

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**CURVAS PSD DE ESTRADAS BRASILEIRAS: MÉTODO DE GERAÇÃO E COMPARAÇÃO
COM PADRÕES ISO E DNIT**

por

Luiz Alberto Munari

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Junho de 2011



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

**CURVAS PSD DE ESTRADAS BRASILEIRAS: MÉTODO DE GERAÇÃO E COMPARAÇÃO
COM PADRÕES ISO E DNIT**

por

Luiz Alberto Munari

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Dr. Rogério José Marczak

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Prof. Dr. Jackon Manfredini Vassoler

Prof. Dra. Letícia F.F. Miguel

Porto Alegre, 27 de Junho de 2011.

- DEDICATÓRIA ;

Na esperança de realizar, buscar, dar continuidade em consolidar o crescimento do “ser” humano. Na procura do conhecimento como sua própria forma inerente de sua evolução; no silêncio, como forma de aprender com as palavras dos mestres e colegas, nos conselhos de pais e avós, que nem sempre são ouvidos. Dedico aos meus pais, Rivaldino, *In memoriam* e minha mãe, Maria da Glória, que sempre me apoiaram na sua forma mais simples e humana de sacrificar-se e de incentivar os filhos, no caminho certo do crescimento e realização de seus sonhos.

- AGRADECIMENTOS;

Aos meus pais que trabalharam e educaram seus cinco filhos sem medir esforços.
A minha sogra Odete e em especial ao meu sogro Antônio, que sempre me incentivou, acreditou e apoiou-me.
À família que sempre me incentivou e me acolheu nos momentos difíceis.
À esposa Mariângela e minha filha Isadora, esta, atualmente colega de universidade, que me apoiaram ao retorno escolar.
Aos colegas da mecânica que dividiram horas boas e ruins, sem distinção de idade.
Ao meu orientador, Professor Doutor Rogério Marczak, “rato”, que me auxiliou no desenvolvimento deste TCC.
E ao lado “luz” de cada ser humano, que no convívio diário, mostra a sua coragem e o discernimento do caminho correto para encarar de forma ativa a nossa existência.

MUNARI, L. A. **CURVAS PSD DE ESTRADAS BRASILEIRAS: MÉTODO DE GERAÇÃO E COMPARAÇÃO COM PADRÕES ISO E DNIT 2011/1** Ano. 27 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RESUMO

Hoje no país não existe uma normalização para interpretação e geração de funções densidade de potência (*PSD*) para pavimentos rodoviários. Existem normas do DNIT que estabelecem subjetivamente valores das condições das estradas no que diz respeito ao critério de avaliação dos pavimentos, como especificados na norma DNIT-005/2003-TER. Esta norma define os defeitos, mas deixa a desejar quanto às medidas físicas do defeito (não define quantitativamente buracos, panelas, desgaste, etc.). As curvas *PSD* são largamente empregadas para representação quantitativa de estradas, já que constitui uma medida da rugosidade do pavimento, medidos diretamente de perfilômetros. Este trabalho apresenta uma metodologia para geração das curvas *PSD* utilizando um algoritmo simplificado de contagem de ciclos. Também se desenvolveu uma série de parâmetros para caracterização numérica dos defeitos descritos na norma DNIT-005/2003-TER, permitindo assim sua identificação diretamente a partir de leituras experimentais. As curvas *PSD* foram obtidas para três tipos de pavimento, superpostas aos padrões ISO e comparadas através de seus Índices de Gravidade Global - IGG. A metodologia se mostrou versátil e genérica, podendo se empregada para automatizar a caracterização de vias. Também fica patente, a partir dos resultados obtidos, que os pavimentos rodoviários brasileiros de melhor qualidade não equivalem aos correspondentes ISO.

PALAVRAS-CHAVE: Curvas *PSD*, estradas brasileiras, simulação de tráfego, DNIT, ISO.

MUNARI, L. A. **PSD CURVES FOR BRAZILIAN ROADS: GENERATION METHOD AND COMPARISON WITH ISO AND DNIT METHODS** 2011/1 Ano. 27 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ABSTRACT

Currently there is no standardization regarding generation and interpretation of power spectrum density functions of Brazilian roads. There are DNIT standards which establish subjective procedures for evaluation of the conditions of a given Road sample, as stated in DNIT-005/2003-TER. These normalizations define the road defects, but do not give quantitative parameters to actually measure them. PSD curves are largely used to quantitatively represent roads, since it measures the roughness of the pavements as directly read from profilometers. The present work presents a methodology to generate the PSD curves using a simplified cycle counting algorithm. In addition, several roads defects defined in DNIT-005/2003-TER standard were formalized through equations, allowing their identification in actual experimental road samples. PSDs were obtained for three types of roads, superposed to ISO Standards, and compared by their IGG indexes. The methodology showed to be efficient and generic enough to be used to mechanize road surfaces characterization tasks. As a final note, the results showed that the best Brazilian roads are not able to reproduce their ISO counterparts.

PALAVRAS-CHAVE: PSD curves, Brazilian roads, traffic simulation, DNIT, ISO.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	1
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
3.1 DENSIDADE ESPECTRAL DE ENERGIA (PSD)	2
4. METODOLOGIA.....	2
4.1. DEFINIÇÕES DIMENSIONAIS PARA A NORMA DNIT	3
4.2. DEFINIÇÃO DO GRÁFICO PSD.	4
4.3. COMPREENSÃO DA LÓGICA DE FORMULAÇÃO DO GRÁFICO	6
4.4. OS GRÁFICOS PSD	6
4.5 COMPARAÇÃO DNIT x ISO.....	9
5 . CONCLUSÃO	14
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
Anexo I	16
Anexo II	17
Apêndice I.....	18
Apendice II.....	20

1. INTRODUÇÃO

Uma maneira de compreender um fenômeno físico e dele obter conhecimento é observá-lo e determinar suas características durante a ocorrência, assim formular uma metodologia. Desta forma este TCC propõe formalizar uma relação metodológica entre as séries de normas DNIT e a norma ISO 8608. A norma DNIT é de observação de defeitos para posterior conserto de rodovias brasileiras e a norma ISO 8608 que trata da rugosidade e imperfeição da superfície da rodovia. Para que esse procedimento de comparação fosse possível, determinou-se dimensões para os defeitos constantes da séries de norma DNIT, relacionando os defeitos com o pneu, que é o objeto de contato com a superfície. Desta forma, com as dimensões caracterizadas nos defeitos e nos gráficos de amplitude, se correlacionam as duas normas, conforme demonstrado neste TCC.

2. OBJETIVO

O objetivo deste TCC será elaborar varias curvas *Power Spectral Density* (PSD) para diferentes tipos de estradas de rolagem. Infere-se a várias, uma qualidade prática de qualificar, conceituar com valores, o nível ou tipo de estradas, deste paralelepípedo regular, passando por irregulares, asfalto de boa qualidade, asfalto com buracos e pequenas lombadas a estradas vicinais de areias com costeletas. Tem se por objetivo formular uma expressão matemática que comporte com determinados valores obtidos no eixo das abscissas (x), a distância percorrida longitudinalmente, e no eixo das ordenadas (y), as depressões ou lombadas medidas em relação ao vão encontrado em uma régua de madeira colocada nos picos mais altos deste caminho, sendo o vão a diferença encontrada de profundidade em relação ao provável nível correto da via. Utiliza-se também uma série de medições realizadas pela empresa Randon, através de um mecanismo chamado perfilômetro, que mede a cada distância regular os pontos de elevação em referencia a uma media tomada como zero, este ponto é de uma superfície plana escolhida pelo operador da máquina. Estes pontos obtidos representaram características de relevo das pavimentações, rugosidades, desta maneira, com a obtenção de uma equação, poderá tabular-se e executar gráficos, que posteriormente compilados, serão usados para análise de elementos finitos nas estruturas de chassis de caminhões, ônibus e automóveis.

Apresentar-se-á neste desenvolvimento a comparação das normas DNIT relacionadas na bibliografia, como também artigos e propriamente a norma ISO 8608 de rugosidade de pavimentos de rodovias.

O objetivo de escolher esse tema para o TCC é a ausência de uma experiência focalizada, pontual nesta área de sólidos, é também pessoal profissional, pois raríssimas vezes tive oportunidade de executar um trabalho especificamente em introdução e para posterior utilização em elementos finitos, pois profissionalmente desenvolvo trabalhos em projetos e construção de máquinas operatrizes e como objetivo final deste curso de engenharia mecânica, é desenvolver um trabalho em uma área ainda não explorada durante meus anos de trabalho, ou seja, um desafio.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - UMA COMPARAÇÃO

A essência do problema de estimar o espectro é capturada da seguinte formulação: *De uma finita amostragem de valores de uma dada seqüência estacionária de dados, obter e estimar como a potência total é distribuída sobre esta freqüência de acontecimentos da envoltória de amplitudes dos espectros desta onda no domínio da freqüência.* Tradução livre de [Stoica e Moses, 1997].

A análise espectral tem inúmeras aplicações, começando pela física relacionada ao sinal de ondas, monitoramento de vibrações, passando por medicina, meteorologia, astronomia e muitos campos de conhecimentos interrelacionados. [Stoica e Moses, 1997].

3.1. DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA (PSD)

Comumente conhecido, denota-se que $\{y(t); t = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots\}$ como determinístico a seqüência de dados discreto em função do tempo. Ou seja, $\{y(t)\}$ é obtido de um sinal contínuo no tempo. Assim, $\{y(t)\}$ tem finita energia, o qual significa que:

$$\sum_{t=-\infty}^{\infty} |y(t)|^2 < \infty \quad (3.1.1)$$

Esta formulação será o caso estudado [Stoica e Moses, 1997]. A seqüência de $\{y(t)\}$ possui uma transformada discreta em relação ao tempo conhecido como transformada de Fourier (DTFT) definida pela equação 3.1.2

$$Y(\omega) = \sum_{t=-\infty}^{\infty} y(t) e^{-i\omega t} \quad (3.1.2)$$

E define-se como PSD para um sinal determinístico como:

$$S(\omega) = |Y(\omega)|^2 \quad (3.1.3)$$

E desta forma usando a correlação matemática, para o este caso, a obtenção de uma equação matemática de curva PSD para estradas brasileiras, utilizou-se do seguinte processo descrito no item 4.2. Também a equação 3.1.1 juntamente com a definição do delta de Kronecker poderá reescrever como:

$$\sum_{t=-\infty}^{\infty} |y(t)|^2 = 1/2\pi \int_{-\pi}^{\pi} S(\omega) d\omega \quad (3.1.4)$$

Essa igualdade é chamada Teorema de Parseval. Isto mostra que $S(\omega)$ representa a distribuição da seqüência de energia como uma função de freqüência. Por essa razão, $S(\omega)$ é chamada de Densidade Espectral de Energia . [Energy Spectral Density, Stoica 1997]. Desta forma podemos concluir que uma PSD retém apenas a informação da magnitude, desprezando toda e qualquer informação relativa à fase do sinal, quando a amplitude é elevada a potência dois (2). Desta forma com a obtenção da função $f(t)$ no domínio de "t" e conseqüente obtenção de C_n no domínio de " w_n " temos o Par-Fourier. Observa-se que usamos a linguagem matemática de Fourier e Parseval mas ressalta-se que neste TCC é usado essa retórica como figura de linguagem matemática, pois nossa freqüência é espacial e nossa amplitude ou "spectrum" será m^3/ciclos ou $m^2/(\text{ciclos}/m)$.

4. METODOLOGIA E RESULTADOS

Para que haja a comparação entre as duas normas DNIT e ISO 8608, primeiro se estabelecem-se dimensões em relação a um pneu para usar como parâmetros nas séries de Normas DNIT, (*relações estas formuladas para este TCC, Apêndice I,*). Assim desta forma caracterizam os defeitos. Parte-se de um veículo de uso comum que possua um rodado de aro 13 polegadas com pneus 165/70 com 28 $\frac{\text{lbs}}{\text{in}^2}$ de pressão interna, pressupondo que este veículo tenha uma carga com quatro ocupantes totalizando uma massa de 1300 kg, calcula-se linearmente a deformação do pneu, encontrando 100 mm de deformação plana na base do pneu com ângulo de 20,5° em relação ao centro conforme é mostrado na Figura 4.1.B. Estabelece desta forma, que o pneu vencerá um intervalo de deflexão (buraco ou depressão) com uma distância menor que 100 mm sem apresentar grandes perturbações. Infere-se também que para um ângulo até 22° com $y = 5,2\text{mm}$ o pneu vencerá sem problemas o obstáculo, e que o semi-ângulo de até 15° com $x = 53,6\text{mm}$ e $y \leq -2,60\text{mm}$ será uma trinca. Na mesma lógica, ângulos entre 30° e 60° com $x \text{ máx} = 280,6\text{mm}$ será considerado um buraco tendo $y < -9,6\text{mm}$ e que com $y > -35,6\text{mm}$ será considerado um obstáculo como desnível ou remendo, dependendo da próxima tomada de dados de X e Y, conforme demonstrado na Tabela do Apêndice I. Adota-se esta determinação de ângulos em relação ao pneu, pois estas medidas são resultantes da relação de ângulo e raio do pneu e que foi comparado com as dimensões usuais de tachos, tachinhos e tachões, objetos estes que são usados no sistema de sinalização e obstrução em vias pavimentadas, pois conforme sua dimensão afeta a

dirigibilidade do veículo quando há a passagem por sobre o obstáculo. Outro dado que corroborou para essa lógica de divisão do pneu foi um artigo acessado em uma revista de publicação de pesquisa e desenvolvimento [Sensors 2007] que analisando os dados de sua amostra do artigo, nota-se que o passo de medição utilizado é de 96 mm (3,75"). Mas esse valor deveria ser reduzido para minimizar os erros imputados, pois 96 mm se aproximam da deformação de um pneu com carga máxima, o que na maioria das vezes não se tem um carro completamente utilizado na sua carga máxima de transporte. Outro fator importante para esta caracterização é expressa pela profundidade maior que 30 mm [Casamenti 2008] especificando com alto grau de severidade essa profundidade expressa pelas séries de normas Italianas, onde se constata que a norma DNIT é superficialmente baseada nela. Tem-se constatado ainda que outras definições e valores corroborem para a formulação baseado na dimensão do pneu aro 13 polegadas.

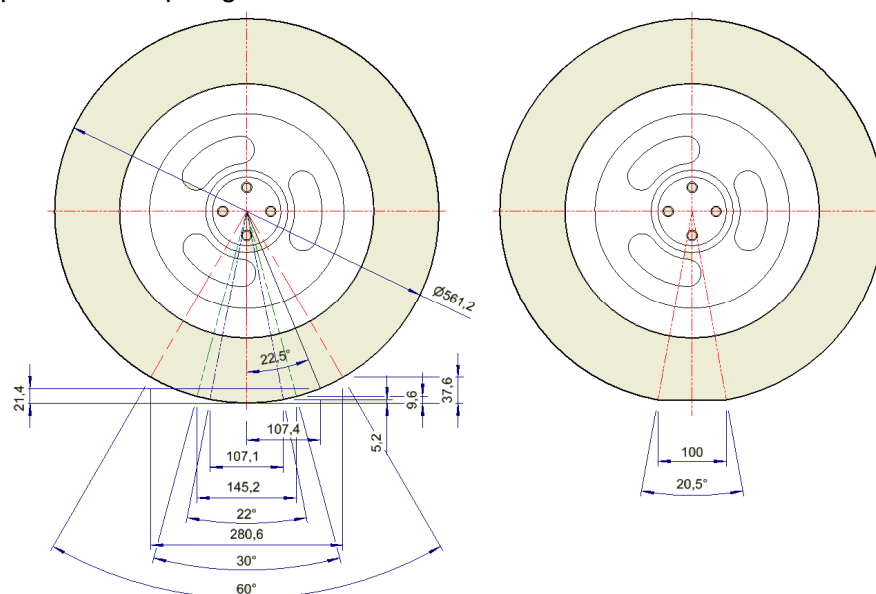


Figura 4.1 – desenho pneu aro 13" com pneu 165/70R
(A - sem deformação, B – com deformação)

4.1. DEFINIÇÕES DIMENSIONAIS PARA A NORMA DNIT

Algumas definições em relação à norma DNIT foram suprimidas, pois se considera aqui as imperfeições ou defeitos transversais ao plano ou linha de deslocamento dos veículos. Assim sendo, tem-se: X = valor para distância percorrida, Y = valor para amplitude tomada no ponto X , R = raio do pneu de aro 13"-167/70. O pontos de referência é sempre o zero, ou seja, a superfície plana.

Tabela 4.1.1 (parcial) – definição dimensional norma DNIT (ver Apêndice I - tabela completa)

EIXO X	EIXO Y		
Trinca Interligada (JE)		FP=0,8	
$1 < X_{(n+1)} - X_{(n)} \leq R \cdot \sin 11^\circ$ Se $> (R \cdot \sin 11^\circ) \rightarrow B$ ou P	$Y_{(n+1)} - Y_{(n)} < 0$	Passos para considerar trincas interligadas.	(4.1.1)
$0 < X_{(n+2)} - X_{(n+1)} \leq 6R \cdot \sin 11^\circ$ Se $> 6R \cdot \sin 11^\circ \rightarrow$ teste seg.	$0 < Y_{(n+2)} - Y_{(n+1)} \leq (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R)$ Se $> (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) \rightarrow$ ondulação, Escorregamento, etc	Teste continua até um dos critérios ser negativo.	(4.1.2)
$1 < X_{(n+3)} - X_{(n+2)} \leq R \cdot \sin 11^\circ$ Se $> (R \cdot \sin 11^\circ) \rightarrow B$ ou P	$Y_{(n+2)} - Y_{(n+1)} < 0$	Neste caso na rotina, passará para outro testes.	(4.1.3)
$0 < X_{(n+4)} - X_{(n+1)} \leq 6R \cdot \sin 11^\circ$ Se $> 6R \cdot \sin 11^\circ$ e .. Se $> 6R \cdot \sin 11^\circ$ e ..	$0 < Y_{(n+3)} - Y_{(n+2)} \leq (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R)$.. $< -(R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) \rightarrow B$ ou P .. $\neq \rightarrow$ outro teste.	Contagem da distancia é igual a $X_{(n+m)} - Y_{(n)}$. $(n+m) - (n) = intervalos$	(4.1.4)

Com a observação subjetiva da Norma DNIT-005/2003-TER e com tipificação de defeito dimensional sugerida conforme a Tabela 4.1.1 (parcial) para comparação e na medição do pavimento com o instrumento triangular do anexo A da Norma DNIT-006/2003-PRO, pode-se inferir dados na Planilha de Cálculo do IGG do Anexo C da norma DNIT-006/2003-PRO, onde se obtém o índice IGG (Índice de Gravidade Global) que se conceitua a degradação do pavimento. Estes cálculos estão mostrados nas Tabelas 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3. As definições dos defeitos de degradação estão descritos na Norma DNIT-005/2003-TER e DNIT-006/2003-PRO.

As figuras e fotos constantes da Norma DNIT-006/2003-PRO e mostradas nos Apêndices I e II explicitam o modelo físico de comparação para avaliação da degradação do pavimento. O pavimento de paralelepípedo aqui denominado estrada COHAB foi tipificado de trinca interligada como forma de caracterização.

4.2. DEFINIÇÃO DO GRÁFICO PSD.

Com um auxílio de um sistema de medição denominado "perfilômetro" com módulo laser de medição do perfil e textura, de propriedade da empresa RANDON, foi obtido os pontos de elevação de um caminho percorrido por esse mecanismo acoplado a um veículo, conforme mostrado pela Figura 4.2.1. Os pontos obtidos foram dois caminhos no eixo das abscissas "X" que permitiram a obtenção de duas tomadas de pontos no eixo das ordenadas "Y" totalizando 80.000 pontos de elevação com passo de 100 mm entre uma tomada e outra, na distância de 4.000 m ou seja 4.000.000 mm de percurso em "X", conforme Tabela 4.3.1 (dados parciais)



Figura 4.2.1 Perfilômetro acoplado ao veículo em detalhe o Laser de medição de y (mm)

A figura 4.2.1 mostra uma representação do sistema laser de medição. Com os dados fornecidos pelo perfilômetro e exportado do "software" de gerenciamento do sistema de medição para um arquivo de dados, obtiveram-se três (3) arquivos exportados em uma planilha de arquivo Excel "nome.xls". Com este arquivo de 40.000 pontos todos os obtidos no eixo "X" com duas tomadas de dados paralelos obtidos de amplitude "Y", 80.000 amplitudes, da pista de rolagem interna e externa em um mesmo sentido de tráfego em uma via, processou-se um novo arquivo com a frequência absoluta por amplitudes, tomadas com variação de 0,5mm do ponto zero até o ponto 140 mm de desnível, ou seja obteve-se a frequência absoluta do módulo da amplitude, pois pelo Teorema de Parseval toma-se a área integração abaixo da função envoltória dos espectros para cálculo da potência do espectro da onda. Assim tem-se:

$$\bar{P} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} |C_n|^2 = A_0^2 + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} |A_n|^2 \quad (4.2.1)$$

Como nos dados obtidos e tabulados tem-se espectros de onda positivos e negativos, deste modo para o cálculo da frequência absoluta de cada espectro toma-se o módulo de seu valor e a quantidade de cada espectro. Para a tomada da quantidade de

espectros, seleciona-se as amplitudes em um campo de valor a cada 0,5 mm em relação ao espectro anterior e posterior. O diferencial de valor na altura de 0,5 mm permitirá minimizar o erro por integração de áreas, assim sendo, obteve-se a frequência absoluta de cada espectro no comprimento da distância percorrida de "X", de 4.000 m a cada 0,5 mm de valor de diferença em cada espectro. O valor de 4.000 m é o caminho longitudinal desenvolvido pelo perfilômetro da empresa Randon para tomada desses dados. O gráfico gerado por esses novos pontos e transformado em um gráfico log-log (bi-logarítmico) gera um novo gráfico semelhante e de possível comparação ao gráfico log-log *PSD* normalizado pela ISO8608 da Figura 4.2.2. O gráfico da Figura 4.2.2 apresenta oito (8) campos de qualidade de rugosidade de estrada normalizada, sendo o campo "A" muito bom e o campo "H" muito ruim, péssimo. Este gráfico normalizado mostra as unidades de leitura que correponderão as transformações dos dados tabulados, que são dados extraídos do arquivo excel do perfilômetro. Com base no gráfico da Norma ISO 8608, os dados tabulados dos arquivos do perfilômetros foram transformados e posteriormente mostrados nos gráficos das Figuras 4.4.1 , 4.4.2 e 4.4.3

Na Figura 4.2.2 tem-se a seguinte legenda:

λ [m] comprimento da onda ou distancia percorrida;

$G_d(\Omega)$ [m³] deslocamento Densidade Espectral de Energia (*PSD*), [m²/(ciclos/m)]

n $\left[\frac{\text{ciclos}}{\text{m}}\right]$ frequência espacial;

Ω $\left[\frac{\text{rad}}{\text{m}}\right]$ frequência angular;

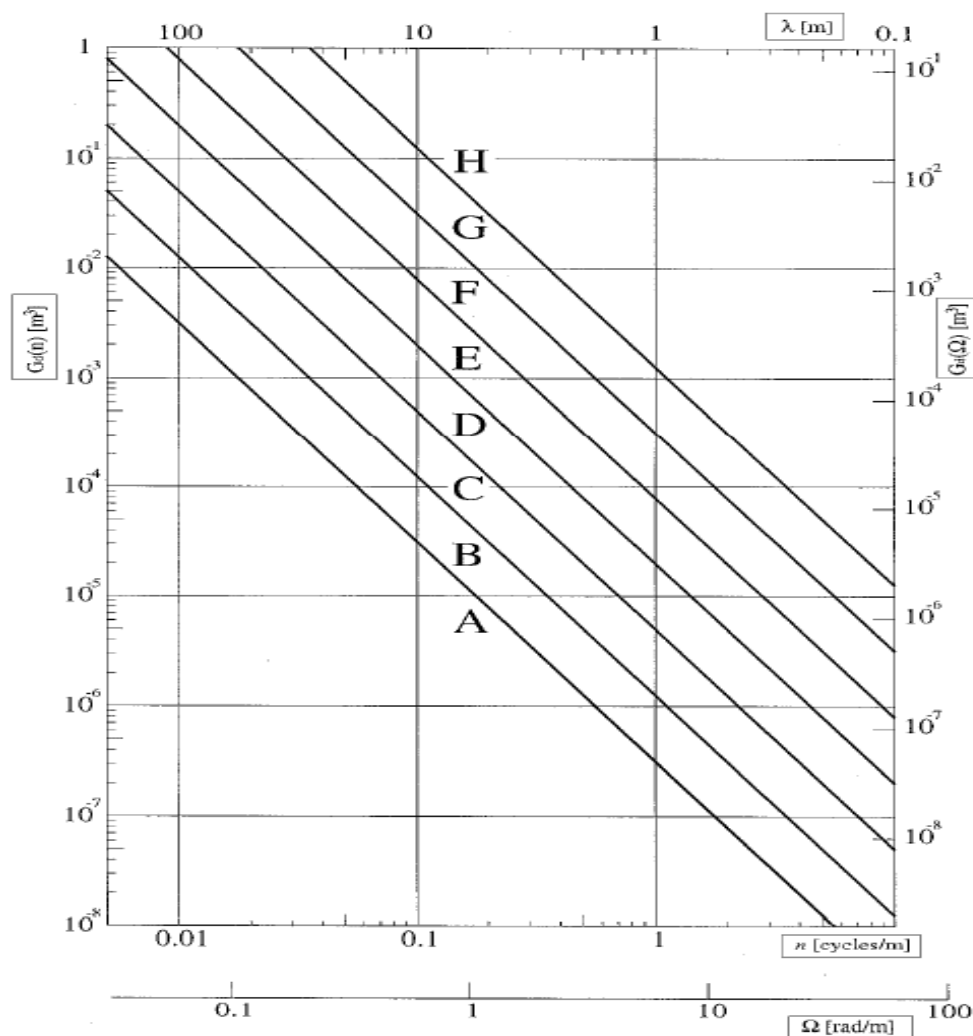


Figura 4.2.2 Classificação de superfície de rodovias conforme norma ISO 8608

4.3. COMPREENSÃO DA LÓGICA DE FORMULAÇÃO DO GRÁFICO

Nota-se que na Tabela 4.3.1 parcial dos dados obtidos no perfilômetro se observa no ponto 188 uma amplitude $y_1=0,5$ mm e $y_2=-8,7$ mm na distancia percorrida de 18700 mm e assim sucessivamente para cada ponto.

Tabela 4.3.1 Amostra parcial

ponto	Y1	Y2	X
188	0,5	-8,7	18700
189	0,3	-8,5	18800
190	-0,2	-8,6	18900
191	-0,4	-8,9	19000
192	-0,6	-9,1	19100
567	21,3	1,2	55800
568	21,3	1,1	55900
569	5,4	1,1	5600

Tabela 4.3.2 Amostra tabela parcial da PSD

Amplitude mm	Qtd espectros	$m^2 / \left(\frac{n}{m}\right)$	Ciclos/m
7,5	2148	0,000104749	0,537
17,0	2228	0,000518852	0,557
5,0	2998	3,33557E-05	0,7495
4,0	3219	1,98821E-05	0,80475
3,5	3531	1,38772E-05	0,88275
0,5	3710	2,69553E-07	0,9275
1,0	3849	1,03925E-06	0,96225
3,0	3909	9,20958E-06	0,97725
2,5	3953	6,32436E-06	0,98825
1,5	4036	2,22996E-06	1,009

Nota-se na Tabela 4.3.2 os dados parciais das amostras transformados para geração da equação PSD. A Tabela 4.3.2 mostra que a amplitude módulo de 0,5 mm existe 3710 vezes dentro dos 80.000 pontos de amostragem dos dados do perfilômetro. Verifica-se que nesta amostragem o espectro de 0,5mm aparece 3710 vezes, e assim executa-se o cálculo de $\left(\frac{3710}{4000}\right) = 0.9275$ (n) $\left[\frac{\text{ciclos}}{m}\right]$, desta forma se procede ao correlato cálculo para a amplitude (elevada ao quadrado) dividida por n, temos $\left(\frac{0,5^2}{0.9275}\right) = 2.69553 \cdot 10^{-7}$ $\left[\frac{m^2}{n}\right]$ e desta forma, executa-se os cálculos para cada espectro de amplitude começando por zero mm (0) e crescendo de 0,5 mm até a amplitude máxima em módulo do que foi coletada na amostra. Este procedimento demonstra a forma da execução do gráfico PSD das amostras.

4.4. OS GRÁFICOS PSD

Para elaboração das curvas PSD dos três arquivos fornecidos pela empresa Randon, utilizou-se o software OriginPro 8 SR0, com análise da otimização da equação da curva de aproximação por Power Law Allometric, conforme Equação 4.4.1,

$$y = a x^b \quad \rightarrow \quad Sw = C_{spd} \eta^N \quad (4.4.1)$$

e assim, com a obtenção dos índices, conforme Tabela 4.4.1. Estes índices obtiveram-se para todos os conjuntos de 80.000 amplitudes e 40.000 pontos de deslocamentos, de cada amostra dos pavimentos, e através da formulação das equações para: rodovias asfalto, estrada da COHAB e estrada de chão; obtiveram-se os índices das equações das retas PSD, mostrados na Tabela 4.4.1.

Tabela 4.4.1 - Índices das curvas logarítmicas de aproximação das amostras analisadas

Rodovia	$a=C_{spd}$	$b=N$	R^2
Asfalto	9.50522E-4	-1.11327	0.98555
Estrada COHAB	0.00287	-1.118	0.9442
Estrada de Chão	0.00133	-1.23212	0,8789

No Apêndice II Figuras AP.II-1,-2,-3 encontra-se o relatório de Cálculo do Software Origin 8 das curvas PSD das respectivas amostras da Tabela 4.4.1

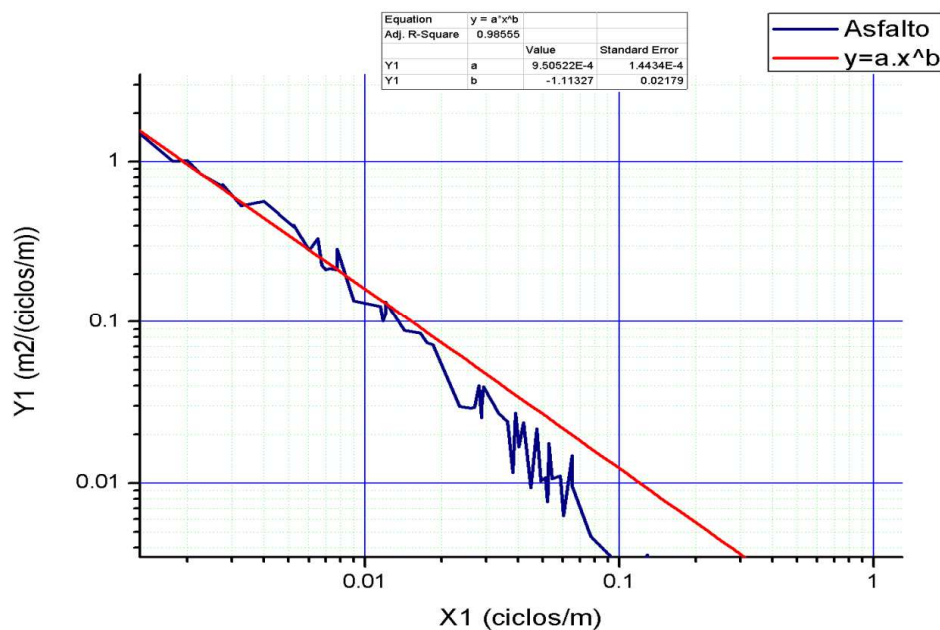
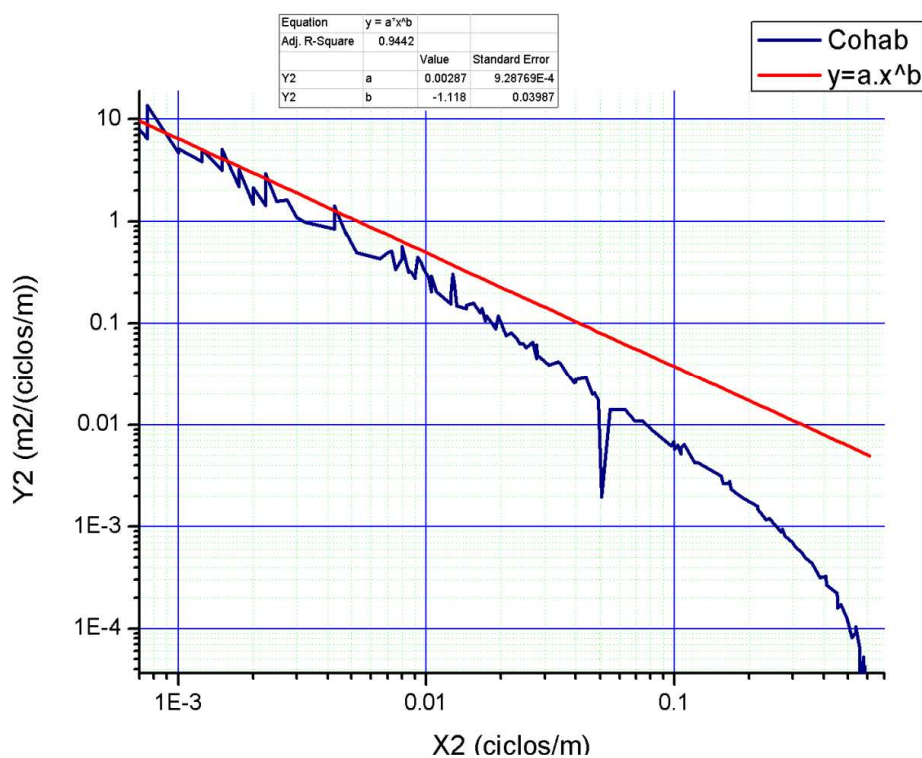
**Figura 4.4.1** - PSD – Asfalto da amostra analisada

Figura 4.4.2 PSD - Estrada COHAB da amostra analisada

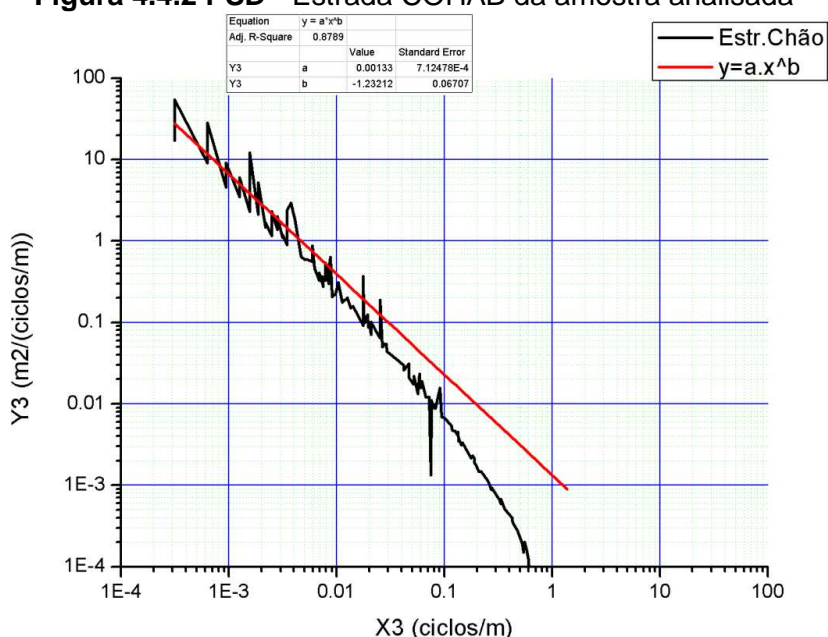


Figura 4.4.3 - PSD - Estrada de Chão da amostra analisada

Os gráficos da Figura 4.4.1 - PSD - Asfalto, Figura 4.4.2 - PSD - Estrada COHAB (paralelepípedo com asfalto) e Figura 4.4.3 - PSD - Estrada de Chão (terra, cascalho e brita), está representado na linha de cor azul a curva da função *PSD* de cada pavimento e a linha de cor vermelha, a curva de aproximação gerada da função *PSD* definida, esta é linha de tendência, esta linha na cor vermelha representará a equação *PSD* de cada tipo de pavimento, conforme demonstrado nas equações 4.4.2 (Asfalto), equação 4.4.3 (Estrada COHAB) e equação 4.4.4 (Estrada de Chão):

$$y = 9.50522 \cdot 10^{-4} x^{-1.11327} \quad (4.4.2)$$

$$y = 0.00287 x^{-1.118} \quad (4.4.3)$$

$$y = 0.00133 x^{-1.23212} \quad (4.4.4)$$

Tabela 4.4.2 - Valores de C_{spd} e N para função PSD da ISO 8608 com as classes.

Classe	$Sw = C_{spd} \eta^N$		PSD ISO8608	Grau de classificação Dynamic Interaction e EN 1991-2	Valores ISO 8608	Pot. 2
	C_{spd}	N	$G_{(n_0)} \cdot 10^{-6} [g]$			
H	5,70E-03	-2,1			524288	19
G	1,50E-03	-2,1			131072	17
F	2,70E-04	-2,1		Péssimo	32768	15
E	6,20E-05	-2,1		Muito ruim	8192	13
D	1,70E-05	-2,1		Ruim	2048	11
C	4,20E-06	-2,1		Médio	512	9
B	1,20E-06	-2,1		Ótimo	128	7
A	2,40E-07	-2,1		Muito ótimo	32	5

$$G_d(n) = G(n_0) \cdot \left(\frac{n}{n_0}\right)^{-2} \quad (4.4.5)$$

Na fórmula 4.4.5 temos $n_0 = 0,1 \text{ ciclos/m}$ e $G(n_0)$ da Tabela 4.4.2, n = frequência desejada, e $G_d(n)$ representa o deslocamento da função PSD calculado pela fórmula. Esta é a equação de formação do gráfico da figura 4.2.2,

Na Tabela 4.4.1 se nota que os fatores C_{spd} encontrados para as amostras não estão dentro dos índices da Norma ISO 8606 em comparação aos fatores da Tabela 4.4.2. Enquanto que o maior fator é $5,7E-3$ da Classe H, encontram-se nas amostras analisadas o menor índice de $9,50522E-4$ para o pavimento asfalto, que é maior que o da classe F. Sua equação da reta é compensada pelo expoente $-1,11327$, este valor é mandatório para a declividade da reta, suavizando seu ângulo, assim permitindo que a função tendência PSD do pavimento asfalto desta amostra faça uma superposição em outras classes, ou seja, não permanece somente em um campo de classificação, temos altas amplitudes e altas frequências. Para as outras amostras, os valores dos índices apresentam-se totalmente fora do padrão de classificação da Norma ISO 8608. O fator C_{spd} na função desloca a reta logarítmica no sentido vertical, para cima quando o valor cresce, e desloca para baixo quando esse valor decresce, comparado na mesma equação com o expoente N fixo. Desta forma os pavimentos aqui analisados estão fora da condição ideal de trafegabilidade, como demonstrado no gráfico da Figura 4.5.4

4.5. COMPARAÇÃO DNIT x ISO

Nas Tabelas 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3, conforme Anexo III, Figura A.III.1 e anexos B e C da Norma DNIT 006/2003-PRO, calcula-se e apresenta-se o Índice DNIT IGG de classificação das estradas. Este índice serve apenas para classificar se a rodovia inspecionada necessita ou não de reparo, não especifica o grau de rugosidade do pavimento e não identifica uma equação para seu contorno ou superfície. Os valores de índice DNIT estão especificados na Norma DNIT 006/2003-PRO. Nas tabelas 4.5.1(Asfalto), 4.5.2(COHAB) e 4.5.3(Chão) apresenta-se uma identificação dos dados obtidos do perfilômetro com amplitudes por distância percorrida em X de 4.000 m. Como descrito no item 4 (Metodologia) e representado pela figura 4.1 - Pneu, tabula-se a quantidade de relevos e depressões, para que, em função dos dados sem conhecer o pavimento medido por fotografia ou em loco, tivesse a condição matemática de interpretar buraco, blocos e demais características dos pavimentos descritos na norma DNIT 005/2003-TER fisicamente, desta forma então, tenta-se formalizar uma metodologia de avaliação objetiva da norma DNIT representada no Apêndice I, "formulação exclusiva e executada para este TCC". Na tabela 4.5.4 apresenta-se os conceitos de degradação do pavimento em função do IGG, índice característico da Norma DNIT 006/2003-PRO.

Tabela 4.5.1 - Resumo da planilha de Cálculo do DNIT IGG para pavimento Asfalto analisado.

amplitude mm	Asfalto					
	n	fa	DNIT	fp	fr	IGI
-13	1	1	B	1	0,0025	0,0025
-9	2	1	REM	0,6	0,0025	0,0015
-5,3	4	2	B	1	0,005	0,005
-4	4	0	DES	0,3	0	0
0	49909	49905	NADA	0	124,7625	0
4	79995	30086	DES	0,3	75,215	22,5645
5,30	79996	1	REM	0,6	0,0025	0,0015
9,00	79999	3	REM	0,6	0,0075	0,0045
13,00	79999	0	OND	1	0	0
120,00	80000	1	EX	0,5	0,0025	0,00125
TOTAL n		80000				

Fator do valor abs. da média das amplitudes (f IGI) = 6,482613

Fator da variância da média das amplitudes ($f_s^2 IGI$) = 50

IGG 79,06336 Regular

Tabela 4.5.2 - Resumo da planilha de Cálculo do DNIT IGG para pavimento COHAB analisado.

amplitude mm	COHAB					
	n	fa	DNIT	fp	fr	IGI
-13	1196	1196	B	1	2,99	2,99
-9	2368	1172	REM	0,6	2,93	1,758
-5,3	5169	2801	B	1	7,0025	7,0025
-4	7488	2319	DES	0,3	5,7975	1,73925
0	43330	35842	NADA	0	89,605	0
4	72671	29341	DES	0,3	73,3525	22,00575
5,30	74910	2239	REM	0,6	5,5975	3,3585
9,00	77716	2806	REM	0,6	7,015	4,209
13,00	78824	1108	OND	1	2,77	2,77
120,00	80000	1176	EX	0,5	2,94	1,47
TOTAL n		80000				

Fator do valor abs. da média das amplitudes (f IGI) = 2,51433

Fator da variância da média das amplitudes (fs^2IGI) = 50

IGG 99,81733 RUIM

Tabela 4.5.3 - Resumo da planilha de Cálculo do DNIT IGG para pavimento Chão analisado

amplitude mm	n	Estrada de Chão				
		fa	DNIT	fp	fr	IGI
-13	277	277	B	1	0,6925	0,6925
-9	613	336	REM	0,6	0,84	0,504
-5,3	1936	1323	B	1	3,3075	3,3075
-4	3164	1228	DES	0,3	3,07	0,921
0	46679	43515	NADA	0	108,7875	0
4	76740	30061	DES	0,3	75,1525	22,54575
5,30	77973	1233	REM	0,6	3,0825	1,8495
9,00	79393	1420	REM	0,6	3,55	2,13
13,00	79782	389	OND	1	0,9725	0,9725
120,00	80000	218	EX	0,5	0,545	0,2725
TOTAL n		80000				

Fator do valor abs. da média das amplitudes (f IGI) = 4,46631

Fator da variância da média das amplitudes (fs^2IGI) = 50

IGG 87,66156 RUIM

Tabela 4.5.4 - Conceitos de degradação para índice DNIT IGG

Conceito de Degradação IGG	
Conceito	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$160 < IGG < \infty$

O Índice de Gravidade Global (DNIT IGG) é obtido por meio da equação:

$$IGG = \sum IGI \quad (4.5.1)$$

onde $\sum IGI$ é o somatório dos Índices de Gravidade Individuais, calculados de acordo como estabelecido no item 7.3 da Norma DNIT 006/2003-PRO para cada trecho especificado na inspeção do pavimento analisado. Os nomes e abreviaturas constantes das tabelas 4.5.1 a

4.5.3 são designações e abreviaturas constantes das normas DNIT 005 a 009 e assim descreve-se

n - número de estações inventariadas

fa - frequência absoluta - número de vezes que a ocorrência foi verificada

fr - frequência relativa - é obtida através da fórmula:

$$fr = fa \cdot \frac{100}{n} \quad (4.5.2)$$

O Índice de Gravidade Individual (IGI) para cada ocorrência inventariada é calculado pela fórmula:

$$IGI = fr \cdot fp \quad (4.5.3)$$

O fator sobre o valor absoluto da média das amplitudes de y (mm) ($f IGI$) ao longo do percurso medido é igual a:

1 - se a média das amplitudes for menor ou igual a 30, então:

$$f IGI = \bar{y} \frac{4}{3} \quad (4.5.4)$$

2 - se a média das amplitudes for maior que 30, então:

$$f IGI = 40 \quad (4.5.4)$$

O fator da variância da média das amplitudes de y (mm) ($fs^2 IGI$) ao longo do percurso medido é igual a:

1 - se a média aritmética das variâncias dos deslocamentos em y (mm) for menor ou igual a 50, então:

$$fs^2 IGI = s^2(y) \quad (4.5.5)$$

2 - se a média aritmética das variâncias dos deslocamentos em y (mm) for maior que 50, então:

$$fs^2 IGI = 50 \quad (4.5.5)$$

Do procedimento constante das normas DNIT e reproduzidas no item 4.5 com suas equações e valores máximos e mínimos, nota-se que as estradas tabuladas dos dados obtidos pelo perfilômetro estão no Índice de Gravidade Global no Conceito Ruim que compreende o IGG entre 80 e 160 para o pavimento Estrada de Chão e COHAB (paralelepído com remendo de asfalto) e Conceito Regular que compreende o IGG entre 40 e 80 para o pavimento constituído somente por asfalto.

Na Tabela 4.5.4 nota-se também que os pavimentos analisados estão com a classificação no Campo E, de ruim qualidade, pois o Campo A equivale ao conceito muito bom e Campo E equivale ao conceito muito ruim, conforme Tabela 4.4.2.

Tabela 4.5.5 Classificação dos Campos – norma ISO8608

Campo de classificação da Onda em função da Classe [mm]						
	A	B	C	D	E	F
Textura do comprimento de onda	0,05 a 0,16	0,02 A 0,5	0,63 A 2,0	2,5 A 50	63 A 200	250 A 500
Mínimo vertical resolução	0,001	0,003	0,01	0,03	0,04	0,05
Mínimo Hor. resolução Δx e intervalo de amostra	0,02	0,05	0,02	1	20	50

Tabela 4.5.6 - Macroestrutura - amplitude y [mm] – ISO13743

Macroestrutura	
Conceito	Limites
Bom	$y < 10$
Aceitável	$10 < y \leq 15$
Não Aceitável	$15 < y$

Tabela 4.5.7 – Classificação para amplitude e comprimento da onda do perfil longitudinal – ISO13743

Domínio	Comprimento da onda	Amplitude y
Traçado	50 - 1000 m	0,5 - 50 m
Regularidade superficial	0,5 - 50m	1 - 500 mm
Textura	0 - 0,5 m	0,001 - 50 mm
valores acima são proporcionais aos campos percorridos		

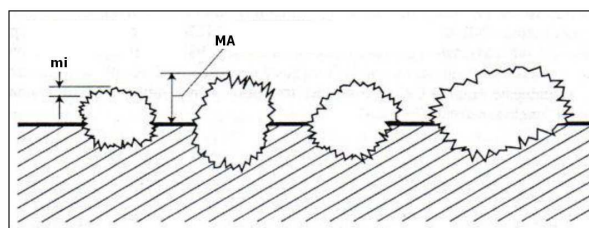


Figura 4.5.1 - Geometria da Micro e Macroestrutura – ISO13743

A Tabela 4.5.5 caracteriza em função da Classe A, B, ... ou F qual o comprimento da onda é o valor máximo para o campo de medição da onda a ser verificado, define a mínima resolução vertical como também o mínimo comprimento do intervalo a ser medido. Estes valores constantes na Tabela 4.5.6 são proporcionais em uso com a Tabela 4.5.7. a Tabela 4.5.6 define o valor da macroestrutura admissível, e a Tabela 4.5.7 relaciona o comprimento de onda com a textura e a regularidade superficial. Note que o passo de medição das amostras é de 100 mm, desta forma a amplitude máxima seria de 10 mm, o que não ocorre em nos dados das amostras conforme Tabela 4.3.1, neste caso o procedimento correto será diminuir o passo de medição para otimizar a leitura vertical da amplitude, e desta forma caracterizar uma perturbação na superfície da onda e não uma deformação da onda conforme especifica a Tabela 4.5.5.

A Figura 4.5.1 mostra a geometria da microestrutura (mi) e macroestrutura (MA). Será microestrutura a textura inerte do material, sem desgaste, e macro estrutura a textura geral da camada sujeita ao desgaste. Microestrutura está situada no comprimento de onda até 0,5mm, macroestrutura de 0,5 mm até 50 mm, megaestrutura de 50 mm até 500 mm e superfície irregular não aceitável com comprimento de onda acima de 500. Na microestrutura há aderência do pneu e na macroestrutura o efeito de drenagem. Como exemplo de entendimento, conforme a norma ISO13473 de medição do comprimento de uma onda e de intervalo de uma amostra para um comprimento de onda especificado de 200 mm da textura, a máxima amplitude medida deveria ser de 20 mm, mas que não é aceitável conforme Tabela 4.5.6., assim sendo a Norma ISO13473 não contempla amplitudes maiores que 15 mm.

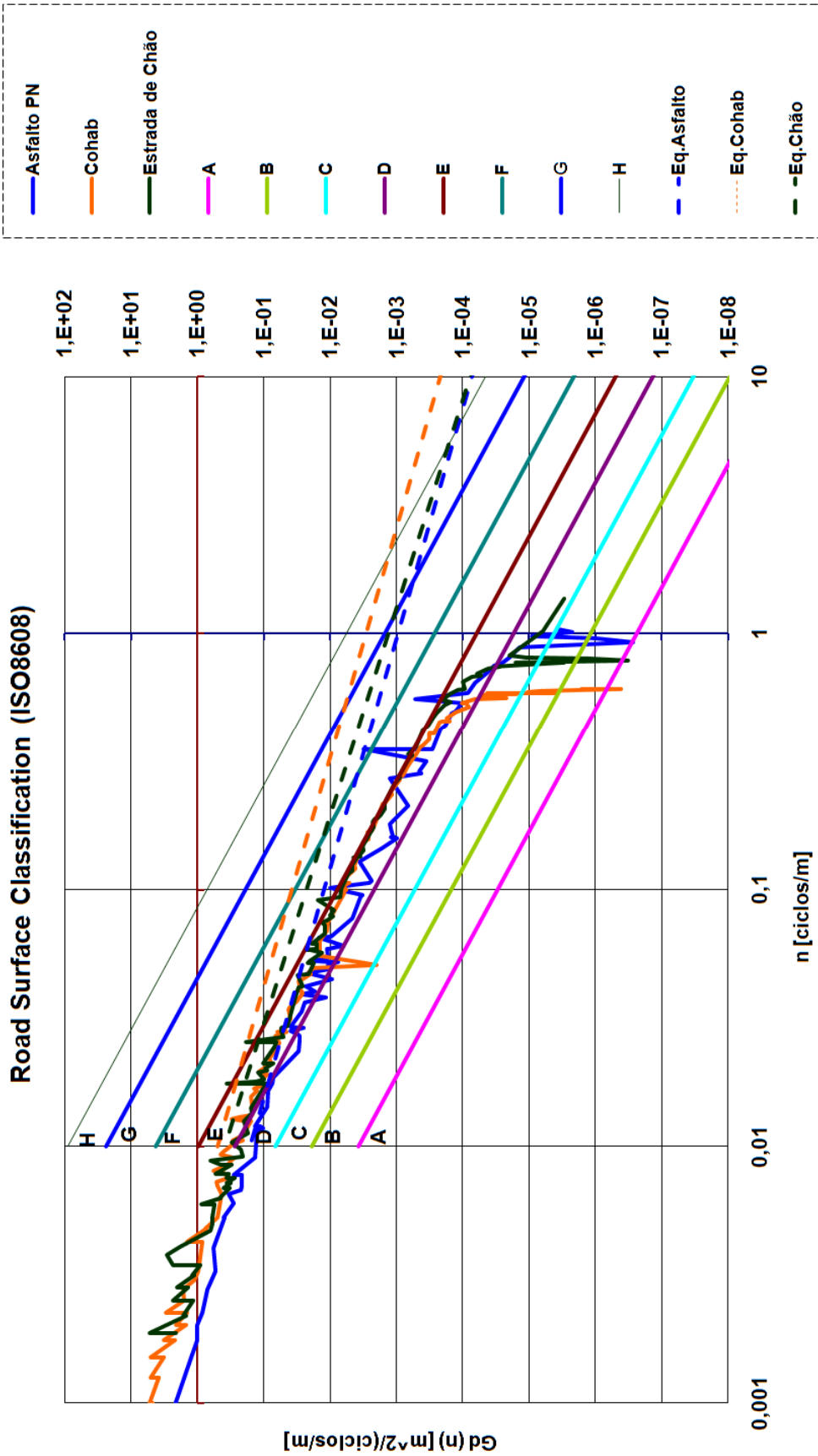


Figura 4.5.2 - Grafico de classificação dos pavimentos conforme norma ISO8608 das amostras analisadas

5 . CONCLUSÃO

Apesar do procedimento descrito de comparação das duas normas DNIT (várias) versus ISO8608, com a elaboração e a inclusão de valores dimensionais para as características fotográficas dos itens da norma DNIT, com classificação segundo Índices de Gravidade Global, e da avaliação das amplitudes dos dados obtidos do perfilômetro, determinando sua equação como também sua classe de rugosidade conforme norma ISO8608, infere-se aos dados obtidos da amostra e analisados que:

- As estradas analisadas estão aquém da Norma ISO 8608 (classe E - todas);
- Para análise conforme as normas DNIT estão classificadas como Regular (asfalto) e Ruim (COHAB e Chão);
- A norma ISO8608 define como macroestrutura a variação de 0-10 mm para rugosidade, onde as amostras analisadas estão fora do ideal, a norma ISO13473 define conforme Tabela 4.5.7 a macroestrutura ou o desgaste máximo, a Tabela 4.5.8 define as formas das amplitudes verificadas nos pavimentos, e que as amostras analisadas não se enquadram dentro da norma ISO, como também a variação do perfil longitudinal mostrado na tabela.
- Os dados analisados foram obtidos com um passo de medição de 100 mm, e como demonstrado no item 3 e corroborado pela figura 4.1, o ideal seria o passo de medição de 25 mm, devido as atuais condições das amostras, para desta forma melhor enquadrar na Norma DNIT sem a necessidade de visualização através de fotos para ratificar a amostra de dados. A distância de 25 mm baseia-se para o pneu de aro 13" que não perceberia a depressão ou amplitude y [mm]. Desta forma matematicamente ao analisar-se um arquivo de dados poderá identificar os aspectos relevantes subjetivos da Norma DNIT 005/2003-TER.
- Como as estradas aqui mapeadas e analisadas não obedecem as tabelas do 4.5.4, a análise sobre a comparação entre estradas apresentam erros de interpretação, pois os pontos de medição podem retratar uma reta de união, criando uma rampa ou um degrau ou elevação brusca.
- Na norma ISO8608 não identifica defeitos de pavimento caracterizado pela Norma DNIT, como: afundamento de trilho, remendo longo, trincas de passo menor que o medido, trinca isolada longitudinal contínua, pois a Norma ISO conforme Tabela 4.5.7 no campo Textura no campo de 100 mm o valor máximo será de 5 mm de oscilação, medidas proporcionais, o que não ocorre com o pavimento de melhor classificação das amostras, como o asfalto mostrado na Tabela 4.3.1 no ponto 568 e 569. Essa ocorrência acontece em proporção maior no pavimento tipo asfalto em outros pontos de medição, como também ocorre em amplitudes maiores nos tipos paralelepípedo e chão.
- Nota-se que o passo medido das amostras é de 100 mm com amplitudes muito elevadas, chegando a muitos casos a aproximadamente 80 mm. Assim referindo-se a [Sensors 2007], sua amostra de medição é de -3 mm a +3 mm de amplitude e passo de 96 mm, caracteriza-se assim que não haja amplitudes elevadas, onde a Norma ISO 8608 seria aplicável, o que, nas amostras verificadas neste TCC estariam completamente errôneas os procedimentos de obtenção de dados, conforme demonstra as Tabelas 4.5.5 a 4.5.7

Outra interpretação que pode-se inferir do gráfico da Figura 4.5.2 é que os pavimentos estudados estão com o comprimento de onda superior a 200 mm, o que é ligeiramente prejudicial pois o Índice N está alto em comparação com os Índices constantes da Norma ISO8608, Tabela 4.4.2, denotando grande amplitude em alta frequência, prejudicando a Equação Linear LOG-LOG, diminuindo sua declividade, permitindo que a Equação de ajuste da PSD atravesse muitas faixas das classes do gráfico da Figura 4.2.1, como demonstrado no gráfico da Figura 4.5.2.

Nota-se que o tema escolhido é de grande responsabilidade na elaboração das curvas de ajustes decorrentes das PSD formuladas dos pavimentos analisados, pois a elaboração das curvas de ajuste qualifica dentro da Norma ISO8608 a real situação do solo em

questão. Apartir desta curva de ajuste gerada, o projetista poderá localizar uma nova função dentro do campo escolhido, e apartir dela, gerar um gráfico de amplitudes por uma distância percorrida, ou até mesmo uma função periódica normal e conhecida, e depois conceber um novo gráfico de amplitude por uma frequência, a aplicar no conjunto virtual de um sistema de amortecimento de um veículo automotor e realizar uma solicitação virtual de fadiga.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT/ONS-58 - 1º Projeto 58:000.03.-002, **Análise de Vibrações**, 28 folhas. Set.2010

DNIT, Norma DNIT 005/2003 – TER. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia**. 12 folhas. 06/08/2003.

DNIT, Norma DNIT 006/2003 – PRO. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. 10 folhas. 08/08/2003.

DNIT, Norma DNIT 007/2003 – PRO. **Levantamentos para avaliação de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos - Procedimento**. 11 folhas. 08/08/2003.

DNIT, Norma DNIT 008/2003 – PRO. **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. 11 folhas. 08/08/2003.

DNIT, Norma DNIT 009/2003 – PRO. **Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. 6 folhas. 08/08/2003.

Dynamic Interaction between Vehicles and Infrastructure Experiment - **Divine project**, www.oecd.org -, acessado em Junho de 2011

EN 1991-2:2003. Eurocode 1: Actions on Structures - **Part 2: Traffic loads and Bridges. Anexo B 128-131**. 164 folhas. Setembro 2003.

Guidelines for Conducting and calibrating, www.romdas.com - acessado em Junho 2011

Leitura e compreensão do manual do perfilômetro, "**Perfilômetro - manual**" www.cibermetrica.com.br , acessado em Maio de 2011

ISO 8608:2002 - Road Surface and Vibration

ISO 13473-2:2002 , ISO 13473-3:2002

Filippo Csamenti, "**Pavimentazione Stradale: Studio Della Regolarita**" , Univerità degli Studi di Bologna, 2008

Ramji, K., Gupta, A., Saran, V.H., Goel, Prof.V.K., Kumar, Prof.V., "**Road Roughness Measurements using PSD Approach**", IE (I)Journal CV, vol. 85, pp 184-201, Nov.2004.

Sensors , "**Development of Standardization and Management System for the Severity of Unpaved Test Courses**" , Do-Kyung Kang, Sang-Ho Lee, Sang-Hwa Goo, www.mdpi.org/sensors

Stoica, P., Moses R., "**Introduction to spectral analysis**", Mathematics, pp9-12, 1997

Anexo I

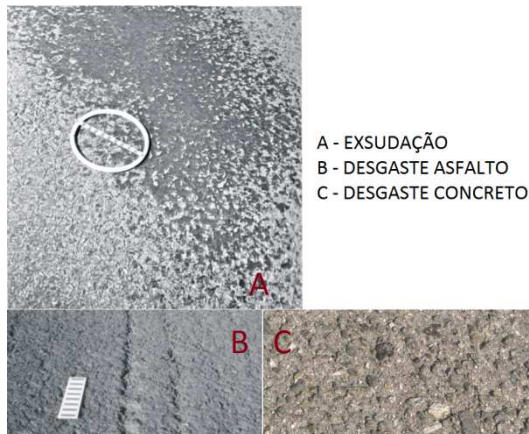


Figura I-1 - Foto de comparação de Exsudação(EX) e Desgaste(D)



Figura I-2 - Foto de Panela ou Buraco (P)



Figura I-3 - Foto de Trinca interligada J ou JE



Figura I-4 - Foto Afundamento (ALP) (ALC) (ATP) (ATC)



Figura I-5 - Foto de Corrugação ou ondulação (O)



Figura I-6 - Foto de Trinca Interligada de Bloco(TB) (TBE)



Figura I-7 - Foto de Trinca longitudinal (TLC) (TLL)

Anexo II

<p style="text-align: center;">Anexo B (normativo)</p> <p style="text-align: center;">Formulário de Inventário do estado da superfície do pavimento</p> <p>INVENTÁRIO DO ESTADO DA SUPERFÍCIE DO PAVIMENTO</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <p>RODOVIA: _____</p> <p>TRECHO: _____</p> <p>Subtrecho: _____</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <p>OP. MANUT: _____</p> <p>REVESTIMENTO TIPO: _____</p> <p>DATA: _____</p> <p>UF: _____</p> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Esp. (m)</th> <th rowspan="2">OK</th> <th colspan="3">SOLADAS</th> <th colspan="3">TRINCAS</th> <th colspan="3">INTERCALADAS</th> <th colspan="3">AJUSTAMENTOS</th> <th colspan="3">OUTROS REFEITOS</th> <th colspan="3">TRINCAS ROLAS</th> <th rowspan="2">Observações</th> </tr> <tr> <th>FI</th><th>TTC</th><th>TLL</th> <th>TLL</th><th>TLL</th><th>TLL</th> <th>FC-2</th><th>FC-3</th><th>J</th> <th>ALP</th><th>ATP</th><th>ALC</th> <th>O</th><th>P</th><th>E</th> <th>D</th><th>R</th><th>TR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td> <td>1</td><td>1</td><td>1</td> <td>1</td><td>1</td><td>1</td> <td>1</td><td>1</td><td>1</td> <td>1</td><td>1</td><td>1</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Esp. (m)	OK	SOLADAS			TRINCAS			INTERCALADAS			AJUSTAMENTOS			OUTROS REFEITOS			TRINCAS ROLAS			Observações	FI	TTC	TLL	TLL	TLL	TLL	FC-2	FC-3	J	ALP	ATP	ALC	O	P	E	D	R	TR			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		<p style="text-align: center;">Anexo C (normativo)</p> <p style="text-align: center;">Planilha de Cálculo do IGG</p> <p>RODOVIA: _____</p> <p>TRECHO: _____</p> <p>Sub-trecho: _____</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Item</th> <th rowspan="2">Descrição do defeito</th> <th rowspan="2">Frequência absoluta</th> <th rowspan="2">Frequência absoluta consolidada</th> <th colspan="2">REVESTIMENTO TIPO</th> <th rowspan="2">Índice de gravidade individual</th> <th rowspan="2">Observações</th> </tr> <tr> <th>Frequência relativa</th> <th>Fator de ponderação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Trincas Isoladas FI, TTC, TLL, TLL, TLL, TRR</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>(FC - 2) - J, TB</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>(FC - 3) - J, E, TBE</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>ALP, ATP, ALC, ATC</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,9</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>O, P, E</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1,0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>EX</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>R</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,8</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Média aritmética dos valores medidos das flechas medidas em mm nos TRE e TBE</td> <td>TRE =</td> <td>TRI =</td> <td>F =</td> <td></td> <td>1 A () 1 B ()</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Média aritmética das flechas medidas em mm nas fôrmas</td> <td>TREv =</td> <td>TRlv =</td> <td>FV =</td> <td></td> <td>2 A () 2 B ()</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Nº TOTAL DE ESTAÇÕES</td> <td>n =</td> <td colspan="2">Σ IND. GRAVID. IND. = IGG</td> <td>Conceito</td> </tr> </tbody> </table> <p>A) IGI = F x 40 quando $\bar{F} \leq 30$ B) IGI = 40 quando $\bar{F} > 30$ 2A) IGI = FV quando $\bar{FV} \leq 50$ 2B) IGI = 50 quando $\bar{FV} > 50$</p>	Item	Descrição do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta consolidada	REVESTIMENTO TIPO		Índice de gravidade individual	Observações	Frequência relativa	Fator de ponderação	1	Trincas Isoladas FI, TTC, TLL, TLL, TLL, TRR					0,2		2	(FC - 2) - J, TB					0,5		3	(FC - 3) - J, E, TBE					0,8		4	ALP, ATP, ALC, ATC					0,9		5	O, P, E					1,0		6	EX					0,5		7	D					0,3		8	R					0,8		9	Média aritmética dos valores medidos das flechas medidas em mm nos TRE e TBE	TRE =	TRI =	F =		1 A () 1 B ()		10	Média aritmética das flechas medidas em mm nas fôrmas	TREv =	TRlv =	FV =		2 A () 2 B ()		Nº TOTAL DE ESTAÇÕES				n =	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		Conceito
Esp. (m)			OK	SOLADAS			TRINCAS			INTERCALADAS			AJUSTAMENTOS			OUTROS REFEITOS			TRINCAS ROLAS			Observações																																																																																																																																										
	FI	TTC		TLL	TLL	TLL	TLL	FC-2	FC-3	J	ALP	ATP	ALC	O	P	E	D	R	TR																																																																																																																																													
		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																																																																																																																																												
Item	Descrição do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta consolidada	REVESTIMENTO TIPO		Índice de gravidade individual	Observações																																																																																																																																																									
				Frequência relativa	Fator de ponderação																																																																																																																																																											
1	Trincas Isoladas FI, TTC, TLL, TLL, TLL, TRR					0,2																																																																																																																																																										
2	(FC - 2) - J, TB					0,5																																																																																																																																																										
3	(FC - 3) - J, E, TBE					0,8																																																																																																																																																										
4	ALP, ATP, ALC, ATC					0,9																																																																																																																																																										
5	O, P, E					1,0																																																																																																																																																										
6	EX					0,5																																																																																																																																																										
7	D					0,3																																																																																																																																																										
8	R					0,8																																																																																																																																																										
9	Média aritmética dos valores medidos das flechas medidas em mm nos TRE e TBE	TRE =	TRI =	F =		1 A () 1 B ()																																																																																																																																																										
10	Média aritmética das flechas medidas em mm nas fôrmas	TREv =	TRlv =	FV =		2 A () 2 B ()																																																																																																																																																										
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES				n =	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG		Conceito																																																																																																																																																									

Figura AII.1 - Anexo B e Anexo C da Norma DNIT006/2003-PRO

Fonte: DNIT 006/2003

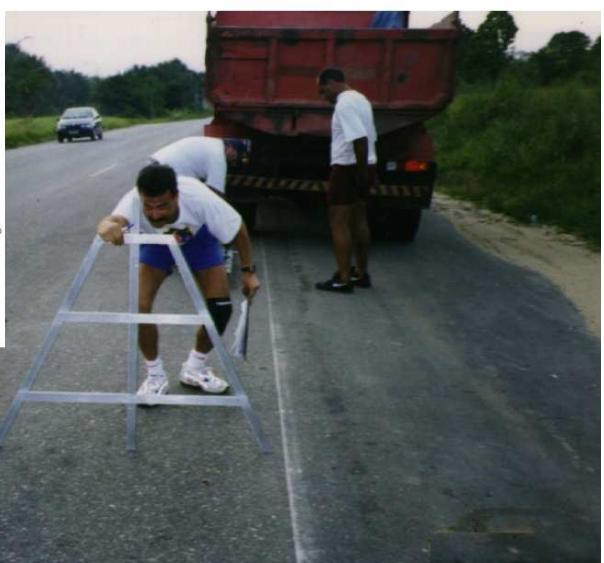
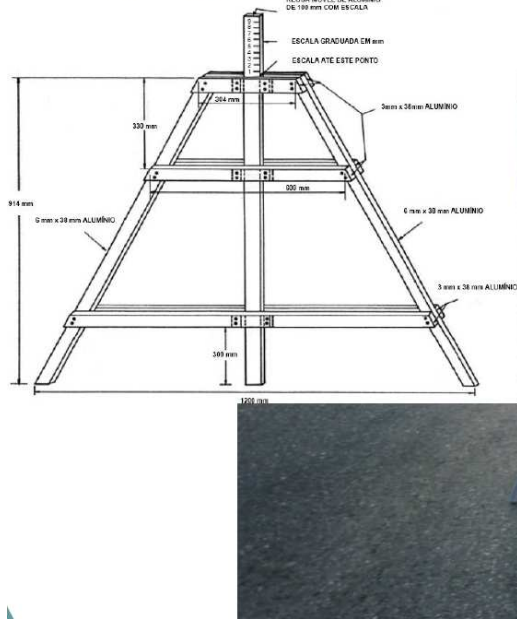


Figura A.II.2 Triângulo de medição e demonstração da leitura

Apêndice I

Fissura		FP=0,2	
EIXO X	EIXO Y		
$X_{(n+1)} - X_{(n)} \ll 1$ Se >1 outro teste	$0 > Y_{(n+1)} - X_{(n)} \gg -6R$ Se $\geq 0 \rightarrow$ outro teste	Dois passos para considerar uma fissura.	(API1)
$X_{(n+2)} - X_{(n+1)} > 1$	$Y_{(n+2)} - Y_{(n+1)} = 0$ Se $\neq 0 \rightarrow$ teste desgate		(API2)
Trinca		FP=0,2	
$1 < X_{(n+1)} - X_{(n)} \leq R \cdot \sin 11^\circ$ Se > R.sen22° \rightarrow buraco Se < R.sen22° \rightarrow bloco	$Y_{(n+1)} - Y_{(n)} < 0$	Passos para considerar uma trinca (m+n)-(n) conta o numero de trincas.	(API3)
$0 < X_{(n+2)} - X_{(n+1)} \leq R \cdot \sin 11^\circ$ Se > R sen11° \rightarrow JE ou B	$-(R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) \leq Y_{(n+2)} - Y_{(n+1)} < 0$ Se > (R.cos11°R) \rightarrow Ond. e outros	Contagem da distancia é igual a $X_{(n+m)} - Y_{(n)}$.	(API4)
$1 < X_{(n+3)} - X_{(n+2)} \leq R \cdot \sin 11^\circ$ Se > (R.sen11°) \rightarrow B ou P	$Y_{(n+3)} - Y_{(n+2)} > 0$		(API5)
Trinca Interligada (JE)		FP=0,8	
$1 < X_{(n+1)} - X_{(n)} \leq R \cdot \sin 11^\circ$ Se > (Rsen11°) \rightarrow B ou P	$Y_{(n+1)} - Y_{(n)} < 0$	Passos para considerar trincas interligadas.	(API6)
$0 < X_{(n+2)} - X_{(n+1)} \leq 6R \cdot \sin 11^\circ$ Se > 6Rsen11° \rightarrow teste seg.	$0 < Y_{(n+2)} - Y_{(n+1)} \leq (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R)$ Se > (R.cos11°R) \rightarrow ondulação, Escorregamento, etc	Teste continua até um dos critérios ser negativo. Neste caso na rotina, passará para outro testes.	(API7)
$1 < X_{(n+3)} - X_{(n+2)} \leq R \cdot \sin 11^\circ$ Se > (Rsen11°) \rightarrow B ou P	$Y_{(n+2)} - Y_{(n+1)} < 0$	Contagem da distancia é igual a $X_{(n+m)} - Y_{(n)}$.	(API8)
$0 < X_{(n+4)} - X_{(n+3)} \leq 6R \cdot \sin 11^\circ$ Se > 6Rsin11° e .. Se > 6Rsin11° e ..	$0 < Y_{(n+3)} - Y_{(n+2)} \leq (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R)$.. < -(R.cos11°R) \rightarrow B ou P .. $\neq \rightarrow$ outro teste.	Contagem da distancia é igual a $X_{(n+m)} - Y_{(n)}$. (n+m)-(n)= intervalos	(API9)
Blocos (TBE)		FP=0,8	
$1 < X_{(n+1)} - X_{(n)} \leq R \cdot \sin 11^\circ$	$Y_{(n+1)} - Y_{(n)} < 0$	Passos para considerar trincas tipo bloco.	(API10)
$R \cdot \sin 11^\circ < X_{(n+2)} - X_{(n+1)} \leq 6R \cdot \sin 11^\circ$ Se > 2Rsen11° e ..	$0 < Y_{(n+2)} - Y_{(n+1)} \leq (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R)$.. < -1(R.Cos11°R) \rightarrow teste buraco	Contagem da distancia é igual a $X_{(n+m)} - Y_{(n)}$.	(API11)
$1 < X_{(n+3)} - X_{(n+2)} \leq R \cdot \sin 11^\circ$	$Y_{(n+2)} - Y_{(n+1)} < 0$	(n+m)-(n)= intervalos	(API.12)
$R \cdot \sin 11^\circ < X_{(n+4)} - X_{(n+3)} \leq 6R \cdot \sin 11^\circ$ Se > 2Rsen11° e ..	$0 < Y_{(n+3)} - Y_{(n+2)} \leq (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R)$.. < -1(R.Cos11°R) \rightarrow teste buraco		(API.13)
Ondulação (O)		FP=1,0	
$0 < X_{(n+1)} - X_{(n)} \leq 4R$ Se > (R.sen11°) e ... Se > R/2 s/carac. rampa	$(R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) < Y_{(n+1)} - Y_{(n)} \leq (R \cdot \cos 30^\circ \cdot R)$ Se $\leq (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) \rightarrow$ teste ant. Se > (R.cos30°R) \rightarrow obstáculo .. < -1(R.cos11°R) \rightarrow tes. buraco	Passos para teste de ondulação. Contagem da distancia é igual a $X_{(n+m)} - Y_{(n)}$. (n+m)-(n)= intervalos	(API.14)
$0 < X_{(n+2)} - X_{(n+1)} \leq 4R$	$(R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) < Y_{(n+2)} - Y_{(n+1)} \leq (R \cdot \cos 30^\circ \cdot R)$ Se=0 \rightarrow plano \rightarrow teste remendo Se < -1(R.cos30°R) \rightarrow teste buraco Se > (R.cos30°R) obstáculo		(API.15)
$0 < X_{(n+3)} - X_{(n+2)} \leq 4R$ Se > 4R e.. Se > 4R e ..	$(R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) < Y_{(n+3)} - Y_{(n+2)} \leq (R \cdot \cos 30^\circ \cdot R)$ Se = 0 \rightarrow outros testes .. (R.cos11°R) < $Y_{(n+3)} - Y_{(n+2)} \leq (R \cdot \cos 30^\circ \cdot R) \rightarrow$ teste remendo .. > (R.cos30°) \rightarrow obstáculo		(API.16)

<i>Teste prossegue..</i>			
Desgaste (D) e (EX)	<i>Aqui os dois são considerados =</i>	FP=0,5	
$0 < X(n+1) - X(n) \leq R \cdot \sin 11^\circ$ <i>Se $\neq \rightarrow$ outros testes</i>	$0 > Y(n+2) - Y(n+1) \geq (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R)$ <i>Se $< (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) \rightarrow F$ ou TR</i> <i>Se $\neq \rightarrow$ outro teste</i>	<i>Passos para teste de desgaste.</i> <i>Contagem da distancia é igual a $X(n+m) - Y(n)$.</i> <i>$(n+m) - (n) =$ intervalos(</i>	(API.18)
$1 < X(n+2) - X(n+1) \leq R \cdot \sin 11^\circ$ <i>Se $> (R \cdot \sin 11^\circ \cdot R) \rightarrow$ outros testes</i>	$0 < Y(n+2) - Y(n+1) \leq (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R)$ <i>Se $> (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) \rightarrow$ outros testes</i> <i>Se $< 0 \rightarrow$ outros testes</i>		(API.19)
Panelas (P)	<i>Ou Buracos</i>	FP=1	
$2R \cdot \sin 11^\circ < X(n+1) - X(n) \leq 4R$ <i>Se $< (2R \cdot \sin 11^\circ) \rightarrow$ outros testes</i>	$-1(R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) > Y(n+1) - Y(n) \geq -1 \cdot (R)$ <i>Se $> -1(R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) \rightarrow$ teste fisura, remendo, outros testes</i> <i>Se $< -1 \cdot R \rightarrow$ sem caracterização</i>		(API.20)
Excorregamento (E)	<i>Elevação $\ll \ll$ passo</i>	FP=1	
$0 < X(n+1) - X(n) \leq R \cdot \sin 30^\circ$ <i>Se $> R \cdot \sin 30^\circ \rightarrow$ outros testes</i> <i>Se $\arctan(Y/X) \leq 7,5^\circ \rightarrow$ rampa, sem caracterização.</i>	$(R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) < Y(n+1) - Y(n) < (R \cdot \cos 30^\circ \cdot R)$ <i>Se $0 < Y < (R \cdot \cos 11^\circ \cdot R) \rightarrow$ teste remendo</i> <i>Se $> (R \cdot \cos 30^\circ \cdot R) \rightarrow$ obstáculo</i> <i>Sem caracterização</i> <i>Se $< 0 \rightarrow$ fissura ou trinca</i>		(API.21)
Remendo (R) ou (RE)		FP=0,6	
$2 \cdot R < X(n+1) - X(n) \leq 10 \cdot R$	$0 < Y(n+1) - Y(n) < (R \cdot \cos 22,5^\circ \cdot R)$ <i>Se $> (R \cdot \cos 22,5^\circ \cdot R) \rightarrow$ outro teste</i>		(API.22)

Tabela A.I.1 Fórmulas de dimensionamento da Norma DNIT elaboradas para esse TCC como forma de mensurar os defeitos subjetivos da Norma DNIT através do arquivos de dados obtidos do perfilômetro

Apendice II

NL Fit (Allometric1) (2/6/2011 18:11:18) **asfalto**

Parameters

		Value	Standard Error
Linear Fit of Y1	a	0.01467	0.00351
	b	-0.5802	0.07474

Iterations Performed = 13
 Total Iterations in Session = 13
 Fit converged - tolerance criterion satisfied.
 Fit Status Code :
 100 : Fit converged

Statistics

	Linear Fit of Y1
Number of Points	99
Degrees of Freedom	97
Reduced Chi-Sqr	0.00186
Residual Sum of Squares	0.18057
Adj. R-Square	0.384
Fit Status	Succeeded(100)

Summary

	a		b		Statistics	
	Value	Error	Value	Error	Reduced Chi-Sqr	Adj. R-Square
Linear Fit of Y1	0.01467	0.00351	-0.5802	0.07474	0.00186	0.384

NL Fit (Allometric1) (2/6/2011 20:52:53) **Cohab**

Notes

Description	NL Fit
User Name	user
Operation Time	2/6/2011 20:52:53
Model	Allometric1
Equation	$y = a \cdot x^b$
Report Status	New Analysis Report

Parameters

		Value	Standard Error
Y2	a	0.00287	9.28769E-4
	b	-1.118	0.03987

Iterations Performed = 33
 Total Iterations in Session = 33
 Fit converged - tolerance criterion satisfied.
 Fit Status Code :
 100 : Fit converged

Statistics

	Gd
Number of Points	181
Degrees of Freedom	179
Reduced Chi-Sqr	4.02728
Residual Sum of Squares	720.88329
Adj. R-Square	0.9442
Fit Status	Succeeded(100)

Summary

	a		b		Statistics	
	Value	Error	Value	Error	Reduced Chi-Sqr	Adj. R-Square
Y2	0.00287	9.28769E-4	-1.118	0.03987	4.02728	0.9442

NL Fit (Allometric1) (2/6/2011 22:02:00) **Chão**

Parameters

		Value	Standard Error
Y3	a	0.00133	7.12478E-4
	b	-1.23212	0.06707

Iterations Performed = 36
 Total Iterations in Session = 36
 Fit converged - tolerance criterion satisfied.
 Fit Status Code :
 100 : Fit converged

Statistics

	Gd
Number of Points	195
Degrees of Freedom	193
Reduced Chi-Sqr	9.81102
Residual Sum of Squares	1893.52743
Adj. R-Square	0.8789
Fit Status	Succeeded(100)

Summary

	a		b		Statistics	
	Value	Error	Value	Error	Reduced Chi-Sqr	Adj. R-Square
Y3	0.00133	7.12478E-4	-1.23212	0.06707	9.81102	0.8789

FIGURA APII.1 - Dados de geração da equação da Curva PSD para Pavimento Asfalto, Cohab e Estrada de Chão