



Marlon Luis Petry

Implementação de um sistema para avaliação da macrotextura de pavimentos utilizando Java

Trabalho de Conclusão de Curso

CRUZ ALTA-RS, 2008

Marlon Luis Petry

Implementação de um sistema para avaliação da macrotextura de pavimentos utilizando Java

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciência da Computação da UNICRUZ como requisito para a obtenção parcial do grau de BACHAREL em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Oleg Khatchatourian

Co-orientador: Prof. Dr. Luciano Specht

CRUZ ALTA-RS, 2008

Marlon Luis Petry

Implementação de um sistema para avaliação da macrotextura de pavimentos utilizando Java

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciência da Computação da UNICRUZ como requisito para a obtenção parcial do grau de BACHAREL em Ciência da Computação.

Comissão Examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Oleg Khatchatourian _____ UNICRUZ

Co-orientador: Prof. Dr. Luciano Specht _____ UNIJUI

Prof. MSc. Luciano Ferreira _____ UNICRUZ

Prof. MSc. Marco Antonio de Castro Barbosa _____ UNICRUZ

CRUZ ALTA-RS, 2008

Dedico está pesquisa a minha família por me apoiar, e entender os momentos que estive ausente.

Agradecimentos

Tenho me dedicado ao máximo desde o início da faculdade, sei que muitas vezes falhei na minha vida pessoal e no meu trabalho, agradeço muito a todas as pessoas que diretamente ou indiretamente participaram desta caminhada comigo. Um especial agradecimento a minha esposa que me incentivou e me apoio em todas minhas decisões.

Aos professores do curso de ciência da computação pelos seus valiosos ensinamentos, que durante esses anos, contribuíram para o meu enriquecimento pessoal e profissional.

Ao Professor Luis Claudio Gubert pelos conselhos e dicas.

A Deus por me sempre me dar força de vontade, e vencer todas as adversidades que surgiram nessa caminhada.

“Meu filho preserva teu maior patrimônio. Teu nome”.

Francisco Petry (Meu Pai)

Resumo

Processamento de imagem é uma área de pesquisa que tem recebido bastante atenção em diversas áreas do conhecimento tais como medicina e engenharias, sendo que sua utilização tem melhorado sistemas, automatizando e reduzindo custos operacionais. O objetivo desta pesquisa é utilizar processamento de imagem digital para obter a textura superficial (rugosidade) de pavimentos asfálticos de rodovias, a qual é obtida hoje através do ensaio da mancha de areia. Para obter os resultados esperados muitas técnicas de processamento de imagem, juntamente com a transformada de Fourier, foram utilizadas para calcular a macrotextura do pavimentos asfáltico. Os resultados encontrados indicaram que o método proposto possui uma ótima reprodutibilidade e baixo custo de execução.

Palavras-chaves: Asfalto. Processamento de imagem. Reconstrução 3D. Transformada de Fourier. Macrotextura de Pavimentos.

Abstract

Image processing is an area research that receive much attention in various areas of knowledge as medicine and engineering, where its use has improved systems, automating and reducing operational costs. The objective of this research is the usage of digital image processing to obtain surface texture (roughness) of roads, asphalt pavements, which is obtained today by testing the patch of sand. In order obtain the expected results many techniques of image processing, together with the Fourier transform, were used to calculate the macro-texture of the asphalt pavement. The results indicated that the proposed method has a great reproducibility and low cost execution.

Keywords: asphalt. image processing. 3d Reconstruction. Fourier Transform. Macro-texture paviments.

Lista de Figuras

2.1	<i>Níveis de cinza</i>	12
2.2	Vizinhança de um ponto	13
2.3	Imagem do asfalto	15
2.4	Filtro de classificação	15
3.1	Equipe fotografando o pavimento asfáltico.	21
3.2	Asfalto 3D	22
3.3	Asfalto dividido em bandas	23
4.1	Coeficiente de determinação	24
4.2	Correlação	24
4.3	Interface ImageJ	25
4.4	Plugin para análise do pavimento	25
4.5	Opções do plugin	25
4.6	Imagem do pavimento asfáltico	26
4.7	Imagem tons de cinza	26
4.8	Imagem da transformada de Fourier	26
4.9	Gráfico com as somas das bandas de frequência	27

Sumário

Lista de Figuras	6
1 INTRODUÇÃO	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 PROCESSAMENTO DE IMAGEM	11
2.1.1 IMAGEM DIGITAL	12
2.1.2 PIXEL	12
2.1.3 RELACIONAMENTO ENTRE PIXEIS	13
2.2 ETAPAS DO PROCESSAMENTO DE IMAGEM	14
2.2.1 AQUISIÇÃO DA IMAGEM DIGITAL	14
2.2.2 MELHORAMENTO DA IMAGEM	14
2.2.3 TRANSFORMADA DE FOURIER DISCRETA	15
2.3 TEXTURA DO PAVIMENTO ASFÁLTICO	17
2.4 MEDIÇÃO DA MACRO TEXTURA	18
3 METODOLOGIA	20
3.1 PLANEJAMENTO DA PESQUISA	20
3.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA	20
3.3 MÉTODOS UTILIZADOS	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	28
5.1 CONCLUSÃO	28

5.2 TRABALHOS FUTUROS	29
A ANEXO A1	32
RESULTADOS DO ENSAIO DA MANCHA DE AREIA	32

1 INTRODUÇÃO

A extensão total da malha rodoviária brasileira federal, estadual e municipal é de 1.724.924 km, sendo que apenas 9,5% da extensão total ou seja 164.247 km do total é pavimentada segundo fonte (DNER, 1999). Uma recente pesquisa realizada pela confederação nacional de transporte, avaliou as condições de tráfego de 84.282 km de rodovias em todo o país, obtendo os seguintes dados. Longos trechos de pavimento 54,5% (47.777 km) da extensão pesquisada encontrasse com o pavimento em estado regular, ruim ou péssimo, 65,4% (57.253 km), apresentam sinalização com problemas, 42,5% (37.259 km) não possuem acostamento, 39,0% (31.880 km) possuem placas com a legibilidade deteriorada.(TRANSPORTE, 2007).

No relatório executivo (IPEA; DENATRAN; ANTP, 2006), revela que em 2005 o custo anual de acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras alcançou a cifra de 22 bilhões de reais - 1,2% do PIB brasileiro. Existem várias causas que concorrem para que ocorra um acidente, uma das principais é a má conservação das estradas brasileiras. Um dado importante sobre o pavimento asfáltico é a sua macrotextura, apresentado no capítulo 3, a qual está intimamente ligada a aderência pneu-pavimento sendo um dos fatores que contribui para a segurança viária. Para obter-se este dado utiliza-se o ensaio da mancha de areia. Quando realizado este ensaio é necessário o bloqueio do tráfego na pista, tornando-se um método oneroso e de baixa reprodutibilidade, ou seja, realizando o ensaio novamente no mesmo local os valores obtidos serão diferentes dos valores anteriores.

Neste contexto surgiu a motivação para desenvolver um método de medição da macrotextura, que tenha maior eficácia, sendo mais versátil usando processamento de imagem digital mostrado no próximo capítulo. Com o método proposto foi obtido alta reprodutibilidade e baixo custo para sua execução.

Este pesquisa se enquadra na área de computação científica na qual através de uma imagem do pavimento asfáltico extraí-se suas características de macro-textura. Para realizar está tarefa são utilizadas técnicas de melhoramento da imagem, cálculo da transformada de fourier e segmentação da imagem em bandas de freqüência, sendo

desenvolvida na linguagem java com a utilização de alguns recursos da *API imageJ*.

A primeira versão do algoritmo para cálculo da rugosidade, foi desenvolvida em Matlab 7.0 e aplicada em (SANTOS, 2008), obtendo como resultado uma correlação de $r^2 = 0.79$ com o método da mancha de areia. Nesta pesquisa o algoritmo foi implementado em java e aprimorado conseguindo uma correlação de $r^2 = 0.906$.

A partir da seção 2.1 é explicado como uma imagem é formada e representada, tendo como elemento básico o pixel, também é explicado como os pixels se relacionam. Já na seção 2.2 é descrito as etapas envolvidas para realizar o processamento da imagem digital, tendo como enfoque sua obtenção, convertendo a imagem colorida para tons de cinza o que aumenta o desempenho computacional, logo após melhorando a imagem e removendo ruídos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROCESSAMENTO DE IMAGEM

Processamento de imagem é uma área de pesquisa que vem crescendo muito nos últimos anos, tendo como principal foco imagens médicas.

Basicamente o processamento se divide em três partes, baixa, médio e alto nível, explicadas abaixo:.

- Processamento de nível baixo é caracterizado pelo fato da entrada e saída serem imagens;
- Processamento de nível médio é caracterizado pelo fato da entrada ser uma imagem, mas a saída serem atributos extraídos dessa imagem (por exemplo: bordas, contornos, e a identificação de objetos individuais);
- Processamento de nível alto, que envolve dar sentido aos objetos reconhecidos, e desempenhar funções cognitivas normalmente associadas a visão humana.

Esta pesquisa utiliza processamento de nível baixo como mostrado na seção 2.2.2, onde temos como entrada uma imagem digital e como saída uma imagem melhorada, também utiliza-se processamento de nível médio pois após a imagem melhorada extraímos suas características de macro-textura utilizando a transformada de Fourier mostrada na seção 2.2.3.

Existem várias etapas no processamento de imagem, mas nesta pesquisa o foco será as etapas necessárias para realização da medição da macrot textura mais detalhes sobre processamento de imagem pode ser obtido em (GONZALEZ; WOODS, 2001).

2.1.1 IMAGEM DIGITAL

A imagem digital pode ser definida como uma função de duas dimensões $f(x, y)$, onde x e y representam as coordenadas, e f a amplitude, que também é chamado nível de intensidade da imagem na coordenada $f(x, y)$. Quando x, y , e os valores da amplitude f são finitos e discretos então é considerado uma imagem digital. A imagem digital é composta por um número finito de elementos, onde cada elemento tem uma localização e um valor. Estes elementos são referenciados como *picture elements*, *image elements*, *pels* e *pixels*. Pixel é o termo mais comumente utilizado para denotar elementos da imagem.(GONZALEZ; WOODS, 2001).

2.1.2 PIXEL

Pixel é a menor unidade de uma imagem, quanto mais pixels houver, melhor será a resolução. Quando a imagem for em escalas de cinza, por exemplo, cada pixel poderá assumir um valor de 256 tons de cinza, ou seja 2^8 , como pode ser visto na Figura 2.1, se a imagem for colorida é composto por três componentes rgb(Vermelho Verde Azul), cada componente assumirá um valor de 0 a 255.(GONZALEZ; WOODS, 2001).



Figura 2.1: Níveis de cinza

A imagem colorida ocupa um tamanho maior em memória, pois cada pixel possui três componentes rgb totalizando 3 bytes aumentando desta forma o uso de recursos computacionais para processar essa imagem. Uma boa técnica é converter a imagem em níveis de cinza, que será apresentado na seção 2.2.2, pois cada pixel possui somente 1 byte reduzindo desta forma o uso de recursos.(GONZALEZ; WOODS, 2001).

2.1.3 RELACIONAMENTO ENTRE PIXEIS

Relacionamento entre pixels tem grande importância em uma imagem digital. Uma imagem é denotada por $f(x, y)$. Para referenciar um pixel em particular será utilizado as letras minúsculas p e q .

Um pixel na coordenada (x, y) tem quatro vizinhos horizontais e verticais cuja suas coordenadas é dada por:

$$(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)$$

Este conjunto de pixels é chamado 4-vizinhos de p , sendo denotado por $N_4(p)$. Cada pixel tem uma distância da coordenada (x, y) e muitos vizinhos de p estarão fora da imagem se a coordenada (x, y) ficar na borda da imagem.(GONZALEZ; WOODS, 2001)

Os 4 vizinhos diagonais de p tem as coordenadas:

$$(x + 1, y + 1), (x + 1, y - 1), (x - 1, y + 1), (x - 1, y - 1)$$

e são denotados por $N_D(p)$. Estes pontos juntos com os 4 vizinhos, são chamadas de 8 vizinhos de p , denotado por $N_8(p)$. Como antes, algum ponto de $N_D(p)$ e $N_8(p)$ pode ficar fora da imagem se a coordenada (x, y) estiver na borda da imagem, na Figura 2.2, um desenho ilustrando a vizinhança.(GONZALEZ; WOODS, 2001).

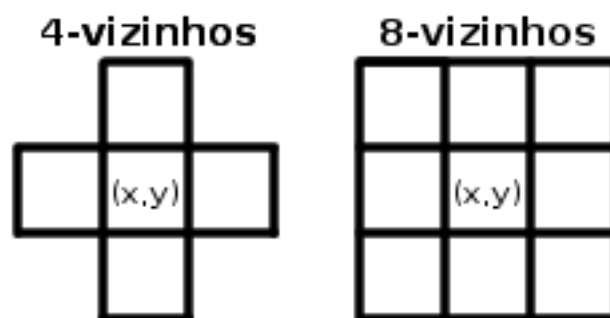


Figura 2.2: Vizinhança de um ponto

A conectividade entre pixels é fundamental no processamento de imagem simplificando numerosos conceitos de imagem digital, como regiões e bordas. Para definir se dois pixels estão conectados, deve-se determinar se eles são vizinhos e se os

níveis de cinza satisfazem o critério especificado pela similaridade (tenham os mesmos níveis de cinza).

2.2 ETAPAS DO PROCESSAMENTO DE IMAGEM

2.2.1 AQUISIÇÃO DA IMAGEM DIGITAL

Existem várias formas de capturar uma imagem real como por exemplo: Raio-X, MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) e PET (*Positron Emission Tomography*).

Nesta pesquisa utilizou-se uma máquina fotográfica digital, que captura as imagem através de um CCD (*charge-coupled device*), este chip é composto por diodos foto sensíveis ou fotocélulas. Quando acionado o botão para fotografar o obturador da máquina fotográfica se abre por um espaço de tempo muito curto, em torno de milissegundos. Cada fotocélula absorve a luz projetada sobre a superfície do sensor e armazena através de cargas elétricas, as quais são digitalizadas através de um conversor AD(analógico para digital) e armazenadas no chip de memória da máquina digital.

A imagem obtida é colorida então para melhorar o desempenho computacional e reduzir a complexidade do algoritmo deve-se convertê-la para tons de cinza . Este processo será mostrado na próxima seção.

2.2.2 MELHORAMENTO DA IMAGEM

Após a imagem digitalizada o próximo passo é transformar a imagem colorida em tons de cinza e filtrar a imagem.

Os valores dos pixels antes do tratamento são chamados de r e após o processamento são denotados por s . Os pixels são relacionados através da expressão $s = T(r)$, onde T é a transformação que mapeia um pixel no valor r para um pixel no valor s . Como esta trabalhando com dados digitais, a transformação T retorna uma matriz unidimensional obtida através de uma tabela de pesquisa conhecida como LUT(Lookup Table). Quando o ambiente for de 8 bits a tabela de transformação irá conter valores 0 a 255 bits, ou seja a imagem terá 256 tons de cinza. (GONZALEZ;

WOODS, 2001).

Uma imagem digital esta sujeita a ruídos e interferências a partir de várias fontes, incluindo o CCD, conversão de analógico para digital e outras. Estes ruídos podem ser reduzidos por filtros lineares, como mínimo,médio,máximo.

Em um imagem digital uma área que tenha mais brilho geralmente representa uma elevação na superfície, já uma área escura representa uma depressão, geralmente essa característica gera muito ruído, causando uma baixa acuidade no processamento de imagem, uma forma de reduzir este ruído é aplicar um filtro de classificação (*Rank filter*). Esse filtro pode ser aplicado em três diferentes situações mínimo, máximo e médio brilho, em uma vizinhança definida por um raio. Seu princípio de funcionamento se baseia em encontrar o pixel minimo, máximo ou médio, dependendo do caso e aplicá-lo em todo a vizinhança, desenhando um círculo. Como ilustração o filtro foi aplicado na Figura 2.3 tendo com resultado a Figura 2.4. (RUSS, 2007).



Figura 2.3: Imagem do asfalto



Figura 2.4: Filtro de classificação

Seguindo a implementação é necessário aplicar a transformada de Fourier na imagem melhorada, explicada na seção seguinte.

2.2.3 TRANSFORMADA DE FOURIER DISCRETA

A transformada de Fourier é uma família de técnicas matemáticas, todas baseadas em decompor sinais em senóides. Neste estudo é utilizada a transformada de Fourier discreta a qual utiliza dados digitalizados discretos de tamanho finito.

A transformada de Fourier foi descoberta pelo matemático Francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768 - 1830). Fourier estava interessado em propagação de calor e apresentou seu artigo em 1807 para o *Institut de France*, com o uso de senóides para representar a distribuição de calor, o qual só foi publicado em 1822 em seu livro, *La Théorie Analytique de la Chaleur*. Basicamente, a contribuição de Fourier nesta particular área afirma que qualquer função que periodicamente se repete pode ser expressa como a soma de senos e/ou cossenos de frequências diferentes, cada uma multiplicada por um coeficiente diferente. (SMITH, 2003).

Uma analogia útil é comparar a transformada de Fourier com um prisma de vidro. O prisma é um dispositivo físico que separa luz em diferentes componentes de cores, dependendo do comprimento de onda (ou frequência) de cada cor. Fourier pode ser encarada como um prisma matemático que separa uma função em vários componentes, também baseada na frequência. Ao considerar luz, fala-se sobre o seu conteúdo espectral ou frequência. Do mesmo modo, a transformada de Fourier caracteriza-se como uma função pelo seu conteúdo de frequência. (GONZALEZ; WOODS, 2001).

A transformada de Fourier recebe como entrada um sinal com n pontos e tem como saída dois sinais contendo $n/2 + 1$. O sinal de entrada contém o sinal a ser decomposto enquanto os sinais de saída contém as amplitudes das componentes senos e cossenos. No cálculo da DFT o sinal de entrada é conhecido como domínio do tempo porque em muitos casos o sinal é adquirido em intervalos regulares de tempo, mas também pode ser generalizado para qualquer sinal discreto. Já o termo domínio de frequência é usado para descrever as amplitudes dos sinais de seno e cosseno.

O domínio de frequência contém exatamente a mesma informação que o domínio de tempo, mas apresentada de forma diferente. Se um domínio é conhecido pode-se calcular o outro. Dado a entrada no domínio de tempo, o processo de cálculo para o domínio de frequência é chamado decomposição, análise e *forward* DFT, ou simplesmente DFT. Se o domínio de frequência é conhecido, o cálculo para obter o domínio de tempo é chamado síntese, ou DFT inversa.

O número de amostras do domínio de tempo é representado usualmente pela variável n . Enquanto n pode ser qualquer inteiro positivo, um número na potência de dois é usualmente escolhido, como 128, 256, 512, etc. A razão para ser uma

potência de dois é que os algoritmos mais eficientes para calcular a DFT usualmente operam com n , que é uma potência de dois. Para ilustrar tem-se como entrada um vetor, no domínio do tempo, contendo n elementos de entrada chamado de $x[]$. A saída será um vetor no domínio de freqüência chamado $X[]$, que consiste em duas partes, sendo cada um vetor contendo $n/2 + 1$ elementos. Estes sendo chamados de parte real de $X[]$, escrito por $ReX[]$, e a parte imaginária de $X[]$ conhecida como $ImX[]$. Os valores de $ReX[]$ são as amplitudes dos cossenos, enquanto que os valores de $ImX[]$ são as amplitudes dos senos. (SMITH, 2003).

Para fins computacionais é utilizada a transformada rápida de Fourier(FFT), que tem uma ordem de complexidade $O(n \log n)$ definida pela equação 2.1. Não foi necessário implementar um algoritmo para calcular transformada de Fourier de uma imagem pois o (IMAGEJ, 2007) já tem a implementação necessária.

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M+vy/n)} \quad (2.1)$$

Aplicando a transformada de Fourier em uma imagem, esta será transformada para o domínio de freqüência, podendo analisar padrões que ocorrem na imagem. Para poder analisar tem que entender como se caracteriza um pavimento asfáltico e como se divide os tipo de texturas mostrados no capítulo posterior.

2.3 TEXTURA DO PAVIMENTO ASFÁLTICO

O pavimento asfáltico pode apresentar vários tipos de superfície. As características de construção e polimento geram a rugosidade ou textura, a qual está intimamente ligada a aderência pneu-pavimento sendo um dos fatores que contribui para a segurança viária. A camada de rolamento com uma boa aderência, ou seja, com adequadas características superficiais (textura), podem reduzir a distância de frenagem, principalmente em pavimentos molhados, mantendo o veículo na trajetória desejado em todo o percurso.

Em condições de pista molhada forma-se uma lâmina de água, desenvolvendo-se pressões hidrodinâmicas na área de contato do pneu com o pavimento. Estas pressões são diretamente proporcionais a velocidade do veículo e dependendo da tex-

tura do pavimento asfáltico, podem atingir valores de tal modo a levantar os pneus sobre a lâmina de água. Se a resultante da pressão hidrodinâmica for maior que o peso do veículo, os pneus irão perder o contato com o pavimento, perdendo o controle direcional, este fenômeno é conhecido como hidroplanagem. (APS, 2006).

O pavimento asfáltico pode ser dividido em três tipos de texturas segundo (SPETCH et al., 2006) :

a) Micro textura: está relacionada à própria superfície do agregado mineral, a qual pode ser áspera ou polida, cujos comprimentos de onda variam entre 0 a 0,5mm e amplitude de 0 a 0,2mm. Esta propriedade depende das propriedades mineralógicas dos agregados e é de fundamental importância para romper o filme de água quando do contato pneu/pavimento.

b) Macro textura: são asperezas superficiais do pavimento causadas pelas protuberâncias causadas pelo agregado com comprimento de onda de 0,5 a 50mm e amplitude de 0,2 a 10mm. É relacionada ao atrito em altas velocidades; a capacidade do pavimento drenar a água superficial evitando o fenômeno da hidroplanagem; a formação de spray; a formação do espelho noturno; o aumento no consumo de combustível; o desgaste dos pneumáticos e a excessivos níveis de ruído. A distribuição granulométrica, as características dos agregados (forma, tamanho, etc.) a dosagem da mistura e o processo construtivo influenciam muito na macro textura final do pavimento.

c) Mega-textura: são irregularidades superficiais cujos comprimentos de onda variam entre 5 e 50cm e amplitude entre 1 a 50cm. São capazes de produzir vibrações e considerados defeitos no pavimento, afetam o atrito pneu/pavimento e de sobremaneira o conforto e o custo operacional dos veículos.

O enfoque principal desta pesquisa é a macrotextura não importando no momento a micro-textura ou a mega-textura.

2.4 MEDIÇÃO DA MACRO TEXTURA

A medição da macro textura é feita utilizando o método de ensaio conhecido como mancha de areia ou altura de areia. Este método é definido pela norma. (ASTM, 2008).

O ensaio tem como objetivo obter a altura da mancha de areia em superfícies de pavimentos tendo como resultado as características de macro textura do pavimento. O procedimento consiste em preencher os vazios da textura superficial do pavimento

com um volume conhecido de $25000\text{mm}^3 \pm 150\text{mm}^3$ de areia natural limpa e seca, uniforme, de grãos arredondados, que passa na peneira de abertura 0,3 mm e fica retida na peneira de abertura 0,15 mm, ou com micro esferas de vidro com as mesmas características granulométricas de areia. A superfície é limpa com auxílio de escova de mão macia e a areia é espalhada sobre a superfície seca por meio de um disco, com movimentos circulares e uniformes, preenchendo os vazios da superfície e obtendo uma área final aproximadamente circular. Mede-se o diâmetro do círculo da "mancha" obtida com a areia em quatro direções com aproximação visual de 5 mm; o diâmetro médio D_m , será o resultado da média obtida nas quatro medições (ASTM, 2008). A altura h_m é expressa conforme a equação 2.2.

$$[h]h_m = \frac{4V}{d_m^2 \cdot \pi} \quad (2.2)$$

onde:

h_m = altura média da areia

V = volume de areia

d_m = média das medidas da mancha na superfície do pavimento

Foi realizado o ensaio da mancha de areia e logo após a limpeza da superfície foi retirada uma fotografia do mesmo local, propiciando dados para o confronto futuro.

3 METODOLOGIA

3.1 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

O planejamento constitui-se das seguintes etapas:

- Compreensão sobre processamento de imagem digital e métodos de processamento que pudessem ser aplicados a uma fotografia do pavimento asfáltico para se medir a sua textura
- Aquisição de imagens: Nesta etapa foram retiradas fotos dos pavimentos asfálticos e realizado o ensaio da mancha de areia no mesmo local.
- Desenvolvimento de algoritmos. Os algoritmos foram desenvolvidos em Matlab 7.0, para experimentos e validações, nos moldes vistos em (SANTOS, 2008).
- Reimplementação dos algoritmos em software livre. Nesta etapa implementar os algoritmos utilizando a linguagem java, e o programa (IMAGEJ, 2007), IDE eclipse.
- Validação dos algoritmos. As fotografias dos pavimentos asfálticos estão relacionadas aos ensaios da mancha de areia, então foi estabelecida uma relação entre o ensaio da mancha de areia e a algoritmo de processamento de imagem.

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

As imagens utilizadas foram obtidas utilizando uma câmera digital Sony 6.0 megapixel, com as seguintes configurações:

- Resolução de 300 pixels/polegada;
- Foco em 1x;
- Tamanho da imagem 2816x2112 pixels.

A câmera foi acoplada a um tripé nivelado com um ângulo de inclinação superior a 90° distante 1 (um) metro da superfície do pavimento, como pode ser visto na Figura 3.1



Figura 3.1: Equipe fotografando o pavimento asfáltico.

Para realizar a fotografia o local foi limpo com uma escova macia, removendo a sujeira que se encontrava na superfície do pavimento. No mesmo local foi realizado a ensaio da mancha de areia obtendo dados suficientes para validar o método.

3.3 MÉTODOS UTILIZADOS

Para a medição da macrotextura do asfalto foram utilizadas imagens obtidas através de uma câmera digital, conforme descrito na seção anterior. As imagens recortadas em 512x512 pixels para diminuir o custo computacional de processamento.

Foram retiradas várias fotografias, mas algumas delas foram descartadas por terem sido retiradas com flash, o qual insere erro no processamento de imagem devido ao brilho excessivo sobre a superfície. Foram utilizadas no total 26 imagens juntamente com o resultado do ensaio da mancha de areia de cada fotografia.

A idéia inicial era fazer a reconstrução 3D da superfície do asfalto e calcular o volume. Pesquisando sobre o assunto encontrou-se um algoritmo que realizava a reconstrução 3D. O algoritmo utilizado é conhecido como SFS (*Shape From Shading*), este algoritmo reconstrói a forma 3D a partir de uma imagem 2D por sua variação gradual dos níveis de cinza em uma imagem 2D. Para resolver o problema o SFS baseia-se

na função de reflexão de Lambertian apresentado na equação 3.1. Um parâmetro importante a ser informado para a função é o ângulo de incidência da luz sobre a imagem e o ângulo de reflexão os quais podem ser calculados através do algoritmo (PENTLAND, 1982). O algoritmo foi implementado conforme proposto por (TSAI; SHAH, 1994) e aplicado nas imagens obtidas do pavimentos asfálticos tendo como resultado uma imagem 3D do pavimento, como exemplo de saída do algoritmo é apresentada a figura 3.2.

$$Z^n(x, y) = Z^{n-1}(x, y) + \frac{-f(Z^{n-1}(x, y))}{\frac{d}{dZ(x,y)}f(Z^{n-1}(x, y))} \quad (3.1)$$

onde:

$$\frac{df(Z^{n-1}(x, y))}{dZ(x, y)} = -1 * \left(\frac{(p_s + q_s)}{\sqrt{p^2 + q^2 + 1} \sqrt{p_s^2 + q_s^2 + 1}} - \frac{(p + q)(pp_s + qq_s + 1)}{\sqrt{(p^2 + q^2 + 1)^3} \sqrt{p_s^2 + q_s^2 + 1}} \right) \quad (3.2)$$

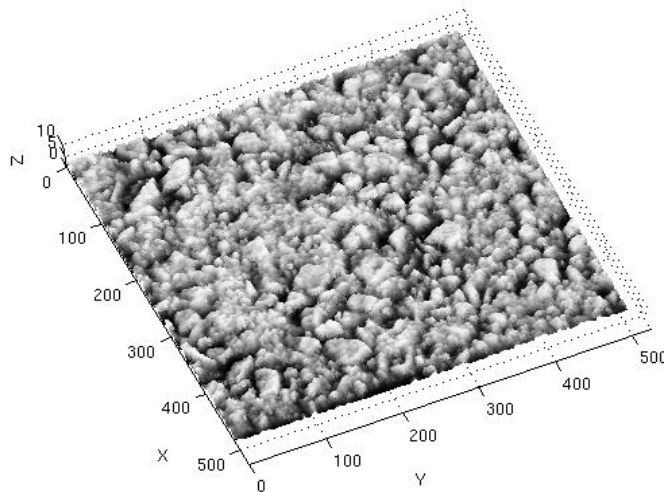


Figura 3.2: Asfalto 3D

Após a reconstrução foram realizados cálculos dos volumes na imagem 3D e foi difícil de relacionar a altura real em milímetros com a altura em pixels encontrada na imagem, não sendo possível determinar a macrotextura. Mas a reconstrução 3D de pavimentos asfálticos pode ser interessante para modelar buracos, rachaduras, desníveis, fugindo um pouco do enfoque desta pesquisa.

Como na primeira tentativa o resultado não foi satisfatório, partiu-se para outro método, utilizando a transformada de Fourier. A imagem da transformada de Fourier possui muita informação e esta foi dividida em bandas de frequência, conforme mostrado na figura 3.3. O processo utilizados se resume em calcular o somatório de

cada banda e subtrair do somatório da banda posterior, começando pelo centro em direção a borda da imagem.

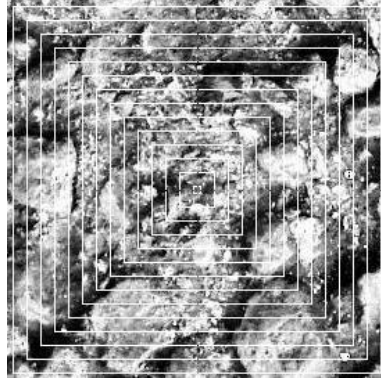


Figura 3.3: Asfalto dividido em bandas

Em termos de custo computacional este algoritmo possui um bom desempenho, para calcular a FFT da imagem e plotar o resultado levou 1.847 segundos e processou 141929 pixels/segundo.

Após o cálculo do somatório de todas as bandas, plota-se o resultado em um gráfico com o somatório de cada banda. Na próximo capítulo será analisado os resultados obtidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar o resultado do algoritmo foram realizadas 26 fotografias juntamente com o ensaio da mancha de areia no mesmo local tendo como resultado que pode ser encontrado no anexo A.1.

O primeira versão do algoritmo proposto nesta pesquisa foi utilizado em (SANTOS, 2008), obtendo uma correlação com o teste da mancha de areia de $R^2 = 0.79$. Este é resultado satisfatório mas pode ser melhorado.

Nesta pesquisa o algoritmo foi reimplementado na linguagem java utilizando o programa (IMAGEJ, 2007) o qual fornece um ótimo subsídio para processamento de imagens.

Inicialmente o resultado de correlação foi o mesmo. Com o intuito de melhorar a correlação foi realizada uma pesquisa tentando obter a provável causa para a correlação estar baixa. A resposta a este problema foi encontrada em (SMITH, 2003), onde verificou-se que o problema da baixa correlação ocorre devido a ruídos contidos nas imagens. Para resolver este problema foi aplicado um filtro médio com um raio de 0.5 pixel, após aplica-se o filtro mínimo de 8 pixels raio e por último o filtro máximo de 24 pixels de raio. Com a aplicação destes filtros consegui um coeficiente de correlação de $R^2 = 0.906$, com o ensaio da mancha de areia, mostrado na Figura 4.1, sendo encontrado na banda de freqüência número 65 a qual pode ser vista na Figura 4.2.

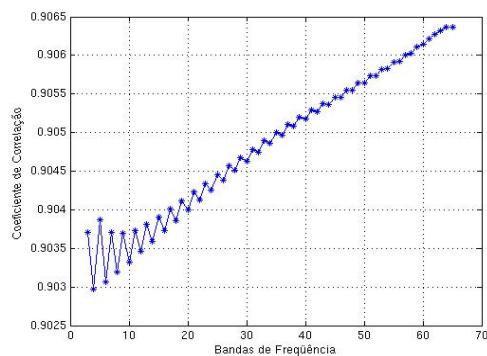


Figura 4.1: Coeficiente de determinação

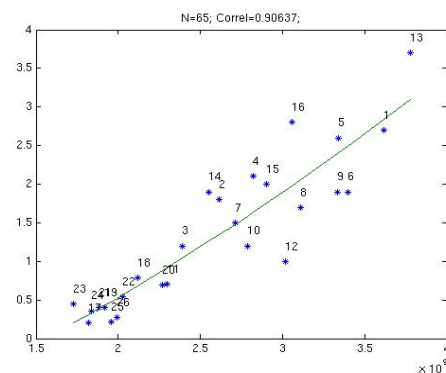


Figura 4.2: Correlação

Para calcular o coeficiente de correlação foi desenvolvido um algoritmo em

java que abre as 26 imagens e calcula cada uma gerando um arquivo *M-file* contendo o resultado do cálculo das 26 imagens, que será interpretado pelo Matlab para gerar os gráficos.

O algoritmo para medição da macrotextura foi desenvolvido como um *plugin* do (IMAGEJ, 2007), facilitando o seu uso, já que o (IMAGEJ, 2007) possui muitos recursos para processamento de imagem sendo possível até selecionar a área de interesse da figura e calcular a macrotextura. Na Figura 4.3 é mostrada a interface do (IMAGEJ, 2007).

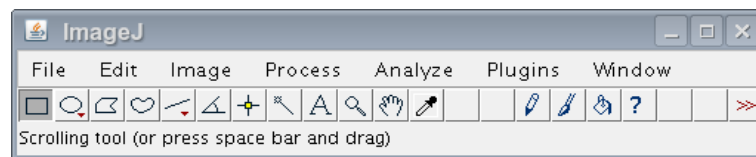


Figura 4.3: Interface ImageJ

O programa (IMAGEJ, 2007) possui uma interface simples e amigável sendo bem intuitiva, o plugin desenvolvido fica no menu Plugins como mostrado na figura 4.4.



Figura 4.4: Plugin para análise do pavimento

Quando clicado sobre o plugin *AnalysisAsphalt*, é mostrado ao usuário uma caixa de diálogo contendo as seguintes opções: *Display FFT image*, *Display Gray Image*, *Display Plot*, ilustrado na Figura 4.5. Estas opções servem para o usuário escolher as etapas do processamento da imagem do asfalto que mais lhe interessam.

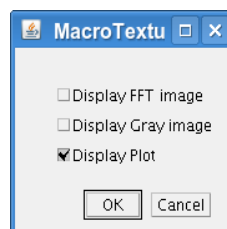


Figura 4.5: Opções do plugin

Por padrão a opção *Display Plot* é sempre marcada. Se o usuário selecionar

todas as opções o programa retorna os resultados ilustrados a partir da figura 4.6 até figura 4.9



Figura 4.6: Imagem do pavimento asfáltico

Figura 4.7: Imagem tons de cinza

A Figura 4.7 apresenta somente uns círculos com tonalidades e tamanhos diferentes, isso é causado pela aplicação dos filtros médios com um raio de 0.5 pixel, mínimo com um raio de 8 pixels e máximo com um raio de 24 pixels. Estes filtros tem um papel fundamental neste processamento de imagem, remover os ruídos baixos, médios e altos encontrados na imagem estes ruídos causam uma baixa correlação com o método da mancha de areia.

A Figura 4.8 mostra a transformada de Fourier calculada sobre a Figura 4.7. A Figura 4.8 é dividida em 65 bandas de freqüência. Esse método é utilizado com o intuito de reduzir a amostragem da imagem. Se utilizá-se a imagem inteira teria muita informação, sendo difícil de processar e posteriormente analisar a imagem.

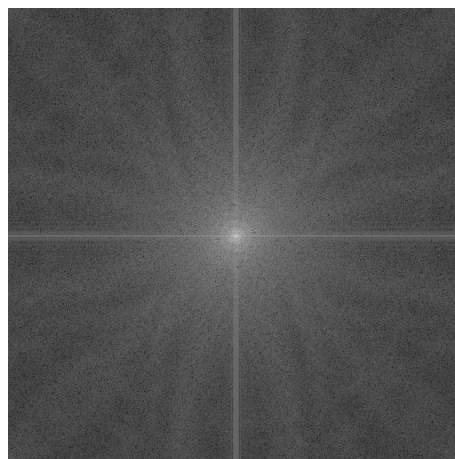


Figura 4.8: Imagem da transformada de Fourier

Após dividir a Figura 4.8 em bandas é calculado o somatório de cada banda é plotado um gráfico que pode ser visto na figura 4.9.

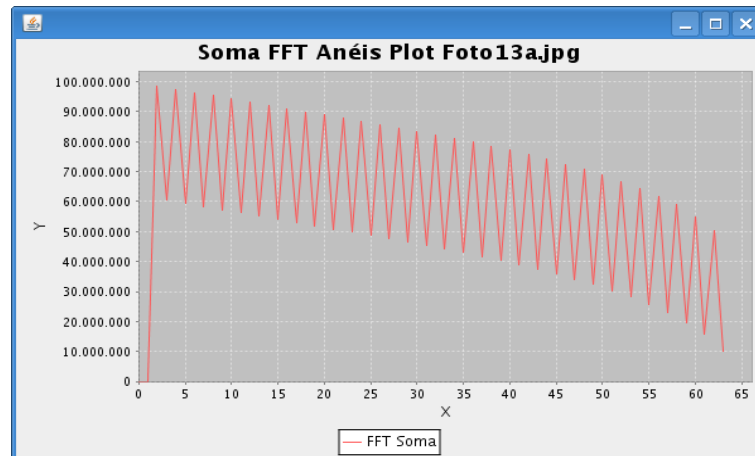


Figura 4.9: Gráfico com as somas das bandas de frequência

O tempo de execução deste algoritmo com todas as opções é aproximadamente 4.975s sendo processado 52692 pixels/segundo. Executando-se novamente o algoritmo somente com a opção de mostrar o gráfico o tempo de execução é de 4.265 segundos, sendo processados 61464 pixel/segundo. Este tempo é calculado pelo (IMAGEJ, 2007) , podendo mostrar também uso de memória e processador para realizar estes cálculos.

O programa (IMAGEJ, 2007) pode ter sua performance melhorada com o uso de opções da máquina virtual java uma das principais é a quantidade de memória *heap* que pode ser utilizada, por padrão a quantidade é ajustada em 64M, com o opção *-Xmx 1000m* a máquina virtual irá utilizar 1GB de memória ram. Informa-se também o tamanho do *heap* inicial em 32M com a opção *-Xms32m*, o uso explicito do coletor de lixo *gc* (*Garbage Collection*), também causa perda de desempenho e pode ser desabilitado com a opção *-XX:+DisableExplicitGC* juntamente com a opção *-Xincgc* para habilitar o uso incremental do coletor de lixo, a linha de comando para executar o (IMAGEJ, 2007) é mostrada no listagem 4.1.

```
#!/ bin \ bash
java -Xms64m -Xmx1000m -Xincgc -XX:+DisableExplicitGC -classpath \$(find lib
/ -name "*.jar" -printf "%h/%f:") ij.ImageJ
```

Listagem 4.1: Comando para executar (IMAGEJ, 2007)

Com as opções o algoritmo levou 3.644s processando 71938 pixel/segundo.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÃO

Hoje as riquezas brasileiras são transportadas por caminhões, por conseqüência necessitam de um sistema de transporte rodoviário adequado, para ter menos custo, mais agilidade e mais segurança. Sendo a segurança um dos itens importantes no nosso país, pois a cada ano mais pessoas têm suas vidas ceifadas por acidentes de trânsito.

A medição da macrotextura dos pavimentos asfálticos, é uma forma de verificar as condições de segurança do pavimento asfáltico. Neste contexto, esta pesquisa demonstra que é possível realizar esta medição utilizando simplesmente uma máquina fotográfica digital e futuramente um computador para processar as fotografias, reduzindo desta forma os custos, tornando a medição de macrotextura mais ágil.

O método proposto nesta pesquisa pode reduzir os custos de manutenção nas rodovias brasileiras, devido ao seu baixo custo de execução.

Para obter-se o algoritmo proposto foram testados vários métodos como por exemplo operador de Hurst, reconstrução 3D, mas com a transformada de Fourier que foi obtido os melhores resultados em correlação com o método da mancha de areia e também em termos de tempo de processamento. Acredito que este método pode ser utilizado em substituição do método da mancha de areia.

Finalmente, a contribuição desta pesquisa prova que o processamento de imagem pode ser empregado em várias áreas do conhecimento, sendo uma ciência que pode ser utilizada para medições e análises não invaziva, mantendo uma boa correlação com os métodos invazivos existentes hoje.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Um sistema de câmeras acoplado a uma aeronave para medir a rugosidade das pista de pouso em dias chuvosos, por exemplo, uma aeronave faz um sobre vôo sobre a pista de pouso e as câmeras capturam imagens da pista, logo após o algoritmo calcula a condições da pista e informa sobre a viabilidade de pousar ou não.

Acoplar um microfone em um veículo, para gravar o ruído sonoro emitido pelo pneu do veículo rodando a 40Km/h em um trecho de asfalto, após a gravação fazer uma análise do som, removendo os ruídos comuns e aplicando a transformada de fourier da mesma forma que foi aplicado com as imagens.

Aumentar o banco de dados de imagens para calibrar o procedimento.

Aprimorar o método de reconstrução 3D, possibilitando a descoberta de fissuras, rachaduras, desníveis e buracos.

Utilizar inteligência artificial para informar a classificação do pavimento.

REFERÊNCIAS

AMIN, E. G.; SHALABY, A. Image requirements for 3d measurements of pavement macrotexture. *Transportation Research Board 87th Annual Meeting*, v. 08-2507, 2008. Disponível em: <<http://pubsindex.trb.org/paperorderform.pdf>>. Acesso em: 20 de abr. 2008.

ANFAVEA. *Licenciamento 2008*. 2008. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas/autoveiculos/Licenciamento.pdf>>. Acesso em: 01 de mai. 2008.

APS, M. *Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI - International Friction Index para revestimentos asfálticos*. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transporte2, 2006.

ASTM. *Standard test method for measuring pavement macrotexture depth using a volumetric technique*. [S.l.], 2008.

BAILER, W. *Writing ImageJ Plugins. A Tutorial*. 2006. Disponível em: <<http://www.imagingbook.com/fileadmin/goodies/ijtutorial/tutorial171.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2008.

DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J. *Java Como Programar, 6. ed.* [S.l.]: Prentice-Hall, 2005.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. *Digital Image Processing, Second Edition*. [S.l.]: Addison-Wesley, 2001.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E.; EDDINS, S. L. *Digital Image Processing Using MATLAB*. [S.l.]: Prentice Hall, 2003.

IMAGEJ. *ImageJ*. jul. 2007. ImageJ é um programa de processamento de imagem escrito em Java inspirado no programa NIH Image para Macintosh, tendo sua licença em GPL. Disponível em: <<http://rsb.info.nih.gov/ij/>>.

IPEA; DENATRAN; ANTP. *Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras Relatório Executivo*. 2006. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos_acidentes_transito.pdf>.

Acesso em: 01 de mai. 2008.

PENTLAND, A. P. Finding the illuminant direction. *Journal of the Optical Society of America*, v. 72, n. 4, p. 448–455, abr. 1982.

RUSS, J. C. *The Image Processing Handbook, Fifth Edition*. [S.l.]: CRC Press, 2007.

SANTOS, R. T. dos. *Análise da macrotextura de pavimentos através de processamento de imagens, usando transformada de Fourier*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2008.

SMITH, S. W. *Digital Signal Processing, First Edition*. [S.l.]: Newnes, 2003.

SPETCH, L. P. et al. Avaliação da macrotextura de pavimentos através do ensaio de mancha de areia. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n.8, p.53-62, Abril., 2006.

TRANSPORTE, C. N. de. *Pesquisa Nacional de Transporte 2007*. 2007. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/informacoes/pesquisas/rodoviaria/2007/>>. Acesso em: 01 de mai. 2008.

TSAI, P. S.; SHAH, M. Shape from shading using linear-approximation. *Image and Vision Computing*, v. 12, n. 8, p. 487–498, out. 1994. Disponível em: <<http://www.cs.ucf.edu/vision/papers/CshapeFromShadingUsingLinearApprox.pdf>>. Acesso em: 20 de abr. 2007.

ZHANG, R. et al. Shape from shading: A survey. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell*, v. 21, n. 8, p. 690–706, 1999. Disponível em: <<http://www.cs.ucf.edu/vision/papers/shah/99/ZTCS99.pdf>>. Acesso em: 20 de abr. 2007.

A ANEXO A1

RESULTADOS DO ENSAIO DA MANCHA DE AREIA

O ensaio foi realizado com o apoio de técnicos e alunos de iniciação científica do laboratório de engenharia civil da UNIJUÍ.

Ensaio	Altura da mancha de areia (mm)	Classificação
1	2,67	Muito Grossa
2	1,84	Muito Grossa
3	1,24	Muito Grossa
4	2,06	Muito Grossa
5	2,55	Muito Grossa
6	1,90	Muito Grossa
7	1,48	Muito Grossa
8	1,66	Muito Grossa
9	1,90	Muito Grossa
10	1,16	Muito Grossa
11	0,73	Média
12	1,01	Grossa
13	3,73	Muito Grossa
14	1,90	Muito Grossa
15	2,05	Muito Grossa
16	2,76	Muito Grossa
17	0,19	Muito Fina
18	0,79	Média
19	0,40	Média
20	0,69	Média
21	0,40	Média
22	0,54	Média
23	0,45	Média
24	0,36	Fina
25	0,21	Muito Fina
26	0,27	Fina

Tabela A.1: Resultados do ensaio da mancha de areia