PAVIMENTOS ASFÁLTICOS FLEXÍVEIS: POSSIBILIDADE DE DISCRIMINAÇÃO VIA ESPETRORRADIOMETRIA DIFUSA

Marcelo Luiz Chicati [1], Italo Andrade Picolo [1], Marcos Rafael Nanni [1], Roney Berti de Oliveira [1], Karym Mayara de Oliveira [1], João Vitor Ferreira Gonçalves [1].

[1]Universidade Estadual de Maringá – UEM, Av. Colombo, 5790, Jardim Universitário, Maringá-PR, 87020-900, mlchicati@uem.br; italopicolo@gmail.com; mrnanni@uem.br; rboliveira@uem.br; Eng.karymoliveira@gmail.com; joaofergo@gmail.com.

RESUMO

O gerenciamento de pavimentos asfálticos utiliza dados como idade, condições de tráfego, alterações na textura superficial (macro textura), dentre outros e, uma forma de obter tais dados é por meio de análise da assinatura espectral. Assim, o objetivo deste trabalho foi caracterizar pavimentos asfálticos por meio de sua assinatura espectral coletada em campo utilizando um espectrorradiômetro portátil. Foram obtidos três espectros de cada alvo, totalizando quinze amostras de cinco locais diferentes. Foram utilizados os softwares RS³®, ViewSpec Pro 6.2® para coleta dos dados e planilhas eletrônicas para obtenção das médias de refletância, coeficiente de variação entre as leituras e curvas espectrais. Também foram obtidos dados de influência de intempéries no desgaste do pavimento e sua influência na curva espectral. O estudo foi eficiente na diferenciação dos pavimentos por idade e indicou indícios de desgaste superficial. Com relação a granulometria e macrotextura, não foi possível diferenciar os pavimentos.

Palavras-chave — reflectância, curva espectral, pavimentos flexíveis, espectrorradiometria.

ABSTRACT

Asphalt pavement management uses data such as age, traffic conditions, changes in surface texture (macro texture), among others, and one way to obtain such data is through spectral signature analysis. Thus, the objective of this work was to characterize asphalt pavements through their spectral signature collected in the field using a portable spectroradiometer. Three spectra of each target were obtained, totaling fifteen samples from five different locations. RS³®, ViewSpec Pro 6.2® software were used for data collection and electronic spreadsheets to obtain reflectance averages, coefficient of variation between readings and spectral curves. Data on the influence of weathering on pavement wear and its influence on the spectral curve were also obtained. The study was efficient in differentiating the pavements by age and indicated signs of surface wear. Regarding granulometry and macrotexture, it was not possible to differentiate the floors.

Key words — *reflectance, spectral curve, flexible pavements, spectroradiometrics.*

1. INTRODUÇÃO

Pavimentos asfálticos são infraestruturas utilizadas para um fluxo mais eficiente de pessoas, bens e serviços. Para o adequado gerenciamento destes, são necessárias algumas informações, como: idade, condições de tráfego, alterações na textura superficial (macro textura), dentre outras. Estas informações podem ser obtidas por meio do sensoriamento remoto, sendo uma das técnicas utilizadas a análise espectral, pois existem evidências de que algumas características podem ser observadas nas assinaturas espectrais. No entanto, ainda são necessários estudos que quantifiquem a relação entre os valores de refletância e estas características [1] [2] [3] [4] [5]. Por exemplo, é possível observar a idade aproximada do pavimento, pois em locais recém executados e sem defeitos de superfície aparentes a refletância é baixa, com máximo de aproximadamente 10%. Isto pode indicar que o pavimento ainda não apresentou desgaste, que é a perda de asfalto na superfície [1] [6] [7]. O formato da curva pode ser ligeiramente côncavo para asfaltos novos e convexo a partir de aproximadamente um mês [8].

Outra característica é a quantidade de asfalto e seus processos de remoção, os quais podem alterar o formato da curva no espectro visível (VIS, 380 a 780 nm), observando-se um aumento na refletância quanto menor a porcentagem de asfalto, sendo mais fácil identificar as curvas de pavimentos com maior desgaste de superfície. [9] [5]. Na região do infravermelho de ondas curtas (SWIR), a inclinação pode se aproximar de uma linha plana ou crescente. A resposta espectral varia substancialmente no primeiro mês e se estabiliza em cerca de um ano [10] [11] [8].

Conforme envelhece, o pavimento torna-se visivelmente mais plano. Os efeitos espectrais representam uma combinação da exposição de componentes rochosos e envelhecimento do asfalto, que ocorrem de forma gradual e são mais notados nos estágios iniciais. A redução de componentes dos hidrocarbonetos complexos causa um aumento na refletância em todo o espectro, mas principalmente no VIS. Zonas de absorção de hidrocarbonetos não são mais encontradas ou são reduzidas, principalmente no final do SWIR, entre 1.700 e 2.300 nm [12] [6] [13] [7].

Com relação à proporção entre os agregados, não são notadas diferenças perceptíveis no formato da curva nem nos valores médios de refletância [10]. Observa-se também que as faixas de comprimento de onda de 1.350 a 1.500 nm e 1.800 a 2.000 nm são caracterizadas como ruídos causados devido a presença de partículas de água e dióxido de carbono da atmosfera. Já a faixa entre 2.300 nm e 2.500 nm geralmente apresenta sinal ruidoso, evidente principalmente em alvos de baixa refletância [1] [14].

A partir disto, o objetivo geral desta pesquisa foi realizar a avaliação espectral de pavimentos asfálticos, caracterizando cada um por sua assinatura, coletada com um espectrorradiômetro portátil. Os dados foram obtidos em locais com clima subtropical úmido e tráfego baixo, condições estas encontradas em ruas locais e estradas rurais pavimentadas do estado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo concentrou-se em cidades do estado do Paraná (Brasil), em regiões da área urbana e estradas rurais pavimentadas com tráfego baixo nas cidades de Iguaraçu, Nova Londrina e Ivatuba. Estes locais foram escolhidos devido à existência das condições desejadas, bem como a disponibilidade de obtenção dos dados. (Iguaraçu (a): Rua Vereador Joaquim, 23º11’40”S - 51º49’36”W; Nova Londrina (b): Rua Padre Beviláqua, 22º45’54”S - 52º59’06”W; Ivatuba (c): Av. Gerônimo Garcia, 23º33’08”S - 52º06’28”W; Ivatuba2 (d): Estrada Pontal do Ivaí, 23º37’50”S - 52º13’54”W; Nova Londrina2 (e): Rua Padre Beviláqua, 22º45’54”S - 52º59’06”W).

A coleta dos dados espectrais de campo foi realizada utilizando o espectrorradiômetro da marca Analytical Spectral Devices (ASD), modelo Fieldspec 3 Jr®, com alcance entre 350 a 2.500 nm, o qual compreende uma fração do ultravioleta próximo (NUV, 350 a 380 nm), espectro visível (VIS, 380 a 780 nm), infravermelho próximo (NIR, 780 a 1000 nm) e uma fração do infravermelho de ondas curtas (SWIR, 1000 a 2500 nm) [15]. A metodologia seguida foi adaptada de Mei et al. (2014b) e as amostragens foram realizadas com céu limpo e iluminação estável em três dias dos meses de dezembro de 2020 e janeiro de 2021, sempre entre às 11:00 e 13:00 horas para evitar influência da inclinação solar. Foram coletados três espectros de cada alvo, totalizando quinze amostras para cinco locais diferentes.

Antes de iniciar a primeira captura de dados o equipamento foi calibrado utilizando uma placa Spectralon® para padronizar a refletância máxima. Este processo foi repetido a cada 9 aquisições de dados (leituras em 3 locais diferentes), ou conforme era possível notar variações na iluminação local, mantendo o aparelho corretamente calibrado. Cada alvo teve seu espectro coletado a uma altura de aproximadamente 20 cm, por 3 vezes, a fim de se obter um espectro médio. A altura próxima ao alvo foi adotada de forma a minimizar os efeitos relativos a condições ambientais. Os espectros foram coletados no software RS³® e os dados exportados no ViewSpec Pro 6.2®. Posteriormente, utilizando o Microsoft Excel®, foram obtidas as médias de refletância entre as três leituras de cada alvo, bem como verificada a variabilidade dos dados a partir do coeficiente de variação entre as leituras.

Com esses valores, foram traçadas as curvas espectrais. Também foram obtidos os dados de precipitação acumulada e temperatura média para verificar a influência das intempéries no desgaste do pavimento e sua influência na curva espectral. Para as leituras 1,3 e 4 os dados foram obtidos da estação meteorológica de Maringá – PR e das leituras 2 e 5 da estação localizada em Guairaçá – PR, pois são as localidades mais próximas dos locais de coleta e que melhor representam as características de cada região.

3. RESULTADOS

Para analisar os resultados, as faixas de comprimento de onda de 1.350 a 1.500 nm, 1.800 a 2.000 e 2.300 a 2.500 nm foram excluídas, sendo caracterizadas como ruídos [1] [14]. Foram escolhidos 5 locais para a coleta, de acordo com os seguintes critérios: idade, faixa granulométrica do DER-PR (Departamento de Estradas de Rodagem - PR) e macrotextura do pavimento. A amostra 1 foi obtida de um pavimento recém executado (3 dias), a segunda com 80 dias e a terceira com 170 dias. As três amostras são de pavimentos executados em C.A.U.Q (concreto asfáltico usinado a quente), da mesma faixa granulométrica (faixa E do DER-PR). A amostra 4 foi obtida de um pavimento de idade próxima da amostra 1, mesmo material e faixa granulométrica diferente (faixa D do DER-PR). A amostra 5 possui as mesmas características da leitura 2, diferenciando-se pela sua superfície com aparência mais lisa, o que indica maior passagem das rodas dos veículos. Todas os pavimentos analisados são resultantes da mistura entre agregados da região da cidade de Apucarana-PR e C.A.P (Cimento Asfáltico de Petróleo) 50/70. As análises foram feitas de forma individual e posteriormente comparadas para verificar a possibilidade de diferenciar os pavimentos e suas caraterísticas por meio da análise espectral.

Na Figura 1 pode-se observar as amostras de asfaltos coletadas para estudo. Nota-se que a refletância é em geral menor que 10%, pois neste período os constituintes do asfalto estão presentes em quantidades próximas as de projeto.

Nos pavimentos recém executados ou com pouco tempo de uso, os resultados encontrados são condizentes com os estudos de Herold e Roberts [1], Herold et al [6], Mei, Salvatori e Allegrini [8], Mei et al. [9], Pan et al. [7] e Deshpande, Inamdar e Vin [10] em valores, formato da assinatura, baixa refletância geral e a sensibilidade aos estágios iniciais de desgaste. Já em relação à absorção, apenas o pavimento mais novo não apresentou essa característica. Em todos os casos exceto o pavimento da Figura 1 (a), foi possível verificar uma região de absorção na região do VIS e

NIR, em discordância com o estudo de Mei, Salvatori e Allegrini [8] e Herold et al. [6].

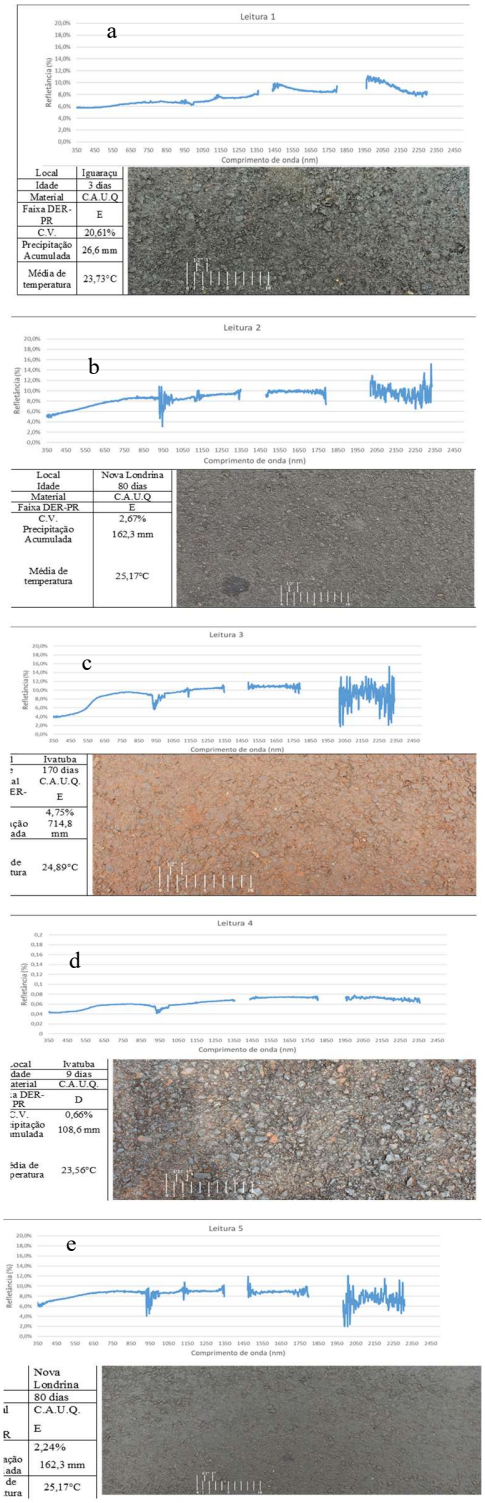


Figura 1. Leituras espectrais: (a) Iguaraçu; (b) Nova Londrina; (c) Ivatuba; (d) Ivatuba2; (e) Nova Londrina2.

4. DISCUSSÃO

Isto pode ser relacionado com o desgaste e surgimento de características de absorção mineral já nas primeiras idades. No primeiro caso, o estudo em questão analisou corpos de prova moldados em laboratório, nos quais o surgimento das absorções minerais pode ocorrer de forma mais lenta devido a não exposição do asfalto as intempéries. Os dados de coletas de campo podem indicar o surgimento das absorções minerais já próximo aos 3 meses de idade, período este que não foi testado no estudo citado. Já Herold et al. [6] denomina asfaltos recém-executados pavimentos com menos de um ano. Novamente pode ocorrer de a amostra em questão estar situada entre a execução e os 3 meses deste estudo. Outra característica que pode ser observada é a relação entre as intempéries e o desgaste superficial do pavimento. Uma vez que estes locais possuem um tráfego reduzido, pode-se concluir que a maior parte do desgaste é decorrente dos efeitos da precipitação e temperatura local.

Na leitura 1 (a), o pavimento recém executado esteve submetido a poucos períodos de chuva. Nas leituras 1 (b) e 1 (c), é possível verificar que as a pluviosidade aumenta significativamente devido ao período chuvoso, o que pode acelerar o desgaste superficial do pavimento e expor parte dos agregados. Isto pode resultar no aparecimento de regiões de absorção de energia aos 935 e 950 nm, que podem estar relacionados a minerais como óxido de ferro. Verifica-se também que a baixa refletância geral pode resultar em feições espectrais fortemente influenciadas por ruídos e suprimir a maior parte das características distintas, corroborando com os estudos de Herold e Roberts [1] e Heiden et al. [16].

Em comparação entre a leitura 1 (a) e leitura 1 (d) verifica-se que a curva do pavimento da Faixa D do DER-PR possui formato semelhante, porém com refletância média menor, mesmo este sendo executado alguns dias antes (3 dias/9 dias, respectivamente). Apesar dos pavimentos serem de mesmo material e idades próximas, não é possível identificar se as diferenças são decorrentes da variação entre as faixas granulométricas. Porém, pode-se observar o surgimento da absorção de energia na região próxima aos 950 nm, citada anteriormente, o que pode ser relacionado a diferença na precipitação acumulada de 26,6 mm (leitura 1 (a)) e 108,6 mm (leitura 1 (d)). Isto fornece indícios de que pode ser possível identificar o desgaste superficial causado pelas intempéries logo nas primeiras idades, o que pode ser visto a partir da semelhança entre as curvas da leitura 1 (c) e 1 (d). A temperatura média dos locais é próxima e, neste caso, não foi possível identificar sua influência. Com relação à comparação das “trilhas de roda”, não foi possível verificar diferenças significativas entre as curvas 1 (b) e 1 (e), tanto nos valores médios de refletância quanto ao formato da curva e absorções.

5. CONCLUSÕES

Para as condições a qual o estudo foi realizado, a diferenciação dos pavimentos por idade foi eficiente, principalmente no trecho do VIS/NIR, no qual variam a intensidade da refletância, o formato da assinatura, bem como o surgimento de absorções de energia. Nesta região, existem indícios que o desgaste superficial do pavimento torna a concavidade da curva mais proeminente, o que pode estar relacionado a absorção de energia por minerais como óxido de ferro. No trecho entre 1.500 a 1.800 nm a diferença no valor de refletância se mantém, sendo mais uma forma de diferenciação. Já no final do SWIR, não foi possível verificar esta relação devido às interferências nas leituras de campo.

Sobre a comparação entre refletância e granulometria, não se pode concluir que seja possível diferenciar estes pavimentos, ainda que a refletância média do pavimento de faixa D do DER-PR seja menor. Também não foi possível diferenciar a textura superficial no caso da trilha de rodas, pois a curva da leitura 5 se mostrou semelhante ao pavimento da leitura 2. Sobre a desgaste superficial dos pavimentos, foi possível identificar no estudo o surgimento desta característica logo aos 9 dias.

8. REFERÊNCIAS

[1]. HEROLD, M.; ROBERTS, D. Spectral characteristics of asphalt road aging and deterioration: Implications for remote-sensing applications. *Applied Optics*, v. 44, n. 20, p. 4327–4334, 2005.

[2]. VILLA, P. et al. A hybrid multi-step approach for urban area mapping in the Province of Milan, Italy. *European Journal of Remote Sensing*, v. 45, n. 1, p. 333–347, 2012.

[3]. MANZO, C. et al. Spectral modelling used to identify the aggregates index of asphalted surfaces and sensitivity analysis. *Construction and Building Materials*, v. 61, p. 147–155, 2014.

[4]. MEI, A. et al. Bitumen Removal Determination on Asphalt Pavement Using Digital Imaging Processing and Spectral Analysis. *Open Journal of Applied Sciences*, v. 04, n. 06, p. 366–374, 2014a.

[5]. MEI, A. et al. Spectroradiomec Laboratory Measures on Asphalt Concrete: Preliminary Results. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 53, p. 514–523, 2012.

[6]. HEROLD, M. et al. Imaging spectrometry and asphalt road surveys. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 16, n. 2, p. 153–166, 2008.

[7]. PAN, Y. et al. Mapping asphalt pavement aging and condition using multiple endmember spectral mixture analysis in Beijing, China. *Journal of Applied Remote Sensing*, v. 11, n. 1, p. 016003, 2017.

[8]. MEI, A.; SALVATORI, R.; ALLEGRINI, A. Analisi delle superfici asfaltate tramite dati di campo e immagini iperspettrali MIVIS. *Italian Journal of Remote Sensing / Rivista Italiana di Telerilevamento*, v. 43, n. 2, p. 147–159, 2011.

[9]. MEI, A. et al. Integration of field and laboratory spectral data with multi-resolution remote sensed imagery for asphalt surface differentiation. *Remote Sensing*, v. 6, n. 4, p. 2765–2781, 2014b.

[10]. DESHPANDE, S. S.; INAMDAR, A. B.; VIN, H. M. Spectral Library and Discrimination Analysis of Indian Urban Materials. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, v. 47, n. 5, p. 867–877, 2019.

[11]. NORONHA, V. et al. Spectrometry and Hyperspectral Remote Sensing for Road Centerline Extraction and Evaluation of Pavement Condition. *National Consortium on Remote Sensing in transportation - Infrastructure Management* (2002), n. August, p. 12, 2002.

[12]. HEROLD, M. Understanding spectral characteristics of asphalt roads. National Center for Remote Sensing in Transportation (NCRST) *University of California Santa Barbara* (UCSB), n. May, p. 1–8, 2004.

[13]. ANDREOU, C.; KARATHANASSI, V.; KOLOKOUSSIS, P. Investigation of hyperspectral remote sensing for mapping asphalt road conditions. *International Journal of Remote Sensing*, v. 32, n. 21, p. 6315–6333, 2011.

[14]. METTAS, C. et al. Risk provision using field spectroscopy to identify spectral regions for the detection of defects in flexible pavements. *Natural Hazards*, v. 83, n. 1, p. 83–96, 2016.

[15]. MILLER, J. L. *Principles of Infrared Technology*. 1. ed. Boston, MA: Springer US, 1994.

[16]. HEIDEN, U. et al. Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing data**.** *Remote Sensing of Environment*, v. 111, n. 4, p. 537–552, 2007.