem alterar as condições climáticas do planeta.

Hoje, busca-se alternativas às técnicas convencionais para garantir um monitoramento contínuo da Amazônia, e as modernas técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo utilizadas com resultados satisfatórios. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), órgão ligado à Secretaria de Ciência e Tecnologia, é um dos responsáveis por este monitoramento. Nesta tarefa, o INPE utiliza imagens do sensor TM-LANDSAT, que cobre a região do espectro eletromagnético que vai do visível ao infravermelho.

Até o presente ano, o INPE emprega técnicas de foto-interpretção, fazendo uso de imagens analógicas. São geradas centenas de composições coloridas, que são analisadas visualmente por diversos especialistas (engenheiros agrônomos e florestais, geólogos, geógrafos, biólogos, etc.), onde são extraídos diversos temas, tais como floresta, desflorestamento, água, etc.

Ao mesmo tempo que o INPE já vem realizando o mapeamento temático da Amazônia, ano a ano, ele concentra esforços investigando a contribuição que técnicas de processamento digital de imagens podem

dar para agilizar as tarefas de extração de informações. Procura-se assim otimizar o processo, diminuindo o tempo de execução das tarefas, mantendo ou, quando possível, melhorando a qualidade e precisão dos resultados.

Em função disso, o INPE e a IBM Brasil, através do Centro Científico Rio (CCRio), firmaram um acordo para desenvolvimento de um projeto de parceria cujo objetivo principal é desenvolver capacidade e tecnologia que permitam o monitoramento contínuo da Amazônia brasileira, através de imagens de satélite, suportado por sistemas de geoprocessamento. Visa-se, assim, melhorar o conhecimento do ecossistema amazônico. Este projeto está estruturado em 3 linhas de pesquisa: algoritmos e metodologia para extração de informações de imagens digitais de satélite, banco de dados geográficos (abordagem não convencional) e modelagem dos processos físicos. Para o mapeamento temático da Amazônia, a extração de informações é o tópico mais importante e, portanto, será tratado em maior profundidade que os demais.

2. AMBIENTE DO PROJETO

As imagens de satélite constituem-se na principal fonte de dados deste projeto. O sensor selecionado foi o TM-LANDSAT, com 30 metros de resolução espacial, mais que suficiente para a região em estudo. Este sensor gera imagens em 7 bandas espectrais, cobrindo a região do visível (1-azul, 2-verde e 3-vermelho) e do infravermelho (4-iv próximo, 5-iv médio, 6-iv termal e 7-iv médio). A banda 6 (iv termal) não é utilizada, entre outros motivos por apresentar resolução espacial de 120 metros (Novo, 1988).

Para cobrir o vasto território da Amazônia brasileira são necessárias 229 imagens TM-LANDSAT, que darão origem a 334 cartas temáticas na escala de 1:250.000. O volume de dados

decorrente das imagens é bastante significativo. Exemplificando, uma imagem TM-LANDSAT, excluída a banda termal, corresponde a aproximadamente 230 Mbytes. Dessa forma, seriam necessários cerca de 53 Gbytes para armazenar todos os dados de imagem.

No entanto, uma imagem guarda informações redundantes, que uma vez eliminadas, permitem a redução deste volume de dados. Além da redundância intrínseca a uma banda, existe a redundância entre bandas, que cresce junto com o módulo do índice de correlação. É conhecido que as bandas 1, 2 e 3 têm forte correlação entre si, bem como as bandas 5 e 7.

Existem duas abordagens para esta redução: a codificação e a seleção de atributos (bandas). A codificação, por sua vez, pode ser sem perdas (compactação - a imagem original pode ser recuperada integralmente) ou com perdas (compressão). A compressão, então, altera os resultados de processamentos realizados sobre as imagens e, em particular, o resultado da classificação automática.

A seleção de atributos procura as bandas que melhor discriminem as classes em questão. Dependendo do critério adotado, cada classe é representada por sua assinatura, e na seleção de atributos procura-se diminuir o número de bandas preservando ao máximo a separabilidade entre as classes. Esta redução pode se dar também através de transformações, como por exemplo a de Karhunen-Loeve (principais componentes). Além da redução no volume dos dados, a seleção de atributos pode ser motivada pela necessidade de tornar mais rápida a classificação, já que muitos classificadores têm o número de operações aritméticas proporcional ao número de bandas (distância euclidiana) ou até mesmo ao quadrado do número de bandas (máxima verossimilhança).

Na seção 5 serão apresentados critérios para avaliação da influência da compressão na classificação, bem como para seleção de bandas espectrais. Deve-se ter em mente que a região de estudo é a Amazônia. Sendo assim, foram selecionadas 5 áreas que representam a diversidade de situações próprias da região: grandes áreas de florestas; áreas de desflorestamento, como as áreas conhecidas como espinha de peixe em Rondônia; regiões de cerrado (não floresta); regiões em torno de grandes represas (água), etc. Estas áreas estão representadas em 5 imagens com aproximadamente 800 linhas de 800 pixels cada, distribuídas pelos estados do Acre, Mato Grosso, Pará e Rondônia.

Nesta etapa do projeto, foram definidas 7 classes, sendo 4 denominadas "limpas" e 3 ruidosas ou espúrias. As classes "limpas" são: floresta (FL), não floresta (NF), desflorestamento (DF) e água (AG). As classes ruidosas são: nuvem (NV), sombra (SB) e bruma (BR). Mais adiante, pretende-se subdividir as classes definindo tipos de florestas e não florestas, estágios de desflorestamento, etc.

3. BANCO DE DADOS GEO-REFERENCIADOS

Esta linha de pesquisa contempla a implementação de um banco de dados contendo diversas informações geo-referenciadas sobre a Amazônia brasileira. Os objetos são sensivelmente grandes, obrigando a pesquisa de técnicas não convencionais para gerenciamento de grande volume de dados.

Deve-se levar em consideração a integração de diversos tipos de dados, tais como dados matriciais, vetoriais e tabulares. Exemplo maior de dado matricial é a imagem digital de satélite. A digitalização de cartas e

mapas gera vários tipos de dados vetoriais, onde pode-se destacar: divisão política (divisas estaduais e limites municipais), limites entre classes, rede viária, rede de drenagem e dados topográficos (curvas de nível).

O banco de dados deverá ser integrado a sistemas de informações geográficas. Através deles, poder-se-á acessar as imagens e as cartas temáticas. Como chaves de acesso, deve-se usar o par base-ponto WRS (imagem), coordenadas geográficas, MIR (carta temática) ou nome de município.

4. MODELAGEM DE FENÔMENOS FÍSICOS

Esta etapa do projeto prevê o estudo dos fenômenos físicos ligados à queimada da floresta. Pretende-se obter maiores informações sobre a emissão de gases ocorrida durante as queimadas.

Tais fenômenos devem ser modelados, e simulações em laboratório, que reproduzam as condições reais do meio ambiente, incluindo temperatura e umidade do ar, bem como o vento, devem responder os principais questionamentos sobre os fenômenos.

A avaliação da modelagem será realizada através de situações reais de campo, porém em escala reduzida. Pequenas áreas da floresta, com cerca de 1 hectare, serão queimadas para medições das temperaturas e concentrações de gases e partículas emitidos na queima.

Serão avaliadas ainda, a dispersão de gases no meio ambiente, a biomassa consumida durante a queima na floresta, bem como a estimativa da emissão de carbono em função dessa biomassa consumida.

5. EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES

Neste trabalho dá-se especial atenção à essa linha do projeto, por ser a responsável pela geração dos dados necessários ao mapeamento temático. Nesta etapa, as imagens digitais serão utilizadas para a extração de informações que, em resumo, são as linhas que delimitam cada classe da imagem, linhas estas que devem estar geo-referenciadas.

Ou seja, a extração de informações é o processo responsável por associar elementos de imagem (pixels) a classes, as quais são regiões formadas por pixels que mantenham características semelhantes ou comuns. A esse processo denomina-se *classificação*. Procurou-se, de início, realizar um levantamento do estado da arte na área de classificação de imagens digitais de satélite, observando-se as tendências futuras.

Os classificadores podem ser de diversos tipos: paramétricos ou não paramétricos, supervisionados ou não supervisionados, por pixel ou por região.

Nos classificadores paramétricos, como o próprio nome diz, são definidos parâmetros, que são estimados a partir dos atributos de amostras da imagem (com supervisão) ou por algum conhecimento a priori (sem supervisão). Estes parâmetros formam a chave para o classificador, e são comumente chamados de *assinatura* da classe. Exemplos de parâmetros são: vetor média e matriz covariância (atributos espectrais); área e compaticidade (atributos geométricos). É comum se restringir os classificadores paramétricos às situações em que os parâmetros estão relacionados com a função densidade de probabilidade (fdp) condicionada à classe.

Os classificadores supervisionados prevêm a interferência do operador no processo, geralmente na fase de estimação dos parâmetros. Neste

caso, são selecionadas amostras para cada classe, que permitirão a determinação dos parâmetros. A classificação sem supervisão não permite interferência do operador, e quando há necessidade de estimar parâmetros, o faz de forma iterativa, utilizando a própria imagem, ou utiliza conhecimento a priori sobre as classes.

Os classificadores por pixel decidem a classe de cada elemento de imagem por vez, tomando decisões tantas vezes quantos forem os pixel da imagem. Pode ocorrer, entretanto, que, para esta tomada de decisão, o classificador observe a vizinhança do pixel. Neste caso, o classificador é dito contextual. Já os classificadores por região trabalham com a imagem já segmentada em regiões homogêneas, mas que não guardam relação entre si. Cada segmento é uma entidade isolada. O classificador rotula cada segmento em função de seus atributos.

Exemplos clássicos de classificadores são: K-média, ISODATA (Fukunaga, 1972) e Máxima Verossimilhança (Duda e Hart, 1973). Os dois primeiros são considerados não paramétricos, não supervisionados e por pixel (não contextual). Em princípio não se conhece nem o número de classes. Ambos são do tipo agrupamento ("clustering") e varrem a imagem diversas vezes, num processo iterativo. A regra de decisão básica é a da mínima distância euclidiana aos centros das classes. Por não guardar nenhuma relação com funções densidade de probabilidade é dito não paramétrico. No entanto, a mudança da métrica para distância de Mahalanobis, diretamente associada à fdp gaussiana multivariada, torna tais algoritmos paramétricos. Deve-se lembrar, que a distância euclidiana é a redução da distância de Mahalanobis quando as matrizes de covariância das classes forem do tipo $K \cdot I$, onde K é uma constante que independe da classe e I é a matriz identidade.

O classificador de Máxima Verossimilhança (MaxVer) está diretamente associado à teoria de decisão estatística bayesiana. Mais particularmente, ela considera fdp's gaussianas multivariadas. É comum, que os parâmetros necessários à regra de decisão (vetor média e matriz covariância) sejam determinadas a partir de treinamento por supervisão. Este classificador é uma simplificação do modelo de Máxima Probabilidade a Posteriori (MAP), em decorrência da dificuldade de se determinar as probabilidades a priori de cada classe. De qualquer forma, estes são os classificadores mais freqüentes nos sistemas de processamento de imagens.

Como busca de modelos mais eficientes, tanto do ponto de vista de precisão, quanto do ponto de vista de custo computacional, o CCRio tem investigado diversas linhas de ação. Na área de classificação por pixel, os modelos seguem a linha estatística, podendo ser contextual ou não. Neste caso tem-se: MAP não supervisionado, MAP adaptativo supervisionado, K-média adaptativo hierárquico, quantização vetorial com restrição de entropia, modelos auto regressivo (AR) e auto regressivo e média móvel (ARMA - "auto regressive and moving average"), classificador contextual Tilton-Swain por sub-imagens, etc. Muitos destes modelos podem ser utilizados em imagens já segmentadas.

Em relação a este tipo de classificador (por região), o CCRio tem investigado o uso de técnicas de redes neuronais, com o intuito de treinar a rede com imagens representativas de todo o contexto da região.

Independente do modelo, a avaliação de um classificador tem um grave problema, que é a obtenção de um gabarito para comparar com a imagem classificada. A verdade terrestre é muito

difícil de se conhecer, especialmente para grandes áreas. A solução mais adequada é transformar a interpretação visual, realizada por especialistas, das imagens analógicas em imagens digitais. Neste ponto buscou-se uma solução intermediária, onde as imagens de satélite foram segmentadas automaticamente, e os segmentos foram rotulados por especialistas com auxílio de cartas temáticas e composições coloridas. Os resultados encontrados até agora são satisfatórios e os erros têm permanecido em torno dos 5%, não ultrapassando nunca a marca dos 10%.

Em paralelo, buscou-se avaliar se o paradigma de considerar as funções densidade de probabilidade condicionadas às classes como gaussianas era válido, bem como observar a probabilidade de erro (teórica), dentro das premissas levantadas. No primeiro caso, ajustou-se fdp's aos histogramas das classes, determinando os parâmetros para aqueles que fornecessem o menor erro quadrático. Os resultados foram muito bons.

Como avaliação da influência dos compressores sobre os classificadores, foram utilizados 3 compressores: JPEG ("Joint Photograph Expert Group"), SBC ("Sub Band Coding" - Compressão em Sub Bandas) e BTC ("Block Truncation Coding" - Compressão por Blocos Truncados).

Apesar de muitos autores ainda considerarem a análise visual com a medida mais importante para avaliar um compressor, algumas medidas clássicas como a relação sinal ruído, e outras, foram observadas. Todas estas medidas estão descritas em Nunes et al. (1992). As medidas utilizadas neste trabalho são: relação sinal-ruído (SNR - "Signal to Noise Ratio"), relação sinal-ruído de pico (PSNR - "Peak Signal to Noise Ratio"), relação desvio padrão global-ruído (GSSNR - "Global Sigma Signal to Noise Ratio"), relação desvio padrão-ruído (SSNR - "Sigma Signal to Noise Ratio"),

relação desvio padrão-erro (SER - "Sigma to Error Ratio") e similaridade de histograma (HS - "Histogram Similarity").

Todas estas medidas apresentam o mesmo problema de comparar pixels homólogos (imagem original - imagem comprimida), sem levar em consideração a vizinhança do mesmo. Além destas medidas, procurou-se observar a média (m), a variância (s^2) e a entropia (H) de cada banda, tanto para a imagem original quanto para a imagem comprimida.

Os resultados encontrados indicam um limite em torno de 2 bits/pixel. Deve-se destacar, no entanto, que a redundância entre bandas, devida principalmente à correlação, ainda não foi devidamente explorada. Ou seja, há fortes indícios que esta taxa possa ser melhorada. De qualquer forma, já há a possibilidade de se reduzir em 75% o volume dos dados de imagem.

Para seleção das bandas, procurou-se definir o conjunto de 3 bandas que melhor discriminassem as classes em questão. Observando as bandas, sem considerar as classes, analisou-se parâmetros tais como: vetor média, matriz covariância, matriz de correlação, entropia e parâmetros da transformada de Karhunen-Loeve (principais componentes).

Em seguida, procurou-se avaliar o poder de cada banda em separar as classes, através de medidas de discriminação, como similaridade de histogramas e distância de Jeffries-Matusita (Richards, 1986). Finalmente, as classes são vistas por banda, e todas as possíveis combinações 3 a 3 são analisadas para busca daquela que fornece a menor probabilidade de erro, ou que apresentem maiores distâncias entre os centros das classes (Machado e Silva, 1993). A combinação 3, 4 e 5 se sobressaiu em todos os testes realizados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados preliminares indicam grande possibilidade das técnicas de processamento digital de imagens auxiliarem o processo de mapeamento ambiental da Amazônia, pelo menos quando as classes em questão não forem muito específicas.

Todo esse trabalho, entretanto, só será possível no contexto de um sistema de informações geográficas eficiente, suportado por um banco de dados projetado para trabalhar com grandes objetos.

As técnicas clássicas de extração de informações foram exaustivamente testadas e avaliadas, e no momento procura-se incorporar novas técnicas, como a quantização vetorial, os modelos ARMA bidimensionais e as redes neuronais, para incorporar características de contexto, textura, forma, etc. das classes.

Todas estas pesquisas estão relacionadas com o compromisso de elaboração anual de um atlas temático da Amazônia. O INPE é o responsável por esta tarefa e deverá se valer das técnicas de processamento digital de imagens já para o atlas relativo ao ano de 1994.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUDA, R.O.; HART, P.E. Pattern Classification and Scene Analysis. John Wiley and Sons, 1973.

FUKUNAGA, K. Introduction to Statistical Pattern Recognition. Academic Press, 1972.

MACHADO E SILVA, A.J.F. Classificação Paramétrica não-supervisionada por máxima probabilidade a posteriori. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, PR, Brasil, 1993.

MACHADO E SILVA, A.J.F. Métodos de avaliação de modelos de classificação de imagens digitais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, PR, Brasil, 1993.

MACHADO E SILVA, A.J.F.; NUNES, P.R.R.L. Avaliação da influência da compressão na classificação de imagens digitais. Relatório Técnico CCR-153, CCRio, IBM Brasil, 1993.

MACHADO E SILVA, A.J.F. Seleção de bandas para classificação de imagens. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Sensoriamento Remoto, 6., Recife, PE, Brasil, 1993.

NOVO, E.M.L.M.N. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. Editora Edgard Blucher Ltda., 1989.

NUNES, P.R.R.L.; ALCAIM, A.; da SILVA, M.R.L.F. Quality measures of compressed images for classification purposes. Technical Report CCR-146, Rio Scientific Center, IBM Brazil, October 1993.

RICHARDS, J.A. Remote sensing digital image analysis. An introduction. Springer Verlag, 1986.