

## ANÁLISE DA MACROTEXTURA DE CAMADA POROSA DE ATRITO EM SERVIÇO POR PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

**Francisco Heber Lacerda de Oliveira**

**Arielle Elias Arantes**

**Pedro Siqueira Fontenele**

Universidade Federal do Ceará

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

### RESUMO

A implementação de técnicas modernas, como o Processamento Digital de Imagens (PDI), para avaliação da textura de revestimentos asfálticos drenantes de pavimentos em serviço pode ser uma alternativa viável em substituição aos métodos tradicionais. Nesse sentido, o objetivo deste artigo foi relacionar os resultados obtidos do ensaio de Mancha de Areia (HS) de uma Camada Porosa de Atrito (CPA) com informações obtidas do PDI. Foram aplicados diferentes limiares para cada imagem, conforme os seus histogramas, a fim de contabilizar ( $N^\circ$  *pixels*) e estimar o valor médio dos níveis de cinza (NCm) dos *pixels* abaixo destes limiares. O  $N^\circ$  *pixels* explicou 96% e o NCm 86% da variabilidade da macrotextura (HS) para as imagens de 1400 x 1400 *pixels*. Para essas, verificou-se que, em média, 63% e 18% dos *pixels* apresentaram macrotextura aberta e muito aberta, respectivamente, e menos de 1% dos *pixels* apresentaram macrotextura muito fechada.

### ABSTRACT

The implementation of modern techniques, such as Digital Image Processing (DIP), to evaluate the texture of drainage asphalt pavements in service can be a viable alternative to traditional methods. Thus, the objective of this paper was to relate the results obtained from the Sand Stain Test (HS) of a Porous Friction Course (PFC) with information obtained from DIP. Different thresholds were applied in each image, according to their histograms, in order to count the number of pixels below these thresholds ( $N^\circ$  pixels), as well as to estimate their mean gray values (Gm). The  $N^\circ$  of pixels explained 96% and the Gm 86% of the HS variability for the images of 1400 x 1400 pixels. For these images, on average, 63% and 18% of all pixels presented open and very open macrotexture, and less than 1% of the pixels presented very close macrotexture.

### 1. INTRODUÇÃO

A avaliação da textura de revestimentos de pavimentos em serviço é fundamental para a segurança viária. Uma textura deficiente, geralmente caracterizada como de macrotextura fechada ou muito fechada, favorece a formação de película d'água na superfície do pavimento e a ocorrência do fenômeno da hidroplanagem, no qual o condutor perde o controle veicular sobre a via. Assim, verifica-se a necessidade de uma maior frequência da avaliação das condições da textura superficial dos pavimentos e da utilização de revestimentos especiais ou drenantes, como a Camada Porosa de Atrito (CPA), sobretudo no contexto urbano de alto fluxo veicular, como forma de se evitar os acidentes.

O ensaio tradicional de caracterização da macrotextura, conhecido como Mancha de Areia, possui algumas limitações: necessidade de interrupção total ou parcial do fluxo de tráfego, tempo demasiado de execução, segurança do operador e influência deste sobre os resultados. Esses motivos podem dificultar uma fiscalização mais constante, e, conseqüentemente, a geração de diagnósticos das condições de segurança e da textura do revestimento.

Por conta disso, tem-se verificado, principalmente na última década, o interesse de agências fiscalizadoras e gestores de pavimentos na utilização e validação de novos métodos para a obtenção da macrotextura. Um desses recursos é o Processamento Digital de Imagens (PDI), que realiza a análise de dados multidimensionais capturados por uma variedade de sensores, como câmeras digitais, tendo seu processamento realizado em *softwares* digitais específicos.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é caracterizar a macrotextura em um revestimento asfáltico drenante, do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA), de uma avenida da cidade de Fortaleza, estado do Ceará, por meio do ensaio tradicional de mancha de areia e com informações extraídas do Processamento Digital de Imagens (PDI).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Mesmo sendo mais utilizada em aeroportos brasileiros, a quantificação de parâmetros de textura superficial também é essencial para garantir a segurança dos usuários de uma rodovia. Ao receber água em sua superfície, um pavimento pode promover hidroplanagem, efeito que decorre da perda de contato entre o pneu e o revestimento, não ocasionando atrito suficiente entre as duas superfícies e, sim, escorregamento entre elas, o que leva à ausência de controle humano sobre a máquina e a ocorrência de possíveis acidentes, caso o filme de água presente não seja rompido pela ranhura do pneumático ou textura da pista (Bernucci *et al.*, 2006).

Conforme DNIT (2011), é necessário avaliar o aspecto do pavimento quanto ao atrito pneu-pavimento, o qual é função da aderência, principalmente em dias de chuva, que envolve a resistência à derrapagem. O parâmetro de rugosidade do pavimento é definido como parâmetro de resistência à derrapagem e é determinado baseado na sua textura superficial, que representa o grau de interação entre os pneus do veículo e a superfície do pavimento. *Canadian National Committee* (2015) afirma que a rugosidade é avaliada usando dois parâmetros: a macrotextura, dependente da profundidade da textura do pavimento, e a microtextura, estimada por meio do coeficiente de atrito vinculado ao grau de suavização da superfície dos agregados.

Dentre os revestimentos asfálticos que melhor apresenta características de aderência pneu-pavimento está a Camada Porosa de Atrito (CPA), que é caracterizada por sua curva granulométrica uniforme, permitindo que haja muitos vazios na mistura (entre 18% e 25%), devido a baixas quantidades de fíler, agregado miúdo e ligante asfáltico modificado por polímero (Ceratti *et al.*, 2015). Essa caracterização torna a CPA um revestimento drenante, tendo em vista que a drenagem ocorre com a infiltração da água nos seus vazios e é escoada internamente até o sistema de captação de água pluvial da via, sejam sarjetas ou alguma camada drenante. No Brasil, esse revestimento é especificado por DNER (1999).

A macrotextura é de escala maior de rugosidade em relação à microtextura e é responsável por 90% do atrito em velocidades acima de 90 km/h. Essa característica é mensurada em função das propriedades da mistura, método de compactação e graduação dos agregados. Além de garantir os benefícios de atrito, a macrotextura pode reduzir a projeção de partículas de água presentes no revestimento para cima, bem como o brilho do reflexo dos faróis veiculares. Entretanto, a macrotextura também pode contribuir com o aumento do ruído e elevar o consumo de pneus e de combustível (Haas *et al.*, 2015). Ressalte-se que o ruído pode ser mitigado em revestimentos com macrotextura muito aberta, caso da CPA, em virtude da interligação dos vazios internos característicos desse tipo mistura asfáltica.

Embora existam métodos modernos como os *laser* de alta resolução, a forma mais utilizada para mensurar a macrotextura de um pavimento, no Brasil, é pelo ensaio da Profundidade Média da Mancha de Areia (ABNT, 2016). O ensaio qualifica a superfície do revestimento, define a capacidade de dispersão da água presente entre o pavimento e o pneu, e mensura a distância média entre os agregados emerso e a superfície do pavimento (DNIT, 2006).

Na opinião de Oliveira (2009), os ensaios de macrotextura realizados em períodos distintos levam a formulação de conclusões difusas ou imprecisas, o que reforça a necessidade da constante avaliação da textura dos pavimentos. Para isso, contudo, é preciso interromper o fluxo de veículos, o que dificulta o seu monitoramento longo do tempo. Devido a isso, o uso de imagens e técnicas do Processamento Digital de Imagens (PDI) pode ser uma ferramenta de auxílio no acompanhamento e diagnóstico das condições de campo.

O PDI tem como objetivo auxiliar a visualização de atributos de uma imagem para análises quantitativas, com a correção de defeitos ou realces das regiões de interesse; e a extração e tratamento de dados quantitativos, computacionalmente (Augusto, 2012).

Lucas Júnior (2018) desenvolveu um método de PDI com o objetivo de extrair o percentual de área do agregado recoberto com ligante asfáltico, por meio do processamento de imagens capturadas por um *smartphone*. As etapas foram realizadas no *software* MATLAB R2017a com imagens de agregados após o ensaio de adesividade. Como conclusão, afirma que o PDI é uma ferramenta capaz de tal tarefa.

A mesma rotina foi utilizada por Sousa e Oliveira (2019) para a obtenção da macrotextura de pavimento flexível em serviço e posterior análise de correlação entre este PDI e o ensaio tradicional de mancha de areia para os mesmos pontos. O resultado apresentado também foi satisfatório para o cálculo de profundidade média da mancha de areia em Concreto Asfáltico.

### 3. MÉTODOS E TÉCNICAS

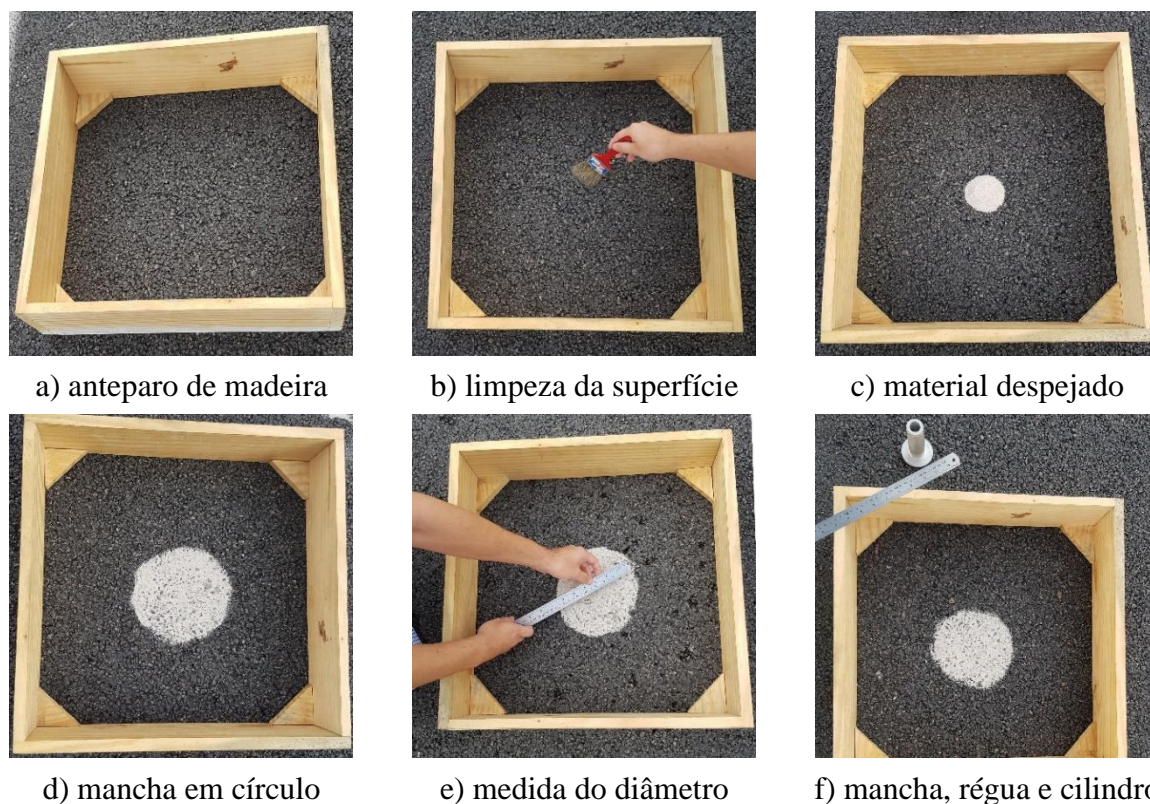
A via escolhida para realizar o presente estudo foi a Av. Sen. Virgílio Távora, na cidade de Fortaleza, estado do Ceará, cujo revestimento é do tipo Camada Porosa de Atrito (CPA), tendo sido executado em setembro de 2018. A via possui duas faixas em cada sentido de tráfego, ciclofaixa em ambos os sentidos e um canteiro central.

Os ensaios foram realizados na faixa de tráfego da esquerda (próxima ao canteiro central). Selecionaram-se dez pontos distintos ao longo de via, todos abrangendo, especificamente, as trilhas de roda, externa ou interna, local de maior solicitação do tráfego, e as áreas com ou sem desprendimento de ligante ou agregado ou alguma alteração visual em sua textura.

O procedimento inicia-se ao limpar o revestimento com um pincel, a fim de retirar qualquer contaminação presente que possa influenciar no resultado do ensaio. Posteriormente, um anteparo de madeira é posto no local, e dentro desta área, despeja-se um volume (V) de areia de 25.000 mm<sup>3</sup>, com granulometria especificada, em forma cônica, com cuidado para que o vento não o espalhe sobre a superfície. Com a base emborrachada do disco espalhador, a areia é espargida de forma circular, e o diâmetro (D, em mm) deste círculo é medido com a régua em quatro diferentes direções, espaçadas de 45° entre si (Figura 1).

A profundidade média da mancha de areia (HS, em mm) é calculada por meio da Equação 1, e, posteriormente, é realizada a caracterização da macrotextura do revestimento segundo a classificação do DNIT (2006), conforme Tabela 1.

$$HS = \frac{4V}{D^2\pi} \quad (1)$$



**Figura 1:** Sequência do ensaio de determinação da profundidade média da mancha de areia

**Tabela 1:** Classificação da macrotextura (DNIT, 2006)

Classe	Altura (HS em mm)
Muito fina ou muito fechada	$HS \leq 0,20$
Fina ou fechada	$0,20 \leq HS \leq 0,40$
Média	$0,40 \leq HS \leq 0,80$
Grosseira ou aberta	$0,80 \leq HS \leq 1,20$
Muito grosseira ou muito aberta	$HS > 1,20$

### 3.1. Processamento digital das imagens

As imagens foram capturadas por uma câmera digital *GoPro Hero+* com 8 MP (3264 x 2448 pixels) de resolução, com abertura de f/2.8, velocidade do obturador de 1/120 segundos (em média), sensibilidade ISO 100. A câmera gera imagens no formato JPEG e foi acoplada no para-choque dianteiro de um veículo de passeio, posicionada próxima a projeção da roda direita (30 cm de distância da face externa do pneu), de forma que o eixo horizontal de sua lente estivesse posicionado o mais perpendicular possível em relação à movimentação do veículo e paralelo ao pavimento (distância de 30 cm da face da lente até o pavimento analisado), possibilitando uma fotografia com menos distorções.

O comando para a captura da imagem é realizado por um aplicativo de celular que se conecta via *wireless* de rede privada com a câmera e possibilita comandos e visualização da imagem que será capturada. Importante ressaltar o padrão utilizado na captura das imagens para garantir a correta análise do método experimental. As imagens foram gravadas no período matutino, entre 06h e 08h, além da busca de iluminação semelhante para todas, pois o brilho representado na lente da câmera tem influência direta no histograma de cores das imagens.

### 3.1.1. Processamento das imagens

As imagens foram processadas no *software* MATLAB 2018a. A rotina apresenta o primeiro comando, *imread*, que afirma qual imagem deverá ser processada pelo *software*. No pré-processamento, as imagens que têm padrão RGB (*Red, Blue, Green*), ou seja, coloridas, devem ser transformadas em um padrão monocromático utilizando uma função nativa do *software* MATLAB 2018a chamada *rgb2gray*. Com a imagem em tons de cinza (monocromática), posteriormente todos os *pixels* foram classificados em duas classes (0 e 1) ou cores, preto e branco, este processo é chamado de segmentação por limiarização.

Para o processamento apresentar um resultado mais fidedigno à realidade foi necessário a definição de um limiar do histograma para a binarização de cada imagem. Devido à uniformidade visual da textura do pavimento em toda a extensão da via, optou-se por testar diferentes limiares em cada ponto alterando-os sequencialmente em 0,1 até ser possível notar a representatividade de agregados e ligantes na segmentação.

Entretanto, o objetivo do PDI é garantir agilidade na obtenção das informações desejadas da via. Sendo assim, o propósito das pesquisas nesse campo foi definir limites para que a replicação do projeto fosse sempre a mais rápida possível. Dessa forma, testou-se diferentes limiares para três diferentes tamanhos de imagens (3264 x 2448, 2000 x 2000 e 1400 x 1400 *pixels*), notando-se um melhor resultado para as imagens de 1400 x 1400 *pixels*, a qual será explorada em mais detalhe neste trabalho.

Foram testados limiares distintos para cada imagem e um limiar comum para todas as imagens. Os *pixels* abaixo do limiar receberam o valor zero (0), particularizando a cor preta, e acima desta divisão, foi atribuído o valor um (1), sendo característica da cor branca.

O *software* utilizado, MATLAB, realiza a contagem dos *pixels* brancos em uma imagem. Porém, a profundidade entre os agregados é representada pela cor preta na imagem segmentada (0), sendo assim, deve-se realizar a inversão (1), tornando este elemento de cor branca, retornando ao final do processamento um número a ser associado à macrotextura do revestimento. Posteriormente, por meio do comando *bwarea* é realizada a contagem dos *pixels* brancos que na imagem invertida representam a profundidade do revestimento, como explanado na seção anterior. Este valor total é então comparado com os resultados obtidos com o ensaio tradicional de mancha de areia na via.

Por fim, foi realizada uma análise comparativa dos dois métodos de mensuração de macrotextura, definição de parâmetros necessários para o PDI e sua influência no processo, por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

### 3.1.2. Conversão dos valores de nível de cinza para profundidade

Para representar a variação da macrotextura em cada imagem foi necessário converter os valores de nível de cinza das imagens monocromáticas geradas no *software* MATLAB 2018a para valores de profundidade média (HS) obtidos do ensaio de mancha de areia. Para isso, calculou-se a média dos níveis de cinza (0-255) de todos os *pixels* abaixo de cada limiar, ou seja, apenas os *pixels* com valores de um nas imagens segmentadas e invertidas. Os valores médios de cinza (NCm) foram relacionados por meio de uma análise de regressão linear com os valores de HS. A equação de regressão obtida dessa relação foi aplicada em cada imagem (10 pontos) no *software* QGIS utilizando a ferramenta Calculadora *Raster*, e nesse mesmo *software* os resultados foram coloridos segundo intervalos da classificação de DNIT (2006).

Foi calculado o valor médio de HS de cada imagem e comparado com o resultado do ensaio de mancha de areia. Também foram estimados o percentual dos *pixels* que estavam em cada categoria (de muito fechada a muito aberta).

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

##### 4.1. Ensaio da profundidade média da mancha de areia

Na Tabela 2 são apresentados os valores de profundidade média da mancha de areia dos 10 pontos analisados neste trabalho, bem como sua classificação segundo DNIT (2006).

**Tabela 2:** Profundidade média da mancha de areia (HS)

Ponto	HS (mm)	Classificação DNIT (2006)
1	0,97	Aberta
2	0,92	Aberta
3	0,97	Aberta
4	0,93	Aberta
5	1,05	Aberta
6	1,07	Aberta
7	0,97	Aberta
8	0,97	Aberta
9	1,13	Aberta
10	0,98	Aberta

É possível perceber que todos os pontos da Tabela 2 apresentaram uma macrotextura de classificação aberta, o que já era esperado, tendo em vista que o revestimento é em CPA, com execução recente, pouco desgastado e objetivando a garantia de uma drenagem superficial adequada da via em estudo, sem formação de película d'água e, por consequência, pouca variação na sua macrotextura ao longo do revestimento.

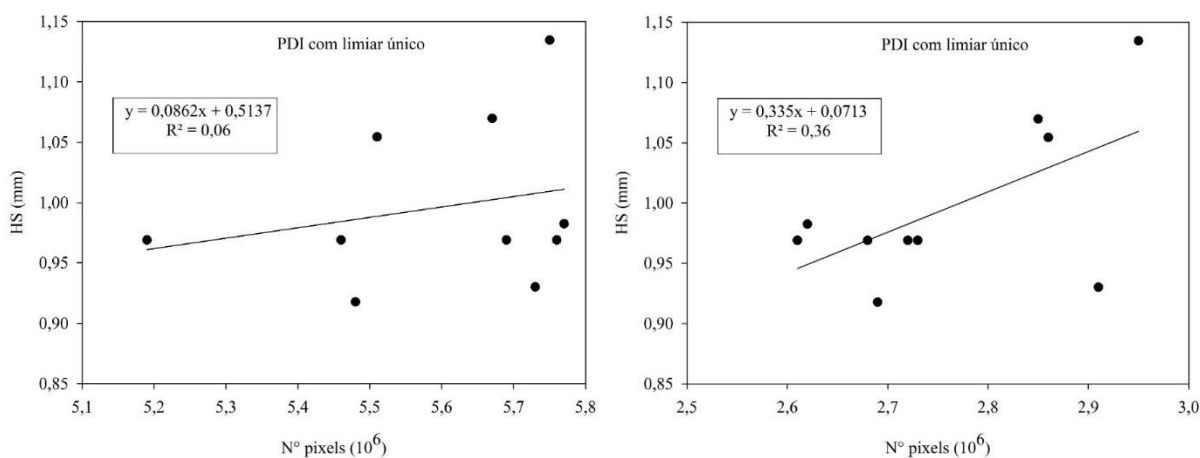
Uma análise estatística mais simples revela que a média dos pontos analisados é igual a 1,00 e o desvio-padrão igual 0,06. O Ponto 9 apresenta o maior valor de profundidade média devido a um desprendimento parcial do ligante da mistura e maior vazios superficial, enquanto que o Ponto 2 apresenta a menor profundidade média por possuir maior presença de ligante e, desse modo, tornar a textura mais fechada, características comprovadas *in loco* (Figura 2).



**Figura 2:** Detalhe da textura do revestimento em CPA dos pontos 9 e 2, respectivamente

#### 4.2. N° *pixels* e profundidade do revestimento

A imagem original de 3264 x 2448 *pixels* apresentou uma baixa relação ( $R^2 = 0,06$ ) entre o N° total de *pixels* com os valores de HS (Figura 3), o que pode ser explicado pela alta variação de brilho captada pela câmera com uma grande abertura angular e posterior reflexo no histograma das imagens. Nas bordas das imagens são representados elementos com uma alta saturação, enquanto na parte debaixo da lente formam-se áreas escuras, devido à proximidade da frente do automóvel que impossibilita a refração de iluminação solar no revestimento, como ocorre em áreas mais distantes do veículo, além de elementos indesejados, como sinalização. Assim, as imagens foram reduzidas para 2000 x 2000 *pixels*, apresentando  $R^2 = 0,36$  (Figura 4), indicando uma relação fraca, pois estas ainda apresentam variações de brilho resultantes do reflexo da câmera. Por sua vez, as imagens de 1400 x 1400 *pixels* não apresentaram problemas de brilho.

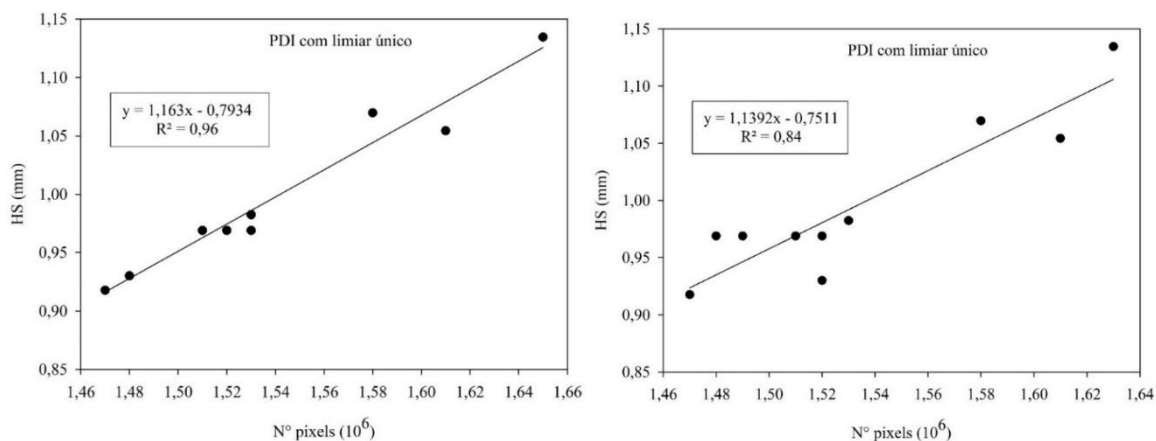


**Figuras 3 e 4:** Regressão linear entre o N° *pixels* e o HS para imagens de 3264 x 2448 *pixels* (a esquerda) e para imagens de 2000 x 2000 *pixels* (a direita)

Para as imagens de 1400 x 1400 *pixels*, os valores de HS, os limiares individuais e únicos para os 10 pontos e o N° *pixels* calculados pelo método de segmentação estão detalhados na Tabela 3. Considerando o N° *pixels* abaixo do limiar individual e único estabelecido, 96% e 84% da variabilidade de HS podem ser explicados pelas imagens (Figuras 5 e 6).

**Tabela 3:** PDI das imagens recortadas em 1400 x 1400 *pixels*

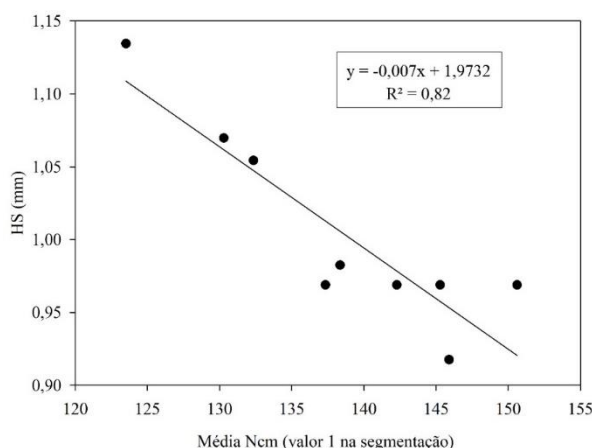
Tamanho da imagem		1400 x 1400 <i>pixels</i>			
Ponto	HS (mm)	Limiar	N° de <i>pixels</i> (10 <sup>6</sup> )	Limiar	N° de <i>pixels</i> (10 <sup>6</sup> )
1	0,97	0,62	1,51	0,62	1,51
2	0,92	0,62	1,47	0,62	1,47
3	0,97	0,63	1,51	0,62	1,48
4	0,93	0,61	1,48	0,62	1,52
5	1,05	0,62	1,61	0,62	1,61
6	1,07	0,62	1,58	0,62	1,58
7	0,97	0,62	1,52	0,62	1,52
8	0,97	0,63	1,53	0,62	1,49
9	1,13	0,63	1,65	0,62	1,63
10	0,98	0,62	1,53	0,62	1,53



**Figuras 5 e 6:** Regressão linear entre o N° *pixels* e o HS (limiares individuais) (a esquerda) e limiar único (a direita) para imagens de 1400 x 1400 *pixels*

### 4.3. Profundidade da macrotextura nas imagens

A relação linear entre os valores de nível de cinza médios (NCm), considerando apenas os *pixels* abaixo dos limiares indicados na Tabela 3, com a profundidade média da mancha de areia (HS) da CPA em estudo nos 10 pontos amostrados foi considerada alta. Os resultados mostram que 82% da variabilidade da profundidade média da mancha de areia (ou da macrotextura) pode ser explicada pelos valores de nível de cinza da imagem (Figura 7).



**Figura 7:** Regressão linear entre os valores de Nível de Cinza e o HS para imagens de 1400 x 1400 *pixels*

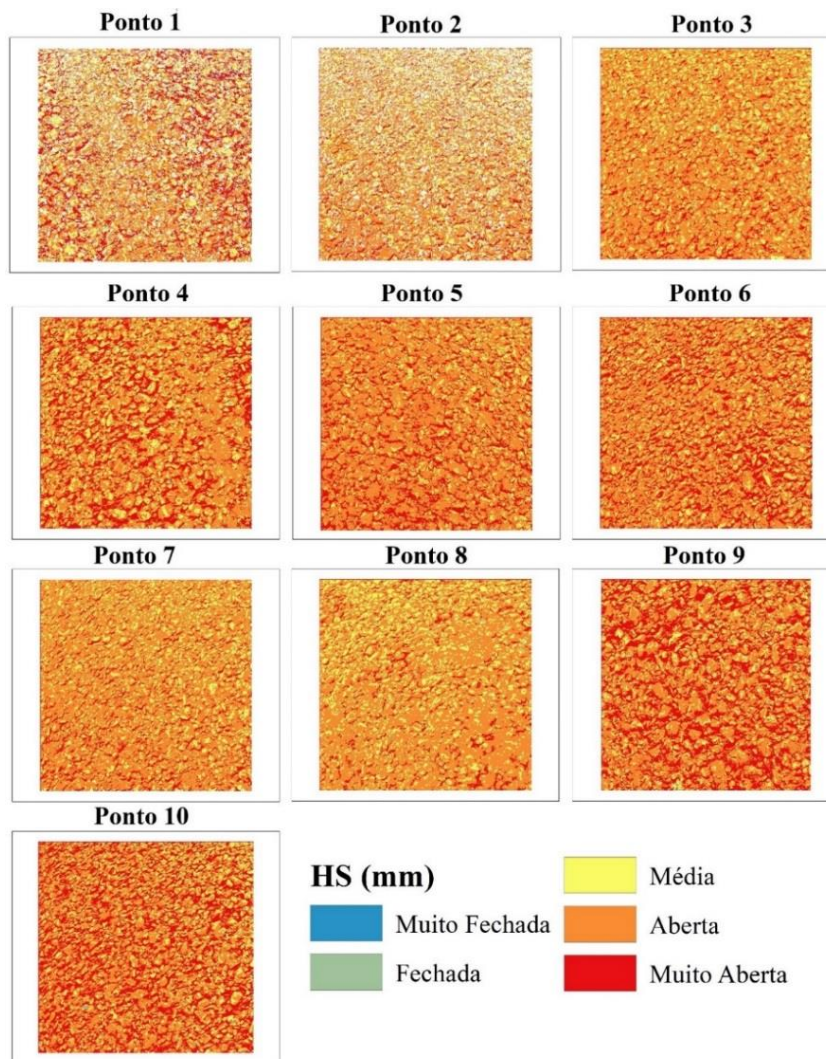
Aplicando a equação da Figura 7 em cada uma das 10 imagens foram obtidos os valores de profundidade média da mancha de areia (HS) para cada *pixel* da imagem (Figura 8). A média dos valores de HS das imagens foram comparadas com os valores de HS do ensaio de mancha de areia, sendo que a diferença foi maior para os pontos 4 e 10 (0,12 e 0,11 mm, respectivamente) e menor para os pontos 6 e 7 (0,009 e 0,001, respectivamente).

A Figura 8 mostra a variabilidade da profundidade *pixel a pixel*. Observa-se a predominância das cores amarelo, laranja e vermelho escuro, correspondentes as classes de macrotextura média, aberta e muito aberta, respectivamente. Todas as imagens apresentaram a predominância da macrotextura aberta (63% dos *pixels* nesta classe), seguido da macrotextura



média e muito aberta com 17% e 18%, respectivamente. Em particular o ponto 10 apresentou 90% dos *pixels* com macrotextura aberta (cor laranja).

Excluindo a predominância da macrotextura aberta, o Ponto 9 apresentou o segundo maior percentual de *pixels* com macrotextura muito aberta (35%), enquanto o ponto 2, um número maior de *pixels* com macrotextura média (22%). É interessante observar que há pouquíssimos *pixels* com macrotextura muito fechada e fechada (menor que 1%); isso já era esperado, visto que este pavimento se caracteriza por ser uma Camada Porosa de Atrito, e o revestimento tem pouco tempo de serviço, cerca de 10 meses de uso.



**Figura 8:** Valores da profundidade média da mancha de areia (HS) para as dez imagens com resolução de 1400 x 1400 *pixels*

## 5. CONCLUSÃO

A textura de um pavimento em serviço, quando adequada, garante apropriados níveis de segurança viária contra os efeitos nocivos da hidroplanagem, sendo, portanto, um importante parâmetro que deve ser mensurado continuamente e de forma célere e acurada. A análise de dessa característica dos revestimentos é um dos fatores decisivos para uma intervenção mais técnica e racional, por parte dos gestores viários ou órgãos fiscalizadores, para garantia das condições de aderência pneu-pavimento.

No desenvolvimento deste trabalho, observou-se que, com o auxílio de uma câmera acoplada a um veículo de passeio, e o seu controle ser realizado por um aplicativo de celular, a captura das imagens é rápida e não necessita de interrupção do fluxo de tráfego da via, garantindo, também, a segurança e a mínima interferência direta do operador nos resultados do ensaio de macrotextura (profundidade média da mancha de areia).

O processamento por meio de *softwares* específicos possibilitou uma análise mais criteriosa do avaliador, ao testar diferentes cortes e limiares. Com o corte das imagens em 1400 x 1400 *pixels* obteve-se um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,96 ao alterar os limiares do processamento de acordo com a sua análise visual, e de 0,84 ao se definir um único limiar para todas as imagens. Para estas, ao aplicar uma equação de regressão relacionando os valores destas em nível de cinza com os valores de profundidade média da mancha de areia, observou-se que cerca de 63% dos *pixels* apresentaram classificação de macrotextura aberta e 18% muito aberta.

A partir deste estudo, conclui-se que o Processamento Digital de Imagens (PDI) apresenta potencial para a determinação das características de macrotextura de pavimentos urbanos em serviço, incluindo aqueles com revestimentos drenantes, tornando-se uma técnica moderna em substituição aos métodos tradicionais.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2016) *NBR 16504: Misturas asfálticas – Determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos asfálticos por volumetria - Método da mancha de areia*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Augusto, K. S. (2012) *Identificação Automática do Grau de Maturação de Pelotas de Minério de ferro*. Dissertação (Mestrado). Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro
- Bernucci, L. B., Mota, L. M. G., Ceratti, J. A. P. e Soares, J. B. (2006) *Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras. Abeda. Rio de Janeiro.
- Canadian National Committee (2015) *Optimizing Road Infrastructure Investments and Accountability*. In: World Road Congress, 25, Seoul. p. 2.
- Ceratti, J. A. P.; Bernucci, L. B.; Soares, J. B. (2015) *Utilização de ligantes asfálticos em serviços de pavimentação*. Rio de Janeiro.
- DNER (1999) *DNER-ES 386/99: Pavimentação – pré-misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
- DNIT (2006) *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- DNIT (2011) *Manual de Gerência de Pavimentos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- Haas, R.; Hudson, W. R.; Falls, L. C. (2015) *Pavement Asset Management*. Beverly: Scrivener.
- Lucas Júnior, J. L. O. (2018) *Influência da Adesividade Agregado-Ligante no Trincamento por Fadiga de Misturas Asfálticas*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Oliveira, F. H. L. (2009) *Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários baseadas na Macrotextura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Sousa, E. S.; Oliveira, F. H. L. (2019) *Verificação do parâmetro de macrotextura de pavimentos em serviço por meio da análise digital de imagens*. Revista Tecnologia. Disponível em: <<https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/8595/5965>>. Acesso em: 28 maio.2019.

---

Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)  
Arielle Elias Arantes (aearantes@det.ufc.br)  
Pedro Siqueira Fontenele (pedrosf.eng@gmail.com)  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes  
Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará  
Campus do Pici, Bloco 703 – Fortaleza, CE, Brasil