

INVESTIGAÇÃO DO USO DE IMAGENS DE SENSOR DE SENSORIAMENTO REMOTO HIPERESPECTRAL E COM ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL NO MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO DE USO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Marcos Ribeiro Resende
Liedi Légi Bariani Bernucci
José Alberto Quintanilha

Universidade de São Paulo - Escola Politécnica

RESUMO

Monitorar a condição de uso de toda a extensão das rodovias brasileiras é tarefa dispendiosa e demorada. A investigação de novas técnicas que permitam o levantamento da condição dos pavimentos de forma ágil e automática é parte da pesquisa deste trabalho. Nos últimos anos, um número crescente de imagens de alta resolução espacial e espectral tem surgido no mercado mundial com o aparecimento dos novos satélites e sensores aeroembarcados de sensoriamento remoto. Uma metodologia para identificação dos pavimentos asfaltados e classificação das principais ocorrências dos defeitos do asfalto foi desenvolvida. A primeira etapa da metodologia é a identificação do asfalto na imagem, utilizando-se uma classificação híbrida, baseada inicialmente em pixel e depois refinada por objetos. A segunda etapa da metodologia é a identificação e classificação das ocorrências dos principais defeitos da superfície dos pavimentos flexíveis que são observáveis nas imagens de alta resolução espacial. Esta etapa faz uso intensivo das novas técnicas de classificação de imagens baseadas em objetos. O resultado final é a geração de índices da condição do pavimento, a partir das imagens, que podem ser correlacionados com os indicadores da qualidade (e.g., índice de Gravidade Global - IGG) da superfície do pavimento já normatizados pelos órgãos competentes do país.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) em seu Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres – AETT (2008), o Brasil em todo o seu território possui 211.678 km de rodovias pavimentadas. Segundo a pesquisa rodoviária da Confederação Nacional de Transporte (CNT) 2007, o setor rodoviário é responsável por mais de 90% do transporte de passageiros e 61% do transporte de cargas. Os custos operacionais dos transportadores estão diretamente ligados aos gastos com combustíveis, pneumáticos e demais itens mecânicos e principalmente a qualidade dos pavimentos das rodovias. O custo das inspeções extensivas é alto e muitos municípios, quando fazem, limitam suas pesquisas às principais rodovias. O avanço recente na tecnologia de sensoriamento remoto tem demonstrado capacidade em detectar propriedades físicas e químicas dos materiais. As imagens de sensoriamento remoto, dia após dia, têm se tornado ricas em informações para o usuário, principalmente no que diz respeito a resolução espacial, espectral, temporal, textura e precisão.

2. CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS

As principais técnicas de classificação de imagens baseiam-se na abordagem pixel a pixel. Esta técnica utiliza a resposta espectral dos alvos terrestres para classificar o pixel e depende da quantidade de bandas espectrais que o sensor é capaz de capturar no momento da aquisição das imagens. Quanto maior a quantidade de bandas capturadas para o mesmo pixel, melhor será a discriminação do pixel no momento da classificação. Alguns sensores modernos chegam até 300 bandas, ou seja, para a mesma cena são capturadas até 300 imagens. O *Spectral Angle Mapper* (SAM) é uma técnica baseada em pixel utilizada na classificação de imagens multi e hiperespectrais. SAM é uma ferramenta que permite um mapeamento rápido da semelhança espectral do espectro da imagem com o espectro de referência (BOARDMAN, 1993). Os espectros de referência podem ser tanto de laboratório ou de campo, ou extraído a partir da imagem em análise. Outra técnica que tem obtido atenção da comunidade científica é a técnica de classificação baseada em objetos. A classificação baseada em objeto realiza a

análise sobre os segmentos da imagem e não apenas sobre pixels. Os atributos não correspondem unicamente às características espectrais dos objetos, mas também às relações topológicas, textura, forma, tamanho, entre outras.

3. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Segundo Bernucci et al. (2008), os defeitos de superfície do asfalto são os danos ou deteriorações que podem ser identificados a olho nu e classificados segundo uma terminologia normalizada. A finalidade do levantamento dos defeitos da superfície é poder avaliar o estado de conservação dos pavimentos asfálticos e em caso de necessidade de restauração do pavimento, a análise dos defeitos embasa o diagnóstico do problema para subsidiar uma solução tecnicamente adequada. Em caso de gerência de pavimentos ou de manutenção, o conjunto de defeitos de um dado trecho pode ser resumido por índices que auxiliem na hierarquização de necessidades e alternativas. Na avaliação funcional é verificada a condição da superfície do pavimento, por meio do levantamento e análise de defeitos superficiais, e da condição de irregularidade longitudinal. Os principais defeitos considerados na avaliação funcional são: área trincada e severidade do trincamento, deformações permanentes e irregularidade longitudinal.

4. METODOLOGIA

A metodologia possui dois processos principais: Detectar Asfalto e Classificação dos Defeitos do Asfalto. Para realizar a classificação e a identificação dos defeitos do asfalto, o primeiro passo é distinguir na imagem original o que é asfalto. Este passo, por si só, já é um grande esforço dentro da área de sensoriamento remoto e tratamento de imagens, principalmente, quando as imagens são de áreas urbanas. Imagens de áreas urbanas, adquiridas em alta resolução, apresentam grande heterogeneidade. A metodologia para Detectar Asfalto (Figura 1b) combina a técnica de classificação por pixel, onde a natureza da resposta espectral dos alvos é primordialmente considerada, com a técnica de classificação baseada em objetos que, neste último caso, leva em consideração os aspectos espaciais e a morfologia dos objetos que estão sob análise. A combinação destas duas técnicas produz uma eficiência maior quando comparada com aplicação isolada destas duas técnicas na solução do mesmo problema.

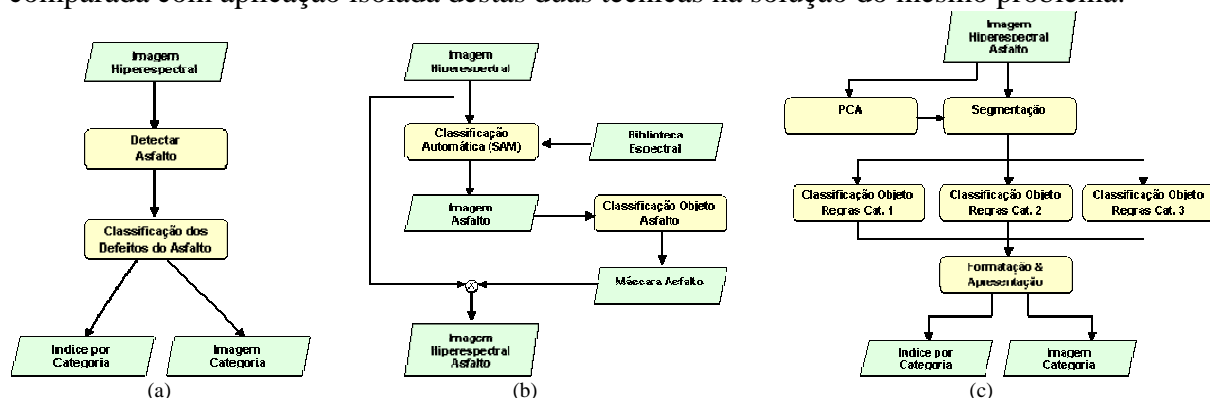


Figura 1: (a) Visão geral da metodologia; (b) Detalhamento do processo Detectar Asfalto; e (c) Detalhamento do processo Classificação dos Defeitos do Asfalto.

Na primeira fase da detecção do asfalto foi feita a classificação supervisionada da imagem utilizando-se o algoritmo SAM no software ENVI 4.3. Sendo o SAM um algoritmo de classificação supervisionada, este por sua vez, necessita de referências ou amostras para que a classificação seja realizada. Uma forma de fornecer os padrões espectrais de referência é através da biblioteca espectral. Esta biblioteca descreve o comportamento espectral dos alvos

de interesse, ou seja, neste trabalho, os alvos de interesse são os diversos tipos de pavimentos asfálticos. Cada alvo possui sua curva espectral registrada na biblioteca, e esta curva é utilizada no momento da classificação pelo algoritmo SAM. Após o término da classificação baseada em pixel realizada pelo algoritmo SAM, uma imagem contendo somente a classe asfalto é gerada. Essa imagem é uma imagem de uma só banda que descreve a classe asfalto da imagem hiperespectral original. Mesmo com a utilização de uma imagem com alto número de bandas espectrais, o resultado apresenta pequenas confusões com outros alvos, veja Figura 2b. A segunda fase do processo de detecção do asfalto é realizada para melhorar o resultado obtido pela classificação baseada em pixel. A imagem da Figura 2b é a entrada para a etapa de classificação baseada em objeto. Nesta etapa, o objetivo é remover os objetos da imagem que foram classificados erroneamente na etapa anterior. Com a classificação baseada em objetos, é possível fazer a análise espacial dos objetos. Pela natureza geométrica do objeto em estudo, o asfalto, pode-se concluir que objetos isolados na imagem classificada não devem ser tratados como pavimento de rua, pois um objeto asfalto qualquer da imagem deve ser vizinho de outro objeto asfalto mantendo os aspectos de continuidade e vizinhança intrínsecos das ruas pavimentadas. Para esta fase, foi utilizado o software eCognition que realiza a classificação baseada em objeto. A partir do resultado da classificação baseada em objetos, Figura 2c, é realizada uma transformação na imagem utilizando do software ENVI 4.3 para que seja gerada uma máscara. Esta máscara é aplicada na imagem hiperespectral original. Assim, é possível recortar na imagem hiperespectral todas as bandas, mantendo somente as regiões de asfalto (Figura 2d).

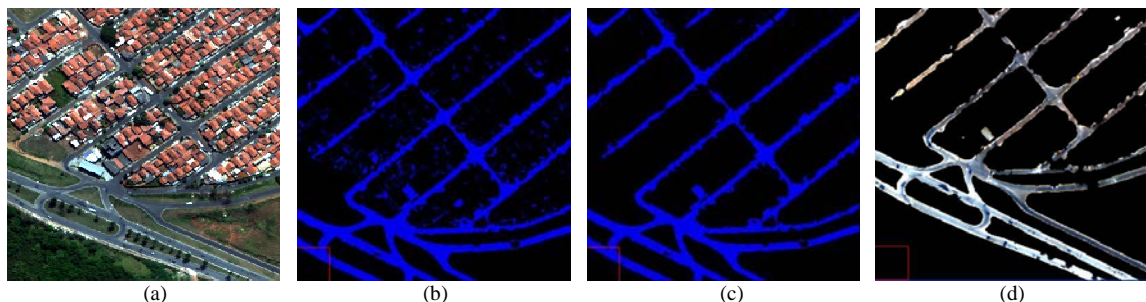


Figura 2: (a) Imagem original (24 bandas); (b) Resultado do algoritmo de classificação SAM; (c) Resultado da classificação baseada em objetos; e (d) Imagem espectral do asfalto.

A segunda etapa da metodologia é o processo de Classificação dos Defeitos do Asfalto (Figura 1c). Esta etapa utiliza as imagens geradas pelo processo de detecção do asfalto anteriormente (Figura 2d). Duas linhas de investigação e análise das imagens são trabalhadas. A primeira utiliza a imagem hiperespectral na sua forma original e a segunda linha faz a redução da dimensionalidade utilizando a Análise de Componente Principal (PCA). Os resultados finais destas duas linhas de investigação são comparados no intuito de verificar os impactos da redução da dimensionalidade no produto final. O processo de segmentação é trabalhado na ferramenta eCognition. Nesta fase do processo são investigados quais os parâmetros de segmentação que melhor atendem o objetivo do trabalho. A metodologia prevê ainda a classificação de três categorias de defeitos, isto foi proposto para gerar uma composição colorida do resultado final que fosse proporcional ao IGG do asfalto. Esta etapa de classificação apóia-se prioritariamente na geometria dos objetos utilizando as ferramentas e medidas disponíveis no software de análise baseado em objeto, procurando encontrar os padrões existentes nos defeitos do asfalto. Defeitos como Panelas e Buracos, Remendos, Afundamentos e Ondulações. O índice de cada categoria será calculado somando-se a área de cada objeto classificado como pertencente ao defeito, dividido pela soma da área dos objetos

classificados como asfalto para uma determinada região.

$$I_{cat} = \frac{\sum area(Ocat)}{\sum area(Oasfalto)} \quad (1)$$

em que I_{cat} : Índice da categoria em análise;

Ocat: Objetos classificados como sendo da categoria em análise; e

Oasfalto: Objetos classificados como asfalto.

Da mesma forma que é feito o cálculo do IGG pelo método convencional será feita uma soma ponderada dos valores dos I_{cat} (1) levantados a partir das imagens. Assim, ao final, teremos um IGG' calculado por imagem que poderá ser comparado com o IGG calculado pelo método convencional.

6.7. Discussão e conclusões

Acredita-se que não seja possível a detecção dos defeitos que são geometricamente pequenos, tais como as fissuras e as trincas curtas. Nestes casos, a espessura das trincas é muito pequena quando comparada com o tamanho do pixel da imagem que é da ordem de 25 cm. Os padrões de trinca em bloco (TB/TBE) ou em forma de couro de jacaré (J/JE) dependem das imagens obtidas para a pesquisa. Importante ressaltar que no fator de ponderação utilizado no cálculo do Índice de Gravidade Individual (IGI), as ocorrências que possuem o maior fator de ponderação são aquelas que possuem também a maior probabilidade de serem detectadas na imagem (O, P, E, JE, TBE e R) com exceção dos afundamentos que não devem aparecer nas imagens por se tratar de imagens adquiridas de uma visada superior sem informação de elevação. O trabalho está em desenvolvimento. O primeiro processo da metodologia, Detectar Asfalto, já foi validado e testado com as imagens reais. O segundo processo da metodologia, Classificação dos Defeitos do Asfalto, está na fase de validação e desenvolvimento. Novas imagens são aguardadas para a comprovação do método em um conjunto maior de dados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP; à Fundação Aplicações Tecnologias Críticas – Atech, pela cessão das imagens; e ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES – ANTT. Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres – AETT/2008. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/InformacoesTecnicas/aett/aett_2008/>. Acesso em: 12 jun. 2009.
- BERNUCCI, L. B.; MOTA, L. M. G.; CERATI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro: Abeda, 2008.
- BOARDMAN, J. W. Spectral angle mapping: a rapid measure of spectral similarity, 1993.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES, Pesquisa Rodoviária CNT 2007. Disponível em: <<http://sistemacnt.cnt.org.br/>>. Acesso em: 12 jun. 2009.
- RESENDE, M. R.; JORGE, S. C. H.; LONGHITANO, G. A.; QUINTANILHA, J. A. Use of hyperspectral and high spatial resolution image data in an asphalted urban road extraction. IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium - IGARSS, 2008, Boston, U.S.A.. Proceedings of IGARSS2008, 2008.

Marcos R. Resende (mresende@atech.br)

Liedi Légi Bariani Bernucci (liedi@usp.br)

José Alberto Quintanilha (jaquinta@usp.br)

Laboratório de Geoprocessamento, Departamento de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, nº 83 - Cidade Universitária - São Paulo - SP - CEP: 05508-900