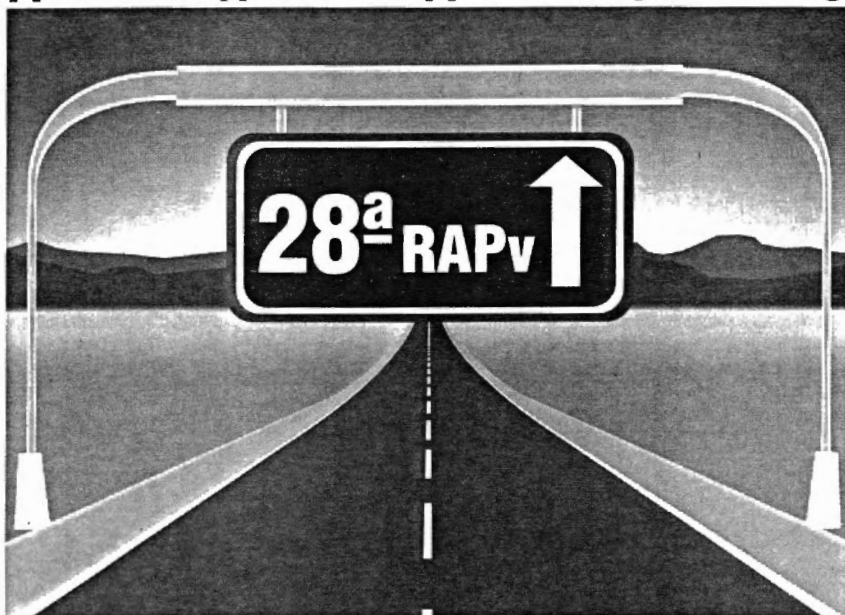


A N A I S



28ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO

DE 29 DE AGOSTO A 02 DE SETEMBRO DE 1994-B.HORIZONTE-MINAS GERAIS



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO

TRANSPORTES
GOVERNO DE  MINAS GERAIS

V O L U M E I

Código USP: 312.00.00-5

ÍNDICE

VOLUME 1

1ª SESSÃO TÉCNICA:

ESTUDOS GEOTÉCNICOS, MATERIAIS E DRENAGEM

- 1.01 - ATENDÊNCIA ATUAL NOS ESTUDOS DE ESTABILIZAÇÃO DE
ENCOSTAS RODOVIÁRIAS - UM ALERTA E SUGESTÕES.....14
Cláudio Ivanof Lucarevski
Yoman Bittencourt
Deise Povill de Menezes
Ademir Matos Paula
- 1.02 - UMA CONTRIBUIÇÃO GEOTÉCNICA SOBRE BASE PEDOLÓGICA
DE ALGUNS SOLOS DE LAVRAS-MG.....26
Cornélio Zampier Teixeira
Hélcio Andrade
- 1.03 - PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO DA ALTERABILIDADE
DE **ROCHAS**.....48
Ely Borges Frazão
Fernando Augusto Júnior
- 1.04 - CARACTERÍSTICAS DE ALTERABILIDADE DE BASALTOS DA
FORMAÇÃO ARAPEY/NOROESTE DO URUGUAI.....85
Ely Borges Frazão
Mirian Cruxên Barros de Oliveira
Fernando Augusto Júnior
- 1.05 - AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE BASALTOS
ALTERADOS DO RIO GRANDE DO SUL PARA USO EM
PAVIMENTOS DE BAIXO CUSTO.....113
Gilnei Pestamo Arnold
Jorge Augusto Ceratti
José Augusto de Oliveira
Marco Aurélio de E. Azambuja
- 1.06 - COMENTÁRIOS SOBRE O DESEMPENHO DE ALGUMAS ROCHAS
DE INTERESSE RODOVIÁRIO EM FUNÇÃO DA SUA COMPOSIÇÃO
MINERALÓGICA.....129
Eduardo de Souza Fernandes
Felippe Augusto Aranha Domingues
- 1.07 - CARACTERIZAÇÃO DA FRAÇÃO FINA DE SOLOS TROPICAIS
ATRAVÉS DA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO.....157
Glauco Túlio Pessa Fabbri
Manoel Henrique Alba Sória
- 1.08 - AMPLIAÇÃO DO USO DA METODOLOGIA MCT NO ESTUDO DE
SOLOS TROPICAIS PARA PAVIMENTAÇÃO.....184
Job Shuji Nogami
Douglas Fadul Villibor

- 1.09 - TRÊS ESTUDOS DE ENSAIOS DINÂMICOS USADOS COMO FATOR DE DECISÃO NA ESCOLHA DE MATERIAIS EM PAVIMENTAÇÃO....210
 Laura Maria Goretti da Motta
 Salomão Pinto
- 1.10 - UM MÉTODO PARA A DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DE UM REVESTIMENTO TIPO TRATAMENTO SUPERFICIAL EXECUTADO EM MULTICAMADAS.....230
 Carlos Augusto Costa
 Solange Bastos Costa
- 1.11 - USO DE ESCÓRIA DE ACIARIA EM PAVIMENTAÇÃO VIÁRIA.....261
 Eudier Antônio da Silva
- 1.12 - UMIDADE DE EQUILÍBRIO DE RODOVIAS PAVIMENTADAS SITUADAS NO LITORAL E MATA NO ESTADO DA PARAÍBA.....284
 Francisco Barbosa de Lucena
 Francisco Edmar Brasileiro
 Teotônio A. Sobrinho
- 1.13 - NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO À ENGENHARIA RODOVIÁRIA NEP-SERE....296
 Aldemir Matos de Paula
 Ana Maria Rodrigues Gonçalves
 Cláudio Ivanof Lucarevski
 Deise Povill de Menezes
 Ivan Conceição
 Marco Antônio Nunes Fonseca
 Raymundo Carlos de Montalvão Barreto
 Regina Célia Suzano Avena
 Yoman Bittencourt

2ª SESSÃO TÉCNICA:

CONTROLE DE QUALIDADE E CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS

- 2.01 - RESTAURAÇÃO DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM 15°33' DO AEROPORTO INTERNACIONAL DO RIO DE JANEIRO (AIRJ) COM A UTILIZAÇÃO DE GEOTÊXTIL NÃO TECIDO.....302
 Severino Marques Fernandes Filho
 Laerte Guião Maroni
 Paulo Eduardo Rodrigues
- 2.02 - REVESTIMENTO ASFÁLTICO COM CAP-20 ORIUNDO DE PETRÓLEO MARLIM FEITO NA RODOVIA DOS BANDEIRANTES.....304
 Alessandra C. Zanetoni
 Alfredo M. de Castro Neto
 Henriqueta G. Porto
 Laura G. Motta
 Leni F. M. Leite
 Otávio de Souza Campos
 Oziel Marques de Aquino
 Rômulo Constantino

2.03 -	INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DOS CORPOS DE PROVA NOS RESULTADOS DO ENSAIO MARSHALL	317
	Vladimir Coelho Manoel Henrique Alba Sória	
2.04 -	PROPOSIÇÃO DE MÉTODO DE DOSAGEM MARSHALL PARA MISTURAS BETUMINOSAS TIPO CBUQ	349
	Cristiano Costa Moreira	
2.05 -	INTERDEPENDÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MISTURAS BETUMINOSAS TIPO CBUQ	363
	Cristiano Costa Moreira	
2.06 -	MANUAL DE CONTROLE TECNOLÓGICO DO CBUQ	374
	Marcílio Augusto Neves Geovani de Oliveira Costa	
2.07 -	AValiação DA RESISTÊNCIA À DERRAPAGEM NAS RODOVIAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO	385
	Firmino Sávio Vasconcellos de Souza Marcílio Augusto Neves Rodrigo Magalhães de Vasconcellos Barros	
2.08 -	MATERIAIS PARA PAVIMENTOS SOBRE PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS	409
	Magda Lutterbach Lopes da Silva Felippe Augusto Aranha Domingues	
2.09 -	NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE - UM FATOR DE DESENVOLVIMENTO	425
	Cláudio Ivanof Lucarevski Ivan Conceição Alayr Malta Falcão Guioberto Vieira de Resende	
2.10 -	PROPOSTA PARA AVALIAÇÃO DA FASE DE DESENVOLVIMENTO DA QUALIDADE TOTAL EM EMPRESAS LIGADAS À PAVIMENTAÇÃO	432
	Rita Moura Fortes Alexandre Zuppoline Neto João Virgílio Merighi Felippe Augusto Aranha Domingues	

3ª SESSÃO TÉCNICA:

PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

3.01 -	ESTUDO DE TENSÕES OCORRENTES EM PAVIMENTOS URBANOS POUCO ESPESSOS	460
	Cássio Eduardo Lima de Paiva Creso de Franco Peixoto	

3.02 -	ESTUDO COMPARATIVO DE EFEITOS DO TIPO DE RODAGEM E DO TIPO DE SUSPENSÃO SOBRE O DESEMPENHO DOS PAVIMENTOS.....	476
	José Leomar Fernandes Júnior Manoel Henrique Alba Sória João Alexandre Widner	
3.03 -	METODOLOGIAS BRASILEIRAS PARA AVALIAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS E ESTRUTURAIS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS - O ESTADO DA ARTE.....	501
	Paulo Romeu Assunção Gontijo Flávio Hannas Resende Guimarães Camilo de Lellis Nogueira	
3.04 -	UMA NOVA METODOLOGIA PARA AUSCULTAÇÃO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS.....	530
	Paulo Romeu Assunção Gontijo Flávio Hannas Resende Guimarães Camilo de Lellis Nogueira	
3.05 -	UTILIZAÇÃO DE ENSAIOS DEFLETOMÉTRICOS E DE LABORATÓRIO PARA A AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS.....	595
	Jacques Medina José Afonso Gonçalves de Macedo Laura Maria Goretti da Motta Cláudio Angelo Valadão Albernaz	
3.06 -	RETROANÁLISE DOS MÓDULOS DE RESILIÊNCIA DE PAVIMENTO FLEXÍVEL E DO SUBLEITO PARA FINS DE ANTEPROJETO, ANÁLISE ESTRUTURAL E GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	626
	Cláudio Angelo Valadão Albernaz	
3.07 -	MÉTODO SIMPLIFICADO DE RETROANÁLISE EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	658
	João Menescal Fabrício Genésio de Almeida Silva Edmar Azevedo Gonçalves Prepredigna D. E. Almeida Silva Olavo Falabella Fabrício	
3.08 -	RECICLAGEM DO PAVIMENTO DA MG-050 COMO ALTERNATIVA ECONÔMICA DE RESTAURAÇÃO.....	683
	Maria Ângela Jabor Ferreira Marcílio Augusto Neves Firmino Sávio Vasconcellos de Souza Rodrigo Magalhães de Vasconcellos Barros Petrúcio Lima e Silva	
3.09 -	ASPECTOS SOBRE ALGUNS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE CAMADAS DE REFORÇO DE PAVIMENTO.....	714
	Genésio de Almeida Silva Felippe Augusto Aranha Domingues	

VOLUME 2

4ª SESSÃO TÉCNICA: PAVIMENTOS RÍGIDOS E SEMI-RÍGIDOS

4.01 -	FISSURAS, TRINCAS E ESBORCINAMENTO EM PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	751
	Felippe Augusto Aranha Domingues	
4.02 -	DEFICIÊNCIAS DE JUNTAS, DEFEITOS DE SUPERFÍCIE, REPAROS DE BURACOS E OUTROS DEFEITOS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	784
	Felippe Augusto Aranha Domingues	
4.03 -	A QUESTÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL NOS PAVIMENTOS RÍGIDOS	830
	Marcos Dutra de Carvalho	
	Abdo Hallack	
	Felippe Augusto Aranha Domingues	
4.04 -	ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO ROLADO COMO CAMADA INFERIOR DE PAVIMENTO COMPOSTO: AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA	868
	Reginaldo Antônio Silpi	
	João Carlos de Magalhães Gomes	
	Silvia Regina Rabaça	
	Dalter Pacheco Godinho	
4.05 -	PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS DE CONCRETO COMPACTADO ROLADO	897
	Glibério Trichês	
4.06 -	COMPORTAMENTO NA FADIGA DE MISTURAS DE CONCRETO COMPACTADO A ROLO PARA PAVIMENTAÇÃO.....	920
	Glibério Trichês	
4.07 -	METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS QUE CONTENHAM CAMADA DE CONCRETO COMPACTADO A ROLO	944
	Glibério Trichês	
4.08 -	DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS COM BASE CIMENTADA E REVESTIMENTO DE BLOCOS PRÉ-MOLDADOS SUBMETIDA A CARGAS ESPECIAIS	959
	Luiz P. V. Andreolini	
4.09 -	CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DO DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS	979
	Laura Maria Goretti da Motta	
	Marco Paulo Rabello Neto	

- 4.10 - O EMPREGO DO CONCRETO ARMADO COM FIBRAS DE AÇO
NA PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA.....1013
Fernando José Teixeira Filho
Dalter Pacheco Godinho
Marcos Dutra de Carvalho
Fernando Marchetti

5ª SESSÃO TÉCNICA:

CONSERVAÇÃO, ANÁLISE ECONÔMICA E GERÊNCIA DE PAVIMENTOS

- 5.01 - O PROGRAMA EMERGENCIAL PARA CAPACITAÇÃO DE PESSOAL
DO DNER.....1036
Cláudio Ivanof Lucarevski
Ivan Conceição
Raymundo C. de Montalvão Barreto
Roberto Paz Ferreira de Freitas
Paulo Gorresen
- 5.02 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE DOIS MÉTODOS DE
AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL.....1048
Fábio Quintela Fortes
Manoel Henrique Alba Sória
Douglas Fadul Villibor
- 5.03 - A SERVENTIA DOS PAVIMENTOS.....1065
Jorge Flamarion Vasconcelos
Mirandir Dias da Silva
Silvio Figueiredo Mourão
- 5.04 - DEFEITOS DE PAVIMENTOS DE BAIXO CUSTO E SUA
CONSERVAÇÃO.....1098
Douglas Fadul Villibor
Fábio Quintela Fortes
Job Shuji Nogami
- 5.05 - CONSIDERAÇÕES SOBRE O FINANCIAMENTO E GESTÃO
DA CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA.....1127
Mário Henrique Furtado Andrade
Felippe Augusto Aranha Domingues
- 5.06 - CUSTOS COMPARATIVOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS E
FLEXÍVEIS EM ÁREAS CRÍTICAS DE SOLICITAÇÃO DE
TRÁFEGO.....1145
Marcos Dutra de Carvalho
Luiz Carlos Grossi
Marcelo Braga Ignatti

5ª SESSÃO TÉCNICA
TRABALHO Nº 5.02

**COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE DOIS MÉTODOS
DE AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL**

Fábio Quintela Fortes
Manoel Henrique Alba Sória
Douglas Fadul Villibor

28ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO
29 de agosto a 2 de setembro de 1994 - Belo Horizonte

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS
DE DOIS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO
DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

Autores:

FÁBIO QUINTELA FORTES ¹
MANOEL H. ALBA SÓRIA ²
DOUGLAS FADUL VILLIBOR ²

Endereços:

1 Prefeitura Municipal de Araraquara
R. São Bento, 840
14801-901 - Araraquara-SP

2 Escola de Engenharia de São Carlos - USP
Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
13560 - São Carlos-SP

0885569

SYSNO 0885569
PROD 003035

COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE DOIS MÉTODOS
DE AVALIAÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL

FÁBIO QUINTELA FORTES
MANUEL H. ALBA SÓRIA
DOUGLAS FADUL VILLIBOR

RESUMO

O trabalho apresenta uma análise comparativa entre os valores da irregularidade longitudinal levantados em trechos de rodovias vicinais do estado de São Paulo obtidos através do método Nível e Mira e do MERLIN. São abordados os fundamentos básicos de cada método e efetuadas correlações estatísticas entre os resultados de ambos os métodos. Concluiu-se que os resultados estão fundamentalmente relacionados ao comprimento de onda que envolve cada método.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem o objetivo básico de apresentar uma análise comparativa de resultados obtidos por dois procedimentos de avaliação de irregularidade longitudinal, em trechos de rodovias vicinais do estado de São Paulo.

Os dados de levantamentos de campo foram extraídos de dissertação de Mestrado [Fortes-94] apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da USP, que procurou quantificar através da irregularidade longitudinal o estado de deterioração de pavimentos de baixo custo, em função de cada tipo específico de defeito que o pavimento apresentava.

No desenvolvimento da pesquisa não houve disponibilidade de utilização de equipamentos medidores de irregularidade "tipo integradores", de alta produtividade. Na busca de procedimentos acessíveis que permitissem a avaliação da irregularidade longitudinal foram utilizados o Método Nível e Mira do DNER [Queiroz-81], e o *Machine for Evaluating Roughness Using Low-Cost Instrumentation* (MERLIN) proposto pelo TRRL da Inglaterra [Cundill-86].

Tanto o "Nível e Mira" quanto o "MERLIN", têm produtividade muito baixa em relação aos sistemas "tipo integradores" ou "resposta" que são montados em veículos e podem medir em velocidades compatíveis com o fluxo normal do tráfego.

O método "Nível e Mira", foi elaborado com base em dados levantados na pesquisa do GEIPOT no Brasil, com o objetivo de obter, através do perfil de nivelamento topográfico dos pavimentos, um padrão de irregularidade longitudinal estável e reprodutível, semelhante ao fornecido pelo Perfilômetro Dinâmico.

O MERLIN, *Machine for Evaluating Roughness Using Low-Cost Instrumentation*, [Cundill-86] foi desenvolvido com base na *International Road Roughness Experiment* (IRRE), realizado em Brasília em 1982. Nesse Experimento o TRRL utilizou o *TRRL Abay Beam*, um equipamento de medida contínua do perfil longitudinal utilizado para calibração de equipamentos tipo resposta. Sobre os perfis contínuos que geraram a irregularidade na escala *International Roughness Index* (IRI), Cundill simulou procedimentos simples, para se avaliar a irregularidade. Estabeleceu um sistema com três pontos de apoio equidistantes e alinhados sobre a superfície do pavimento, ao longo da seção a ser avaliada, que fornece o desvio da superfície no ponto médio.

O MERLIN foi introduzido no Brasil por Heyn [Heyn-87], tendo sido utilizado para calibração de equipamentos de medição de irregularidade tipo resposta e no monitoramento de desempenho de trechos experimentais de pesquisa do DER-PR. A simplicidade do MERLIN e o seu baixo custo, permitiu a construção de um protótipo do equipamento, que foi utilizado neste trabalho.

A análise comparativa que aqui se apresenta baseou-se nas correlações entre os diversos resultados obtidos pelos dois procedimentos utilizados e nos fundamentos básicos que envolvem ambos os métodos.

2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

2.1 Medidores de irregularidade tipo integradores

Os medidores de irregularidade tipo integradores são montados em veículos do tipo automóvel de passeio ou em carretas rebocáveis que tenham um sistema de peso, molas e amortecedores similares aos

automóveis. Fazem o somatório dos movimentos relativos entre a carroceria e o eixo das rodas. A saída ou resposta de tais aparelhos é dada em distância acumulada por distância percorrida, que reflete os movimentos impostos à carroceria do veículo pela irregularidade do pavimento, afetados por todas as características dinâmicas do veículo e sua operação: peso, velocidade, molas, amortecedores, pneus, etc. A partir dessa medida que é adimensional, podem ser estimados por expressões de calibração, o coeficiente de irregularidade (QI) e o International Roughness Index (IRI). Os integradores, devido à sua simplicidade e velocidade de operação são, atualmente, os aparelhos mais recomendáveis para medidas de irregularidade.

Os métodos de Nível e Mira e MERLIN são métodos geométricos e não dinâmicos como os integradores. Servem para levantamentos de calibração ou de pequenas extensões, como no caso de trechos experimentais e/ou de pesquisas específicas, ou ainda quando os integradores forem inacessíveis.

2.2 Método Nível e Mira

Este método adota como escala padrão de irregularidade o Quociente de Irregularidade (QI), expresso em "contagens/km". Segundo esse procedimento, a irregularidade é obtida através do nivelamento topográfico detalhado das trilhas de roda em cada faixa, interna e externa, com espaçamento de 50cm entre as leituras. Com os valores das cotas desse perfil são calculadas as Acelerações Verticais Média Quadrática referentes às distâncias de base de 1,0m e 2,5m, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$VA_b = \sqrt{\sum_{i=k+1}^{n-k} \frac{(SB_i)^2}{n-2k}}$$

$$k = \frac{b}{s}$$

$$SB_i = \frac{Y_{i+k} - 2Y_i + Y_{i-k}}{(ks)^2}$$

onde:

- Y_i = cota em (mm) da superfície do pavimento no ponto i;
- VA_b = aceleração vertical média quadrática em (mm/m²) com distância de base b;

- b = distância de base em (m), no caso, 1,0m ou 2,5m;
 n = número de cotas levantadas;
 s = distância em (m) entre duas cotas consecutivas.

O Quociente de Irregularidade de cada trilha de roda é obtido então pela seguinte fórmula:

$$QI = - 8,54 + 6,17 VA_{1,0} + 19,38 VA_{2,5}$$

onde:

$VA_{1,0}$ = aceleração vertical média quadrática com distância de base de 1,0 m;

$VA_{2,5}$ = aceleração vertical média quadrática com distância de base de 2,5 m.

O Quociente de Irregularidade do trecho é a média aritmética dos QIs das trilhas de roda interna e externa.

Das equações acima, vemos que o QI é uma função de dois parâmetros, o $VA_{1,0}$ e o $VA_{2,5}$. Estes parâmetros por sua vez são função de uma média geométrica dos valores de SB_i . A equação dos SB_i pode ser desenvolvida conforme a seguir:

$$SB_i = \frac{Y_{i+k} - 2Y_i + Y_{i-k}}{(ks)^2} = \frac{2}{(ks)^2} \times \left(\frac{Y_{i+k} + Y_{i-k}}{2} - Y_i \right)$$

O segundo termo da última equação nada mais é do que a fórmula do desvio do ponto médio, ou seja:

$$\left(\frac{Y_{i+k} + Y_{i-k}}{2} - Y_i \right) = \text{Desvio do Ponto Médio}$$

Logo, como "k" e "s" são constantes ao longo do cálculo para um comprimento de base definido, podemos dizer que:

$$SB_i = f (\text{Desvio do Ponto Médio})$$

ou, para um mesmo comprimento de base:

$$SB_i = \text{Constante} \times \text{Desvio do Ponto Médio}$$

Como VA_y é uma média desses valores, podemos afirmar que:

$$VA_y = f (\text{Média dos Desvios dos Pontos Médios})$$

e como o QI é uma soma ponderada de dois valores de VA_y , temos, finalmente, que:

$$QI = f (\text{Média dos Desvios dos Pontos Médios})$$

A figura 1 ilustra esquematicamente essa relação para

comprimentos de base de 1,0 e 2,5m, que são os dois comprimentos envolvidos na fórmula do QI. Conforme figura 1, o comprimento de base, em termos práticos, corresponde aproximadamente à metade do comprimento de onda. Dessa forma, geometricamente, podemos afirmar que o QI, avaliado através do método Nível e Mira, está relacionado diretamente aos desvios da superfície do pavimento no ponto médio, para comprimentos de onda de 2,0m e de 5,0m.

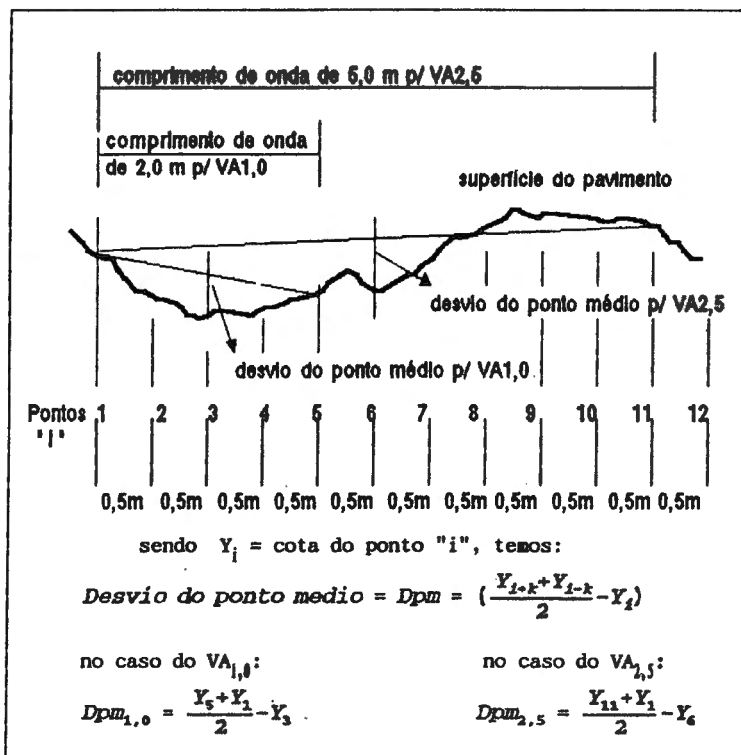


Figura 1 - Esquema de medição do desvio do ponto médio para o método Nível e Mira.

2.3 MERLIN

O MERLIN avalia diretamente, para um espaçamento de 0,9m entre três pontos de apoio, qual a distância vertical do ponto médio à linha reta que une os dois pontos extremos, como ilustra a figura 2.

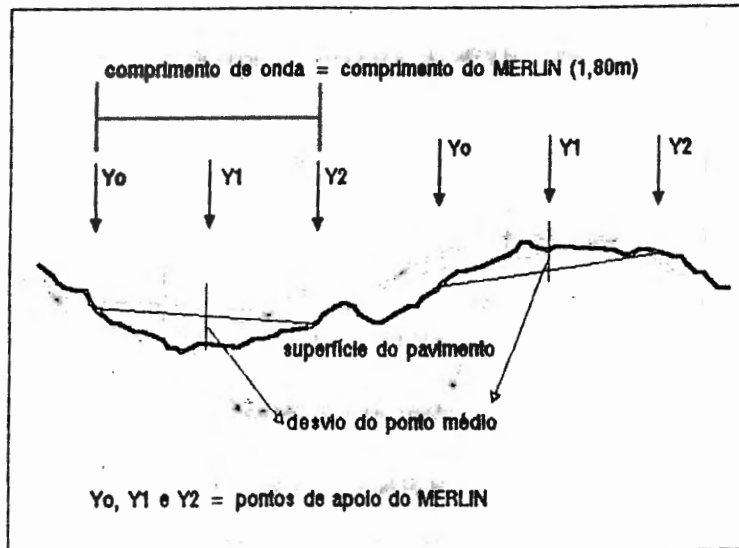


Figura 2 - Esquema de medição do desvio do ponto médio utilizado por Cundill.

Se Y_0 , Y_1 e Y_2 são as cotas dos três pontos alinhados, essa distância que corresponde geometricamente ao desvio do ponto médio,

seria:
$$d = Y_1 - [0,5 \times (Y_2 - Y_0)] = (Y_1 - \frac{Y_2 + Y_0}{2})$$

Posicionando os três pontos sucessivamente ao longo dos perfis contínuos a espaçamentos definidos, obtém-se cerca de 200 valores de "d" para cada seção. Os 200 valores de "d" plotados em histogramas de dispersão com intervalos de 5mm para cada determinação, conforme figura 3, permite se obter um valor "D", usando um processo de contagem de um certo número de observações de cada extremidade da distribuição e determinando-se a distância em milímetros entre os pontos finais de cada contagem.

Portanto esse valor "D" em mm, é diretamente proporcional à maior ou menor dispersão dos valores dos desvios do ponto médio, ou seja, quanto maior os valores dos desvios maior o valor de "D" e vice versa.

Em resumo, geometricamente, podemos afirmar que o "D", avaliado através do MERLIN, está relacionado diretamente com os desvios da superfície do pavimento no ponto médio, para comprimentos de onda de 1,8m.

SEÇÃO 07
 TRILHA DE NS
 RODA
 DATA 12.6.90
 POR _____

CONTROLE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

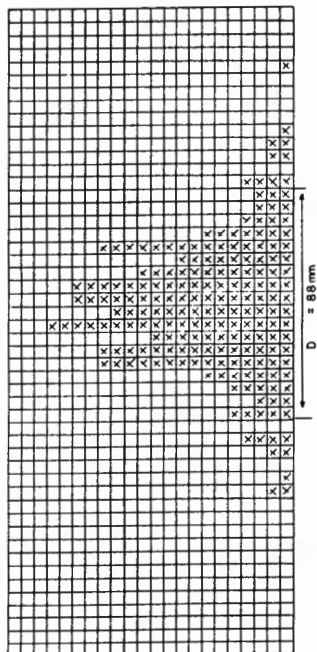


Figura 3 - Histograma de dispersão dos valores obtidos pelo MERLIN.
 Fonte [Cundill-91].

3 LEVANTAMENTOS DE CAMPO e RESULTADOS

Os levantamentos com o Nível e Mira foram executados num total de 38 segmentos considerando-se separadamente trilha interna e externa, com extensões em torno de 160m gerando em média 320 pontos em cada seção e um total de cerca de 12.160 pontos para todos os segmentos levantados.

SEÇÕES	VA1,0 mm/m ²	VA2,5 mm/m ²	QI cont/km	D ₉₀ mm
CATEL1EI	5,61	1,48	54,66	82,50
CATEL1EE	9,79	2,91	108,30	139,50
CATEL2EI	4,11	1,17	39,39	58,67
CATEL2EE	13,29	2,93	130,16	193,00
CATEL3EI	5,59	1,65	57,91	85,00
CATEL3EE	7,85	2,24	83,21	113,75
CATCA1DI	12,56	1,54	98,72	205,00
CATCA1DE	15,39	1,66	118,67	271,63
RVIVE1EI	8,67	1,42	72,44	134,75
RVIVE1EE	8,27	1,55	72,44	140,42
BÉBVI1EI	10,97	2,03	98,42	219,90
BEBVI1EE	9,06	2,00	86,06	128,13
POTBA1DI	7,22	1,32	61,55	145,00
POTBA1DE	4,83	1,16	43,73	83,75
RAROB1DI	4,60	0,92	37,64	74,50
RAROB1DE	4,59	1,07	40,46	-
RARO1DEN	4,93	1,07	42,66	78,75
PALPA1DE	7,17	1,88	72,20	110,50
PALPA1DI	5,96	1,63	59,76	76,74
PALPA2DE	8,91	1,97	84,95	92,08
PALPA2DI	5,58	1,31	51,29	98,00
ALTRG1EE	6,78	3,36	98,30	-
SP3101DI	4,50	1,60	50,26	66,25
SP3101DE	4,04	1,40	43,59	52,22
SP3102DI	2,93	0,97	28,34	40,90
SP3102DE	3,64	0,83	30,07	144,84
DOISC0DI	8,28	1,42	70,06	159,50
DOISC0DE	10,55	1,79	91,24	45,52
DOISC1DI	4,52	0,84	35,63	51,11
DOISC1DE	4,86	1,03	41,42	97,47
DOISC3DI	6,25	1,44	57,91	135,98
DOISC3DE	7,32	1,59	67,48	78,67
DOISC4DI	6,41	1,11	52,44	91,17
DOISC4DE	5,82	1,10	48,62	121,75
DOISC5DI	8,79	1,42	73,27	72,92
DOISC5DE	5,21	0,92	41,40	110,25
DOISC7DI	7,88	1,46	68,29	104,17
DOISC7DE	6,83	1,40	60,70	40,38

Tabela 1 - Resultados dos levantamentos de campo.

Os dados dos levantamentos de campo foram armazenados em bancos de dados para possibilitar a sua posterior análise com rapidez e precisão. As fórmulas foram programadas em computador permitindo a sua aplicação automática sobre o banco de dados de cada seção, obtendo-se gráficos com o perfil topográfico e os respectivos valores de QI para cada seção.

Os levantamentos com o MERLIN foram executados em 36 dos 38 segmentos levantados com o Nível e Mira, considerando-se também separadamente trilha interna e externa.

A tabela 1 apresenta os resultados de todas as seções em que foram executados os levantamentos. Nessa tabela são apresentados os valores dos VA_{1,0}, VA_{2,5} e QI obtidos com o Nível e Mira, e os respectivos D obtidos com o MERLIN para cada seção.

Na tabela 1, as seções são identificadas por siglas onde as primeiras letras correspondem às iniciais dos trechos; o número corresponde à ordem do segmento levantado no mesmo trecho, a penúltima letra corresponde à faixa de tráfego que foi levantada, direita ou esquerda e, a última letra corresponde à trilha de roda, interna ou externa. Dessa forma, CATEL1EI, corresponde ao 1º segmento do trecho Catanduva - Elisiário, faixa da esquerda, trilha de roda interna.

Com base nos dados da tabela 1, foram desenvolvidas análises de correlação através de regressão linear entre todos os valores obtidos pelo método Nível e Mira e pelo MERLIN. A tabela 2 apresenta os coeficientes de determinação (R^2) obtidos, considerando-se apenas as seções em que foram executados levantamentos pelos dois procedimentos e, a tabela 3 apresenta os coeficientes de determinação para todas as seções incluindo as que não foram executados levantamentos com o MERLIN.

	QI(cont/km)	VA _{1,0} (mm/m ²)	VA _{2,5} (mm/m ²)	D(mm)
QI(cont/km)	1,000	0,918	0,723	0,775
VA _{1,0} (mm/m ²)		1,000	0,440	0,894
VA _{2,5} (mm/m ²)			1,000	0,316
D(mm)				1,000

Tabela 2 - Coeficientes de determinação (R^2) para os 36 levantamentos executados pelo Nível e Mira, e MERLIN.

	QI (cont/km)	VA _{1,0} (mm/m ²)	VA _{2,5} (mm/m ²)
QI (cont/km)	1,000	0,867	0,677
VA _{1,0} (mm/m ²)		1,000	0,313
VA _{2,5} (mm/m ²)			1,000

Tabela 3 - Coeficientes de determinação (R^2) para os 38 levantamentos pelo Nível e Mira.

Na tabela 2 observa-se um valor do coeficiente de determinação (R^2) de 0,775 entre o QI do Nível e Mira e o D do MERLIN, inferior a 0,8 que é o limite de aceitação da equação de ajustamento adotada pelo DNER para calibração de sistemas medidores de irregularidade, conforme [DNER-PRO 164-85]. A figura 4 ilustra o quanto o D prediz os valores do QI, demonstrando que existe uma certa dispersão dos pontos, e apresenta a reta e a equação de correlação.

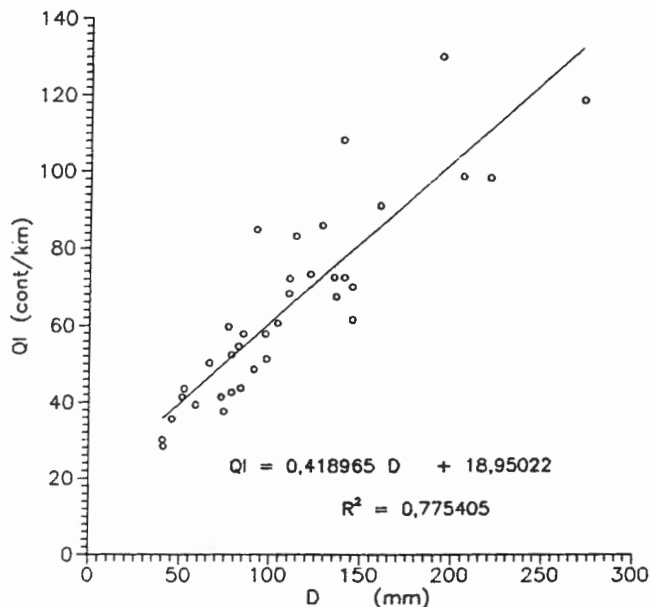


Figura 4 - Correlação entre os valores obtidos do QI e D.

Se analisarmos os demais valores dos coeficientes de determinação referentes ao D, observamos que o valor é maior na correlação com o VA_{1,0}, atingindo 0,894, e muito baixo na correlação

Com o VA2,5, apenas 0,316, mostrando que praticamente não existe relação entre as variáveis. As figuras 5 e 6 apresentam os gráficos dessas correlações e as respectivas equações.

Esses resultados dos coeficientes de determinação podem ser justificados se analisarmos os comprimentos de base ou de onda que envolve cada um dos procedimentos de medida da irregularidade.

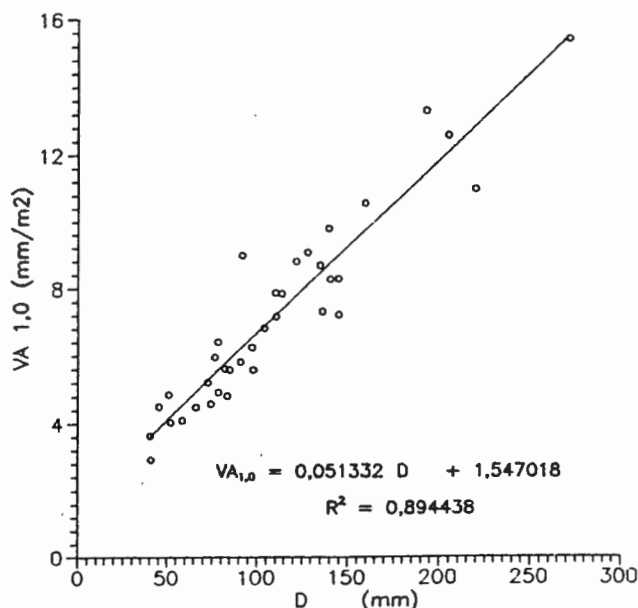


Figura 5 - Correlação entre os valores obtidos do VA1,0 e D.

Pelo fato do MERLIN ter um comprimento de 1,80m, ele mede os desvios do pavimento referentes a um comprimento de onda de 1,80 que corresponde ao dobro do comprimento de base que seria de 0,9m. Esse valor de comprimento de base é muito próximo do comprimento de base de 1,00m utilizado no cálculo do VA1,0 e muito diferente do 2,50m utilizado no cálculo do VA2,5. Este fato justifica uma melhor correlação do D com o VA1,0 uma vez que se está medindo desvios do pavimento para comprimentos de base muito próximos, ou estaria-se medindo geometricamente praticamente a mesma coisa.

Já no caso do VA2,5, devido a grande diferença dos comprimentos de onda, nada garantiria que, na prática, quanto maior os desvios para comprimentos de onda de 1,80m, implicariam maiores desvios para comprimentos de onda de 5,0m. Portanto, na prática, não haveria qualquer motivo para haver uma boa correlação, haja vista o valor também apresentado na tabela 2, do coeficiente de determinação de 0,440 para a correlação entre o VA1,0 e o VA2,5, ambos calculados com base no nivelamento geométrico. O valor extremamente baixo desse coeficiente comprova que na amostragem em questão, não existe uma boa correlação entre desvios do pavimento para os comprimentos de onda de 2,0m e 5,0m.

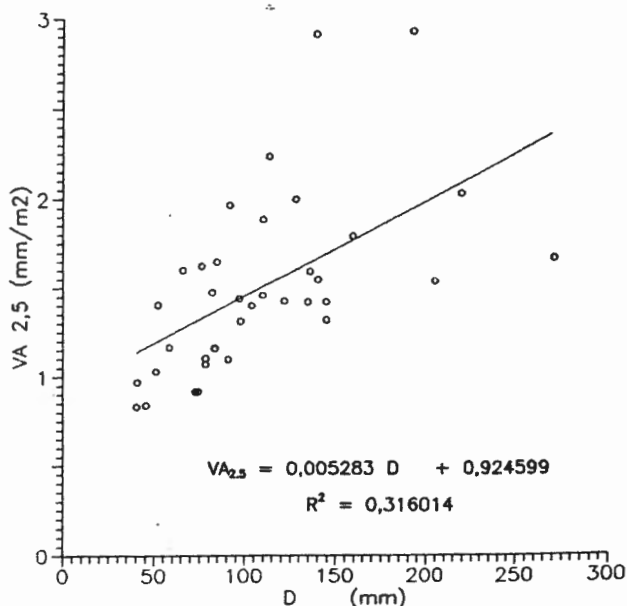


Figura 6 - Correlação entre os valores obtidos do VA2,5 e D.

A figura 7 ilustra o nível de correlação entre o VA1,0 e o VA2,5, além de apresentar a reta e a equação de correlação.

Como o cálculo do QI leva em consideração os dois fatores, VA1,0 e VA2,5, com um peso maior para o VA1,0 tendo em vista o seu maior valor do coeficiente de determinação em relação ao QI conforme tabelas 2 e 3, era de se esperar que o nível de correlação entre o QI e o D seria um valor intermediário entre a correlação do VA1,0 com o D e do VA2,5 com o D.

(1,8m e 5,0m respectivamente).

Em função da característica geométrica própria que cada tipo de ocorrência de deterioração acarreta ao perfil da superfície do pavimento, os comprimentos de onda em torno de 5,0m podem ser mais significativos que os de 2,0m. Dessa forma, os valores do QI, que leva em consideração o comprimento de onda de 5,0m, tendem a ser relativamente superiores aos valores do MERLIN, que leva em consideração apenas o comprimento de onda de 1,80m. Da mesma forma, em perfis em que o comprimento de onda de 2,0m passa a ser mais significativo do que o comprimento de 5,0m, os valores do MERLIN são relativamente superiores.

Devido a esses aspectos, conclui-se que o nível de correlação entre o Nível e Mira e o Merlin depende fundamentalmente das características geométricas dos segmentos envolvidos na amostragem. Para um determinado elenco de segmentos a correlação entre ambos os métodos pode até ser boa.

O MERLIN se mostrou prático devido a simplicidade e baixo custo do equipamento, que dispensa mão de obra especializada, e facilita a aquisição dos dados de campo e posterior processamento em escritório. O fato de medir irregularidades com apenas um comprimento de onda é certamente uma restrição, mas o aparelho pode ser utilizado desde que se leve em conta essa limitação.

Referências Bibliográficas

- [Cundill-86] CUNDILL, M. - "*MERLIN, a Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation*", Transport and Road Research Laboratory-Inglaterra, 1986.
- [Cundill-91] CUNDILL, M. - "*The MERLIN low-cost road roughness measuring machine*", Transport and Road Research Laboratory-Inglaterra, 1991. (Research Report 301)
- [DNER-PRO 164-85] Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - "*Calibração e Controle de Sistemas Medidores de Irregularidade Tipo Resposta*", Procedimento DNER-PRO 164-85, 1985.
- [Fortes-94] FORTES, F.Q. - "*Pavimentos de Baixo Custo: Considerações sobre seus Defeitos e Propostas de Conservação e Recuperação*", São Carlos, 1994. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos/USP.
- [Heyn-87] HEYN, A.T. - "*MERLIN - Equipamento simples para avaliação de irregularidade longitudinal*". In: 22ª Reunião Anual de Pavimentação-Maceió/AL. Anais. v.1, p.159-174, 1987.
- [Queiroz-81] QUEIROZ, C.A.V. - "*Performance Prediction Models for Pavement Management in Brazil*", Austin, 1981. PhD. Dissertation-The University of Texas at Austin USA.

5ª SESSÃO TÉCNICA
TRABALHO Nº 5.03

A SERVENTIA DOS PAVIMENTOS

Jorge Flamarion Vasconcelos
Mirandir Dias da Silva
Silvio Figueiredo Mourão

28ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO
29 de agosto a 2 de setembro de 1994 - Belo Horizonte