

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO EDUCACIONAL DE ENGENHARIA PARA
O DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS PELO MÉTODO DO DNER**

⁽¹⁾ Caio César Silva e Souza

⁽²⁾ Lucas Martins Guimarães

⁽¹⁾ Estudante de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

⁽²⁾ Professor Adjunto do curso de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

Presidente da Banca: Lucas Martins Guimarães

Membro 1: Frederico Carlos Martins de Menezes Filho

Membro 2: Ana Luiza Ferreira Costa Mendes

07 de Fevereiro de 2018

RESUMO: É apresentado nesse artigo o desenvolvimento de um aplicativo computacional na linguagem VB.NET, para o auxílio didático de ensino do dimensionamento de pavimentos flexíveis, de acordo com o método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagens - DNER. A idealização foi motivada para substituir a rotina de cálculos para dimensionar pavimentos flexíveis, sem a utilização de ábacos e planilhas eletrônicas. O aplicativo oferece resultados rápidos e concisos, que possibilitam a determinação das espessuras dos pavimentos, em função dos parâmetros dos materiais utilizados na sua construção, de maneira a avaliar várias alternativas rapidamente, evitando cálculos repetitivos. O programa computacional conta também com aplicativos complementares de cálculo do número “N” de eixos padrões, classificação granulométrica Transportation Research Board - TRB e correção granulométrica pelo método analítico, para a mistura de até quatro materiais, que são parâmetros também utilizados nos cálculos de dimensões de pavimentos. Com os resultados obtidos, pode-se gerar um relatório, que contempla todos os parâmetros utilizados, e os resultados finais.

PALAVRAS-CHAVE: aplicativo, dimensionamento, DNER, flexível, pavimento, VB.NET.

**DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL ENGINEERING APPLICATION FOR THE
DIMENSIONING OF FLEXIBLE PAVEMENTS BY THE DNIT METHOD**

ABSTRACT: This paper presents the development of a computational application in the VB.NET language for teaching aid in the design of flexible pavements, according to the Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER method. The idealization was motivated to replace the routine of calculations to size flexible pavements, without the use of abacuses and spreadsheets. The application offers fast and concise results, which allow the determination of pavements thicknesses, depending on the parameters of the materials used in its construction, in order to alternatives

35 quickly, avoiding repetitive calculations. The computational program also includes complementary
36 applications for calculating the number of “N” standard axes, the Transportation Research Board –
37 TRB grading and particle size correction for the mixing of up to four materials, which are
38 parameters also used in dimensional calculations of pavements, With the results obtained, a report
39 can be generated, which includes all the parameters used, and the final results.

40 **KEYWORDS:** application, sizing, DNER, flexible, pavement, VB.NET.

41

42 1. INTRODUÇÃO

43 Em obras de engenharia civil, como construções de rodovias, aeroportos e ruas, a
44 superestrutura é constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentada sobre o
45 terreno de fundação, considerado como semi-espaço infinito e designado como sub-leito (SENÇO,
46 1997). A esse sistema de camadas de espessuras finitas damos o nome de pavimento.

47 Segundo a ABNT NBR 7207/82, o pavimento tem a função de resistir e distribuir ao subleito
48 os esforços verticais produzidos pelo tráfego; melhorar as condições de rolamento quanto à
49 comodidade e segurança; e resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a
50 superfície de rolamento.

51 Pavimentos flexíveis são constituídos geralmente de revestimentos betuminosos sobre
52 camadas granulares, e não trabalham à tração.

53 As obras de pavimentação rodoviária cresceram notavelmente no Brasil a partir dos anos 50,
54 quando, a partir de iniciativas de técnicos do antigo DNER, atual Departamento Nacional de
55 Infraestrutura de Transportes - DNIT, houve uma maciça transferência de tecnologia de
56 pavimentação dos Estados Unidos da América, e que levou a necessidade de normatizar e
57 uniformizar as especificações de serviços e técnicas de construção, dando origem ao Manual de
58 Pavimentação, que hoje se encontra na terceira edição (BRASIL, 2006 a).

59 Através da necessidade do país em obras rodoviárias, para suprir a demanda de milhares de
60 quilômetros de rodovias ainda não pavimentadas, da garantia de qualidade pela padronização e
61 normatização de técnicas, e no desenvolvimento da tecnologia de pavimentação, foi criado um
62 aplicativo computacional de dimensionamento de pavimentos flexíveis pelo método do DNER, e
63 respeitando os parâmetros estabelecidos pelo Manual de Pavimentação do DNIT.

64 De acordo com Cocco e Pertile (2011), os *softwares* educacionais são vistos como
65 complemento nos processos de conhecimento, pois promovem aprendizagem em diferentes
66 situações, ajudando na evolução da leitura e escrita, impulsionando ações de tomada de decisões,
67 escolha de estratégias, respeito às regras impostas, na construção de conceitos e em processos
68 cognitivos.

69 Logo, o objetivo deste trabalho, além de fins educacionais no ensino de pavimentação para
70 estudantes de engenharia civil, foi o de criar uma base lógica de programação para um futuro
71 aperfeiçoamento do aplicativo, podendo ser usado, posteriormente, para fins comerciais.

72

73 **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

74 O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER tem por base o trabalho
75 “*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*”, de autoria de W.J.
76 Turnbull, C.R. Foster e R.G. Ahlvin, do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, e conclusões
77 obtidas na Pista Experimental da *American Association of State Highway and Transportation*
78 *Officials - AASHTO* (BRASIL, 2006 a).

79 O método adota coeficientes de equivalência estrutural, obtidos na Pista Experimental da
80 AASHTO, em função dos materiais que integram o pavimento e de suas características.

81 Um dos parâmetros que caracteriza os materiais componentes do pavimento é sua capacidade
82 de suporte, obtida pelo ensaio *California Bearing Ratio - CBR*.

83 O CBR, por tradução, Índice de Suporte Califórnia, é um ensaio idealizado inicialmente por
84 O. J. Porter, no final dos anos 30, para definir a resistência de materiais utilizados na pavimentação.
85 É normatizado pela norma DNIT 172/2016 – ME, em substituição à norma DNER – ME 049/94.
86 Pode ser definido como a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar, de modo
87 padronizado, um pistão numa amostra de solo convenientemente preparada e a pressão para fazer
88 penetrar o mesmo pistão, à mesma profundidade, numa amostra padrão de pedra britada (SENÇO,
89 2007).

90 Através do ensaio de CBR, também é obtido o valor de expansão do material. A
91 expansibilidade é uma propriedade característica da fração de argila, que gera um aumento no
92 volume do material causado pelo aumento da umidade (BRASIL, 2006 a).

93 Os índices de consistência e o índice de grupo – IG, também são outros parâmetros
94 significantes no dimensionamento de pavimentos flexíveis. Os índices de consistência permitem
95 avaliar a plasticidade dos solos, através dos ensaios de Limite de Liquidez - LL e Limite de
96 Plasticidade - LP. São ensaios normatizados respetivamente pelas normas DNER - ME 122/94 e
97 DNER - ME 082/94. A diferença numérica entre o LL e o LP fornece o Índice de Plasticidade - IP,
98 que é a zona em que o solo se encontra no estado plástico (BRASIL, 2006 a). O IG, por sua vez, é
99 um valor numérico que varia de 0 a 20, que retrata o duplo aspecto de plasticidade e graduação das
100 partículas de solo (BRASIL, 2006 a). O IG pode ser calculado por:

$$101 \quad IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d \quad \text{Eq. 1}$$

102 Onde:

103 a é a porcentagem de material que passa na peneira n° 200, subtraindo-se 35%. Se o valor de
 104 a for menor que 0, adota-se 0; se for maior que 40, adota-se 40.

105 b é a porcentagem de material que passa na peneira n° 200, subtraindo-se 15%. Se o valor de
 106 b for menor que 0, adota-se 0; se for maior que 40, adota-se 40.

107 c é o valor do LL, subtraído da porcentagem de material que passa na peneira n° 40. Se o
 108 valor de c for menor que 0, adota-se 0; se for maior que 20, adota-se 20.

109 d é o valor do IP, subtraindo-se 10. Se o valor de d for menor que 0, adota-se 0; se for maior
 110 que 20, adota-se 20.

111 Para a engenharia de pavimentação, há um tipo de classificação granulométrica denominada
 112 *Transportation Research Board - TRB*. Nesta classificação, os solos são reunidos em grupos e
 113 subgrupos, em função de sua granulometria e limites de consistência, e parâmetros relacionados à
 114 sua utilização na pavimentação são obtidos (BRASIL, 2006 a). A classificação TRB tem por base a
 115 Tabela 1.

116 Tabela 1: Classificação de Solos TRB

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira N° 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A-7-5 A-7-6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A-1-A	A-1-B		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Granulometria – % passando na peneira N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	30 máx.	51 mín.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração passando na peneira N° 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.*
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	18 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmentos de pedras, Pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosos ou argilosos				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento como subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

117 * O IP do grupo A – 7 – 5 é igual ou menor do que o LL menos 30.

118 Fonte: BRASIL, 2006 a

119

120 2.1. Especificações Gerais

121 O Manual de Pavimentação do DNIT, publicação IPR - 719 do Instituto de Pesquisas
 122 Rodoviárias - IPR, prevê algumas especificações gerais para os materiais granulares componentes
 123 de cada camada do pavimento:

124 Materiais do subleito devem apresentar uma expansão menor ou igual a 2%, além de CBR
 125 maior ou igual a 2%. Se tratando de materiais com CBR inferior a 2, é recomendada a substituição

126 de, pelo menos, 1 m de espessura do material do subleito por outro com um CBR dentro do
127 recomendado.

128 Materiais para reforço do subleito devem apresentar expansão menor ou igual a 1%, e um
129 CBR maior que o do subleito.

130 Materiais para sub-base devem apresentar expansão menor ou igual a 1%, CBR maior ou
131 igual a 20%, além de um IG igual a 0.

132 Materiais para base devem apresentar expansão menor ou igual a 0,5%, CBR maior ou igual a
133 80%, além de um LL menor ou igual a 25% e um IP menor ou igual a 6%. Caso o material
134 apresente um LL superior a 25% e/ou IP superior a 6%, ele pode ser utilizado desde que o
135 equivalente de areia seja superior a 30.

136 Equivalente de areia – EA, é a relação volumétrica que corresponde à razão entre altura do
137 nível superior da areia, e a altura do nível superior da suspensão argilosa, de uma determinada
138 quantidade de solo ou de agregado miúdo, em uma proveta, e em condições estabelecidas pela
139 norma DNER - ME 054/97 (DNER, 1997).

140 Para um número de eixos-padrões menor ou igual a 5×10^6 , é aceito o emprego de materiais
141 para a base com CBR maior ou igual a 60%.

142 **2.2 “N” – Número de Eixos Padrões**

143 O número de eixos padrões é outro parâmetro de cálculo para o dimensionamento do
144 pavimento e das espessuras de suas camadas granulares.

145 O pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo
146 tomado como padrão, de 8,2 toneladas, para o período de projeto escolhido (BRASIL, 2006 b).

147 Para o cálculo do número N (Equação 2), é necessário o recolhimento de alguns dados do
148 tráfego no trecho que o pavimento será dimensionado, como o número de veículos por dia; a
149 quantidade, carga e tipo dos eixos, além de alguns coeficientes.

$$150 \quad N = V_t \cdot F.E. \cdot F.C. \cdot F.R. \cdot F.D. \quad \text{Eq. 2}$$

151 Onde:

152 V_t é o volume de tráfego total;

153 F.E. é o fator de eixos;

154 F.C. é o fator de carga;

155 F.R. é o fator regional;

156 F.D. é o fator direcional.

157 São então utilizadas equações de progressões, para transformar os dados diários dos veículos
158 em números que equivalham ao tráfego para o período de projeto escolhido.

159 Período de projeto é o número de anos para o qual o pavimento é dimensionado, atendendo
160 assim às necessidades do tráfego por pelo menos essa quantidade de tempo escolhida, levando em
161 conta um possível crescimento no número de veículos no decorrer dos anos.

162 Uma análise que leva em conta fatores históricos, e perspectivas futuras para a região na qual
163 o pavimento é dimensionado, pode determinar se a progressão de crescimento do tráfego será
164 aritmética ou geométrica, além da taxa de crescimento.

165 Sendo o volume médio diário do tráfego - V_m , no trecho a ser dimensionado, P o período de
166 projeto em anos, e t a taxa de crescimento em porcentagem, pode-se calcular o volume total V_t de
167 tráfego, para o período de projeto escolhido, considerando crescimento em progressão aritmética,
168 conforme equação 3.

$$169 \quad V_t = 365 \cdot P \cdot \frac{V_m \cdot [2 + (P - 1) \cdot t/100]}{2} \quad \text{Eq. 3}$$

170 Para um crescimento em progressão geométrica, V_t é dado pela equação 4.

$$171 \quad V_t = \frac{365 \cdot V_m \cdot [(1 + t/100)^P - 1]}{t/100} \quad \text{Eq. 4}$$

172 Fator de Eixos (F.E.) é um coeficiente que, multiplicado pelo número de veículos, dá o
173 número total de eixos do tráfego, e é dado pela razão entre o número médio de eixos diários pelo
174 número médio de veículos diários, conforme equação 5.

$$175 \quad F.E. = \frac{n}{V_m} \quad \text{Eq. 5}$$

176 O Fator de Carga (F.C.) é um número que, multiplicado pelo número de eixos em operação,
177 dá o número total de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2 toneladas. Ele é obtido pelo
178 somatório do produto da frequência relativa pelo fator de equivalência, para cada tipo e valor de
179 carga de um eixo. Considerando i um determinado tipo de eixo com uma determinada carga, pode-
180 se calcular F.C. pela equação 6.

$$181 \quad F.C. = \sum \%_i \cdot \text{fator de equivalência}_i \quad \text{Eq. 6}$$

182 O fator de equivalência de operações é um coeficiente que relaciona o efeito da passagem de
183 um eixo de um veículo qualquer com a passagem de um eixo padrão de 8,2 toneladas. Esse fator
184 pode ser determinado pelo gráfico da Figura 1 (Anexo A), no eixo das abcissas, em função da carga
185 por eixo (eixo das ordenadas), e do tipo de eixo – simples, tandem duplo ou tandem triplo.

186 O Fator climático Regional (F.R.) é outro coeficiente que leva em conta as flutuações na
187 umidade dos materiais do pavimento durante as diversas estações do ano, que pode ocasionar
188 variação na capacidade de suporte dos materiais componentes do pavimento. Para tentar minimizar
189 esse efeito, é proposta a adoção do coeficiente F.R., função da precipitação pluviométrica anual
190 (CASTRO, 2007). Os Fatores climáticos regionais são mostrados na Tabela 2. Caso não se pretenda

191 utilizar ou não haja registros de dados da média anual de chuvas na região que será pavimentada, é
 192 utilizado F.R. = 1.

193 Tabela 2: Fatores Climáticos Regionais

Altura média de Chuva (mm)	Fator Climático Regional (F.R.)
Até 800 mm	0,7
De 800 a 1.500 mm	1,4
Mais de 1.500 mm	1,8

194 Fonte: CASTRO, 2007

195 O Fator Direcional (F.D.) é um coeficiente que leva em conta o número de faixas de uma
 196 rodovia, e a distribuição do tráfego sobre cada uma. Sempre é aconselhado realizar o
 197 dimensionamento levando em consideração a faixa que será mais solicitada. Para auxiliar na
 198 determinação de como o tráfego é distribuído em função do número de faixas, é conveniente adotar
 199 o coeficiente F.D. conforme tabela 3. É possível adotar F.D. = 1, e fazer o levantamento do tráfego
 200 apenas na faixa mais solicitada.

201 Tabela 3: Incidência de Veículos Comerciais nas Faixas de Tráfego

Número de Faixas de Tráfego	Fator Direcional (F.D.)
2 ou 3	0,5
4	0,45
6 ou mais	0,4

202 Fonte: DNER, 1996

203 2.3 Faixas Granulométricas de Projeto

204 Os materiais utilizados nas camadas granulares devem se enquadrar numa das seguintes faixas
 205 granulométricas, em função do número N de eixos padrões – Tabela 4. Os ensaios de granulometria
 206 são previstos nas normas DNER – ME 051/94 e DNER – ME 080/94.

207 Tabela 4 – Granulometria para base granular

Tipos Peneiras	Para $N \geq 5 \times 10^6$				Para $N < 5 \times 10^6$		Tolerância da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	±7
1"	-	75-90	100	100	100	100	±7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	±7
N° 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	±5
N° 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	±5
N° 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	±3
N° 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	±3

208 Fonte: BRASIL, 2006 a

209 Para todas as faixas de projeto, a fração que passa na peneira n° 200 deve ser inferior a 2/3 da
 210 fração que passa na peneira n° 40.

211 Além disso, fração graúda deve apresentar um desgaste Los Angeles igual ou menor que 50.
 212 Valores maiores podem ser aceitos desde que haja experiência no uso do material.

213 O desgaste Los Angeles é o desgaste sofrido por um agregado quando colocado na máquina
 214 “Los Angeles” juntamente com uma carga abrasiva, submetido a um determinado número de

215 revoluções desta máquina à velocidade de 30 rpm a 33 rpm. O desgaste é expresso em porcentagem
 216 do peso do material que passa, após o ensaio, pela peneira de abertura 1,7 mm (DNER, 1998). O
 217 ensaio de determinação da abrasão “Los Angeles” é normatizado pela norma DNER - ME 035/98.

218 **2.3 Coeficientes de Equivalência Estrutural**

219 Os coeficientes de equivalência estrutural são mostrados na tabela 5, e são em função dos
 220 materiais componentes de cada camada do pavimento. Para cada tipo de componente do pavimento,
 221 há um coeficiente, cujo valor está em relação de equivalência a uma camada granular simples, em
 222 que K é igual a 1,00.

223 Tabela 5 – Coeficientes de equivalência estrutural

Componentes do Pavimento	Coefficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camada granular	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm	1,70
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm e 28 kg/cm	1,40
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm e 21 kg/cm	1,20

224 Fonte: BRASIL, 2006 a

225 O coeficiente do revestimento, da base, da sub-base e do reforço são designados,
 226 respectivamente por KR, KB, KS e KRef.

227 **2.4 Espessuras Mínimas do Revestimento**

228 O revestimento tem a principal função de proteger a camada de base dos esforços impostos
 229 pelo tráfego, além evitar a ruptura do próprio revestimento, a partir de esforços repetidos de tração
 230 durante sua flexão (BRASIL, 2006 a). Além disso, o revestimento ainda possui função de
 231 impermeabilizar o pavimento, para que a água não chegue às camadas granulares inferiores.

232 A espessura mínima do revestimento é dada em função do número “N” de eixos padrões, e é
 233 dada pela tabela 6.

234 Tabela 6 – Espessura mínima de revestimento betuminoso

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamento Superficial Betuminoso
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Revestimentos betuminosos com 7, cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Revestimentos betuminosos com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Revestimentos betuminosos com 12,5 cm de espessura

235 Fonte: Manual de Pavimentação DNIT – Publicação IPR – 719

236 **2.5 Dimensionamento do Pavimento**

237 A espessura de cada camada do pavimento, pelo método de dimensionamento do DNER, é
 238 dada por um ábaco – Figura 2 (Anexo A), que dá a espessura da camada (no eixo das ordenadas) em
 239 cm, em função do número “N” de eixos padrões (eixo das abscissas) e do CBR do material

240 componente da camada do revestimento. A espessura fornecida por esse gráfico está em termos de
241 material granular, ou seja, $K = 1,00$.

242 A espessura construtiva mínima de cada camada granular é de 15 cm. (BRASIL, 2006 a)

243 A simbologia utilizada é dada, de modo geral, por H_x , que designa, por exemplo, a espessura
244 total de pavimento necessária para proteger um material, na camada inferior, com CBR de valor x .
245 H_m , H_n e H_{20} designa, respectivamente, a espessura de pavimento necessária para proteger o
246 subleito, reforço e sub-base.

247 Para a simbologia das espessuras propriamente ditas, R , B , h_{20} e h_n representam,
248 respectivamente, as espessuras do revestimento, base, sub-base e reforço.

249 Mesmo que o CBR da sub-base seja superior a 20, a espessura do pavimento necessária para
250 protege-la sempre será como se o valor de CBR do material fosse 20. Por isso é utilizado H_{20} e h_{20}
251 para designar a espessura da camada para proteção e a espessura da sub-base, respectivamente.

252 A partir da determinação da espessura de R pela Tabela 6, e das espessuras H_m , H_n e H_{20} pelo
253 ábaco da Figura 2 (Anexo A), as espessuras da base (B), sub-base (h_{20}) e reforço (h_n) são obtidos
254 pela resolução sucessiva das equações 7, 8 e 9.

$$255 \quad RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad \text{Eq. 7}$$

$$256 \quad RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_n \quad \text{Eq. 8}$$

$$257 \quad RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_nK_{Ref} \geq H_m \quad \text{Eq. 9}$$

258 **2.6 Correção Granulométrica**

259 Na engenharia, a granulometria de agregados muitas vezes devem satisfazer a uma faixa
260 específica de composição. Na pavimentação, o DNIT trabalha com 6 diferentes faixas
261 granulométricas de projeto, como visto no item 2.3. Nem sempre é possível encontrar materiais
262 granulares que satisfaçam a uma faixa especificada, e há a necessidade de se misturar dois ou mais
263 tipos de agregados, com diferentes granulometrias, para a obtenção de um agregado final que atenda
264 à especificação.

265 Existe um grande número de métodos para calcular as porcentagens em que devem se
266 misturados os agregados, para a obtenção de um produto que se enquadre nas especificações
267 (SENÇO, 2007).

268 SENÇO (2007) cita métodos matemáticos, como o analítico, e gráficos, como o de Rothfuchs,
269 para a determinação da porcentagem de misturas de agregados.

270 O método analítico consiste na formulação de um sistema de equações, em que o número de
271 equações e incógnitas é o mesmo que a quantidade de agregados a serem misturados. Para isso,
272 devemos dispor da granulometria dos materiais que possuímos para fazer a mistura, e a
273 granulometria do material que queremos resultar.

274 Geralmente é necessário o somatório das porcentagens de materiais que passam em mais de
275 uma peneira, para que o número de equações seja igual ao número de incógnitas.

276 A modelagem matemática do sistema, para uma mistura de três agregados, por exemplo, pode
277 ser escrita como o sistema de equações 8.

$$278 \begin{cases} a_1x + b_1y + c_1z = d_1 \\ a_2x + b_2y + c_2z = d_2 \\ a_3x + b_3y + c_3z = d_3 \end{cases} \quad \text{Eq. 10}$$

279 Onde a_i , b_i e c_i são as porcentagens que passam em um conjunto de peneiras i dos materiais a ,
280 b e c ; e d_i é a porcentagem que deve passar no conjunto de peneiras i do material a ser obtido. As
281 incógnitas x , y e z são, respectivamente, as porcentagens dos materiais a , b e c , que preciso misturar
282 para obter um material com a granulometria desejada.

283 Uma forma de resolução do sistema é a regra de Cramer, que é uma das maneiras de resolver
284 um sistema linear, por meio de determinantes. É necessário para a resolução do problema que o
285 número de equações seja igual ao número de incógnitas. (STEINBRUCH, 1997).

286 A desvantagem do método analítico é que, por vezes, os resultados encontrados para as
287 variáveis são negativos. Apesar da solução ser verdadeira matematicamente, o sentido físico não é
288 aplicável para a estabilização granulométrica. Nesses casos, indica-se a tentativa de algum outro
289 método para a estabilização do material, como o método gráfico de Rothfuchs.

290 **2.7 Linguagem de programação VB.NET**

291 Visual Basic.NET (VB.NET) é uma linguagem de programação orientada a objetos criada
292 pela Microsoft. É um tipo de linguagem que vem se destacando pela facilidade de escrita de
293 aplicativos Windows e baseados na Internet, com grande aplicabilidade (HALVORSON, 2009,
294 apud ZAQUE, MENEZES FILHO, 2011).

295 O oferecimento de disciplinas relacionadas à programação e lógica nas graduações de
296 engenharias das universidades brasileiras, tem possibilitado a criação de aplicativos e programas
297 computacionais que auxiliam no ensino e na pesquisa nos próprios cursos. A exemplo, cita-se o
298 aplicativo DimGAP 1.0 – Aplicativo para o Dimensionamento de Galerias de Águas Pluviais e
299 Análise de Custos Envolvidos (ZAQUE, MENEZES FILHO, 2011) e Metaltec – Software
300 Desenvolvido como Ferramenta de Ensino de Engenharia de Produção (GUIDEK, 2009)

301 A algoritmização de rotinas de cálculos e o processamento computacional dá a possibilidade
302 de o estudante obter resultados rápidos e precisos, de maneira a avaliar várias alternativas de
303 maneira rápida e concisa, evitando cálculos repetitivos e chegando a uma solução de maneira mais
304 eficiente e intuitiva.

305

306

307 **3. METODOLOGIA**

308 Elaborou-se um aplicativo computacional, na linguagem VB.NET, para dimensionamento de
309 pavimentos flexíveis de acordo com o método do DNER. Todo o código e design do programa foi
310 criado no IDE (ambiente de desenvolvimento interativo) Microsoft Visual Studio 2013.

311 O primeiro contato do usuário com o programa é uma janela de apresentação do aplicativo e,
312 logo em seguida, o usuário tem acesso à janela de dimensionamento, na qual insere os dados de
313 entrada.

314 Os dados de entrada são: número “N” de eixos padrões, revestimento de projeto, componente
315 do revestimento.

316 Para o material da base, são solicitados o CBR, expansão, LL e IP, além do componente da
317 camada.

318 Para o material da sub-base, são solicitados o CBR, expansão e IG, além do componente da
319 camada.

320 Para o reforço, há a opção de dimensionar o pavimento com ou sem reforço. Caso seja
321 dimensionado com reforço, são solicitados o CBR e a expansão do material, além do componente
322 da camada.

323 Para o subleito, são solicitados o CBR e a expansão do material.

324 Para a escolha do revestimento de projeto, do componente do revestimento e das demais
325 camadas granulares, o aplicativo oferece opções pré-determinadas, em acordo com o Manual de
326 Pavimentação. Para os demais dados, a entrada é livre, restringindo os campos de digitação a
327 aceitarem apenas números e vírgula, para separação das casas decimais.

328 O aplicativo oferece recomendações de faixas granulométricas de projeto e revestimento em
329 função do número “N” de eixos padrões, assim como os recomendados pelo Manual de
330 Pavimentação. O usuário pode optar por utilizar como revestimento de projeto o recomendado ou
331 algum outro que achar viável, dentre as opções disponíveis.

332 Todo o código foi elaborado de forma a emitir janelas de mensagens quando o usuário
333 esquece de digitar algum parâmetro, ou o dado inserido esteja em desacordo com os limites
334 estabelecidos pelo Manual de Pavimentação do DNIT.

335 Ao clicar no botão “Dimensionar”, o aplicativo retorna um infográfico com as espessuras em
336 centímetros de H_n , H_{20} , R, B, h_{20} e, H_m e h_n , quando o usuário opta por utilizar reforço no
337 pavimento.

338 Alguns aplicativos complementares também foram programados, a fim de auxiliar no
339 dimensionamento do pavimento. São eles: cálculo do número “N” de eixos padrões, estabilização
340 granulométrica e classificação de solos TRB.

341

342 **3.1 Janela de Dimensionamento**

343 O código de programação prevê, a priori, que a entrada de dados seja em acordo com os
 344 limites previstos nas especificações gerais do Manual de Pavimentação. Quando o usuário entra
 345 com os dados, cada número digitado é analisado pelo código. Quando o número está em desacordo
 346 com a especificação do Manual de Pavimentação, uma caixa de mensagens é exibida, alertando o
 347 usuário sobre a não conformidade do parâmetro digitado. Em contrapartida, quando o número
 348 digitado está em acordo com as especificações do Manual de Pavimentação, uma variável, pré
 349 declarada no código, assume o valor do número digitado.

350 Para o dimensionamento das espessuras do pavimento, o Manual de Pavimentação prevê um
 351 ábaco – Figura 2 (Anexo A). Para fins de lógica de programação, cada reta do ábaco foi convertida
 352 em uma equação, pelo método de regressão linear. Desta maneira, para cada CBR, há uma equação,
 353 que está em função do número “N” de eixos padrões, da forma:

354
$$e = a \cdot \ln(N) + b \qquad \text{Eq. 11}$$

355 Onde e é a espessura da camada de pavimento em centímetros, N é o número “N” de eixos
 356 padrões e, a e b, são coeficientes que variam de acordo com equação para cada CBR (Tabela 7).

357 Tabela 7 – Equações de espessura de camadas granulares

358

CBR	Equação	R ²
2	$e = 5,7544 \cdot \ln(N) + 18$	0,9994
3	$e = 4,5756 \cdot \ln(N) + 11,314$	0,9998
4	$e = 3,9815 \cdot \ln(N) + 9,8786$	0,9994
5	$e = 3,4201 \cdot \ln(N) + 11,243$	0,9985
6	$e = 2,9292 \cdot \ln(N) + 11,394$	0,9993
7	$e = 2,6872 \cdot \ln(N) + 9,9464$	0,9980
8	$e = 2,5841 \cdot \ln(N) + 8,7571$	0,9993
9	$e = 2,2971 \cdot \ln(N) + 9,5786$	0,9986
10	$e = 2,1876 \cdot \ln(N) + 8,5086$	0,9853
11	$e = 1,9737 \cdot \ln(N) + 9,0321$	0,9985
12	$e = 1,8253 \cdot \ln(N) + 8,6829$	0,9985
13	$e = 1,7566 \cdot \ln(N) + 8,4583$	0,9996
14	$e = 1,6937 \cdot \ln(N) + 8,1381$	0,9996
15	$e = 1,6309 \cdot \ln(N) + 7,8179$	0,9987
16	$e = 1,5393 \cdot \ln(N) + 7,6714$	0,9993
17	$e = 1,4476 \cdot \ln(N) + 7,5250$	0,9997
18	$e = 1,3559 \cdot \ln(N) + 7,3786$	0,9997
19	$e = 1,2643 \cdot \ln(N) + 7,2321$	0,9991
20	$e = 1,0999 \cdot \ln(N) + 9,8030$	0,9953

359
 360 Dessa forma, o aplicativo sempre dimensiona a espessura da(s) camada(s) superior(es) em
 361 função do CBR da camada inferior, e do número “N” de eixos padrões, encontrando os valores de
 362 H_n , H_m e H_{20} .

363 Os valores assumidos pelas variáveis referentes a KR, KB, KS e KRef são em função da
 364 escolha do usuário pelos componentes do revestimento, da base, da sub-base e do reforço, listados
 365 em opções disponíveis ao usuário, de acordo com a Tabela 5.

366 Apesar do aplicativo recomendar o valor da espessura do revestimento, o valor que realmente
367 assumido é pelo código na variável referente a R, que recebe o valor da espessura do pavimento, é
368 em função da escolha do usuário, dentre as opções disponíveis, referentes à Tabela 6.

369 Com os valores de H_n , H_m , H_{20} , R, KR, KB, KS e KRef, o código resolve o sistema de
370 Equações 7, e retorna os valores de B, h_{20} e h_m .

371 Os resultados são mostrados ao usuário por um infográfico, que representa as camadas de um
372 pavimento.

373 Há ainda no aplicativo, opções para imprimir um relatório com os resultados obtidos, além da
374 opção de salvar os resultados em um arquivo .txt, que poderá ser aberto no aplicativo
375 posteriormente, com os mesmos valores de entrada.

376 **3.2 Janela de Cálculo do Número “N” de Eixos Padrões**

377 Para auxiliar o usuário no cálculo do número “N” de eixos padrões, um aplicativo
378 complementar também foi elaborado.

379 Os dados de entrada são o número médio de veículos por dia no trecho a ser dimensionado, o
380 período de projeto, a taxa de crescimento, P.A. ou P.G; a média anual de chuvas, o número de
381 faixas e a quantidade de eixos, que estão separados em função do tipo e da carga.

382 A partir dos dados de número de veículos por dia, período de projeto, taxa e fator de
383 crescimento, o código calcula o tráfego previsto para o período de projeto em questão – V_t .

384 A partir da escolha do usuário por uma das opções em média anual de chuvas, e número de
385 faixas, o código faz a variável responsável pelos parâmetros F.R. e F.D., assumem seus valores de
386 acordo com as Tabelas 2 e 3, respectivamente.

387 O F.E. é calculado pelo código com base no somatório de eixos simples, tandem duplos e
388 tandem triplos, dividido pelo volume diário de automóveis, resolvendo a equação 5, e alocando o
389 valor de F.E. na variável declarada para esse parâmetro.

390 O F.C. é obtido pelo somatório dos fatores de operações, que por sua vez é obtido como
391 produto do percentual de frequência do eixo pelo fator de equivalência.

392 Para fins de lógica de programação, foi adotado o valor do fator de equivalência para cada
393 eixo separadamente, tendo como base o a Figura 1 - Anexo A.

394 Em posse de V_t , F.C., F.E., F.R. e F.D, o código realiza as operações matemáticas para o
395 cálculo do número “N” de eixos padrões, que é o produto desses parâmetros, e retorna o resultado
396 ao usuário.

397 **3.3 Janela de Classificação Granulométrica**

398 Outro programa complementar elaborado foi o de classificação granulométrica TRB.

399 Os dados de entrada são o número do solo, a massa total de solo, as massas de solo que
400 passam nas peneiras n°10, n°40 e n°200, o limite de liquidez e o índice de plasticidade do material.

401 Em função dos valores assumidos pelas variáveis pertinentes a cada parâmetro, o código testa
402 e enquadra o solo no grupo ao qual se encaixa, de acordo com a tabela 1.

403 Além de retornar o grupo, o aplicativo retorna a classificação geral, a composição do solo, o
404 material de predominância e o comportamento como subleito.

405 O índice de grupo do solo também é calculado pelo código, que em posse dos valores de
406 material que passam na peneira n°200 e n°40, limite de liquidez e índice de plasticidade, estabelece
407 os limites, e realiza as operações matemáticas, conforme a equação 1, retornando o valor do índice
408 de grupo ao usuário.

409 **3.4 Janela de Correção Granulométrica**

410 Outro programa complementar introduzido no aplicativo é o de correção granulométrica pelo
411 método analítico. Nele, a partir da escolha de 2 a 4 materiais, e da faixa granulométrica desejada,
412 são calculados a porcentagem de cada material necessária para a estabilização.

413 Os dados de entrada são o número de materiais – 2, 3 ou 4, a faixa granulométrica desejada, e
414 a granulometria de cada material, com seus respectivos limites de liquidez e índices de plasticidade.

415 As faixas granulométricas de projeto – Tabela 4 – são as opções que o usuário pode escolher
416 para ser a faixa granulométrica do material resultante.

417 A partir dos dados de granulometria de cada material digitados, e da escolha da faixa
418 granulométrica do material a ser obtido, o código do aplicativo monta um sistema de equações, no
419 qual o número de incógnitas é igual ao número de equações, para que a resolução problema
420 matemático possa ter uma solução real.

421 O código utiliza a Regra de Cramer para a resolução do sistema, calculando os determinantes
422 e realizando as operações matemáticas necessárias, retornando ao usuário a porcentagem de cada
423 material que é necessária para realizar a estabilização granulométrica.

424 Conforme tratado no item 2.4, nem sempre a solução do sistema resulta em um valor positivo.
425 Nesse caso, o aplicativo mostra uma janela de mensagem ao usuário, informando que não foi
426 possível a correção granulométrica pelo método analítico, e é sugerida a tentativa de estabilização
427 através de outros materiais, ou a resolução por algum outro método.

428 Em conformidade com o que é estabelecido pelo Manual de Pavimentação, quando o material
429 resultante possui uma fração que passa na peneira n°200 superior a 2/3 da fração que passa na
430 peneira n°40, uma caixa de mensagem também é exibida ao usuário alertando para os limites desse
431 parâmetro.

432 Além disso, o resultado do LL e do IP do material resultante é calculada pelo código e
433 informada ao usuário, através da média ponderada dos índices de consistência dos materiais
434 utilizados para fazer a estabilização, e de suas respectivas porcentagens finais.

435

436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para análise dos resultados, apresenta-se um exemplo, para ilustração do dimensionamento de um pavimento flexível através do aplicativo programado, e da formulação de um caso prático para fins de demonstração.

Considera-se um trecho de uma estrada não pavimentada de 40 km de extensão, que será pavimentado utilizando pavimento flexível. As pesquisas feitas no local mostraram que o tráfego é composto conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Composição de Tráfego

Volume Médio Diário: 609 veículos		
Tipo de Eixo	Carga (toneladas)	Nº
Simples	6	180
	8	320
	10	300
	12	200
	14	180
Tandem Duplo	14	20
	18	26
	22	15
Tandem Triplo	22	6
	24	3
	26	8

Além disso, foi proposto que o período de projeto para o empreendimento seja de 20 anos, e que o tráfego na região crescerá em progressão aritmética, a uma taxa de 3% ao ano. A média anual de chuvas na região é de 780 mm/ano, e o volume médio diário de veículos foi levantado na faixa de maior tráfego.

Ensaio geotécnicos foram realizados ainda na fase de pré-projeto, a fim de conhecimento, tanto das características geotécnicas da via a ser pavimentada, quanto de possíveis jazidas de empréstimo de materiais. Amostras do subleito coletadas e ensaiadas, mostram que, em toda a extensão da via, tem-se um limite de liquidez e um índice de plasticidade médio de 16 e 3, respectivamente, uma expansão de 1,5% e CBR de 7%. A granulometria média do subleito é mostrada na tabela 9.

Três áreas de empréstimo foram identificadas, analisando suas respectivas granulometrias, limites de consistência, CBR, expansão e índices de grupo, como mostrado na Tabela 10.

460

Tabela 9 – Composição Granulométrica do Subleito

Massa total de solo: 893,00 g	
Peneira	Massa de solo que passa (g)
2"	893,00
1"	848,35
3/8"	642,96
n° 4	535,80
n° 10	401,85
n° 40	312,55
N° 200	250,50

461

462

Tabela 10 – Caracterização das Jazidas de Empréstimo

Granulometria	JAZIDA A	JAZIDA B	JAZIDA C
Peneiras	% que passa		
2"	100,0	100,0	100
1"	100,0	100,0	100
3/8"	82,3	35,5	83,2
n° 4	75,0	23,9	60,2
n° 10	42,5	16,8	45,6
n° 40	22,4	9,2	22,0
n° 200	5,1	2,7	6,4
LL (%)	17	19	20
IP (%)	4	4	5
Expansão (%)	1,1	1,4	0,7
CBR (%)	80	88	48
I.G.	0	1	0

463

464

465

Usando o programa complementar de cálculo do número "N" de eixos padrões, e introduzindo os parâmetros levantados (Figura 3 – Anexo A) foi calculado que o número N é de 60602522, ou $N > 5 \times 10^7$.

466

467

468

Através do programa complementar de Classificação de Solos TRB, são introduzidos os dados obtidos de valores médios dos índices de consistência e granulometria do material do subleito, com o resultado expresso na Figura 4 (Anexo A).

469

470

471

472

473

Inserindo os dados do tráfego calculados no aplicativo de dimensionamento do pavimento, foi sugerido a granulometria das camadas granulares nas faixas A, B ou C; e um revestimento do tipo Concreto Betuminoso com 12,5 cm de espessura. A faixa adotada para o projeto será a C, e o revestimento será de Concreto Betuminoso Usinado a Quente, e a espessura será a mesma que a sugerida.

474

475

476

477

Apenas a jazida 3 atende à granulometria de projeto na faixa C. Foi então proposta uma mistura de materiais das jazidas 1 e 2, que não atendem aos limites granulométricos indicados pelo manual na faixa escolhida para o projeto. Inserindo-se os parâmetros dos materiais de cada jazida no programa complementar de correção granulométrica pelo método analítico (Figura 5 – Anexo

478 A), obtêm-se que uma mistura de 44,3% do material da jazida A e 55,7% de material da jazida B
479 resulta a um material granular final dentro dos limites de granulometria da faixa C.

480 Ensaios de CBR foram feitos no material estabilizado granulometricamente, obtendo-se um
481 CBR médio de 84%, uma expansão média de 0,2%, limite de liquidez de 18% e índice de
482 plasticidade de 4%.

483 Foi optado para a base, a utilização do material estabilizado granulometricamente, e para a
484 sub-base, o material proveniente da jazida C. Ainda foi decidido pela não utilização de camada de
485 reforço, pelo material do subleito apresentar CBR relativamente bom.

486 Inserindo-se os parâmetros de cada material utilizado em sua respectiva camada, as
487 espessuras das camadas granulares do pavimento são dimensionadas, gerando o resultado com as
488 dimensões das camadas com pavimento (Figura 6 – Anexo A).

489 Além do exemplo acima, o aplicativo foi testado com exercícios e exemplos didáticos de
490 algumas referências bibliográficas citadas, apresentando conformidade com os resultados também
491 apresentados nos exemplos.

492

493 **5. CONCLUSÃO**

494 O aplicativo desenvolvido atendeu bem ao seu objetivo de idealização para fins educacionais
495 e de análises rápidas e confiáveis, que possibilitam o dimensionamento das espessuras das camadas
496 do pavimento em função dos parâmetros dos materiais utilizados em sua construção, de maneira a
497 avaliar várias alternativas de maneira rápida, evitando cálculos repetitivos.

498 A linguagem VB.NET, apesar de toda sua facilidade e aplicabilidade, apenas é compilada
499 em computadores com o sistema operacional Microsoft Windows.

500 Apesar de bem testada com exercícios práticos, além dos resultados atenderem bem ao
501 esperado, o aplicativo ainda deve ser disponibilizado para fase de testes gerais. A primeira
502 divulgação será no site do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa -
503 UFV, em uma página específica, onde são disponibilizados softwares e modelos de aplicativos
504 relacionados ao ensino da engenharia.

505 Uma versão posterior poderia corrigir algum possível erro identificado com mais testes,
506 podendo ser criada até uma versão comercial para o aplicativo.

507 Uma complementação que, contemple custos de obra, para uma decisão mais precisa e
508 econômica no dimensionamento do pavimento, também seria de grande valia para futuras versões
509 do aplicativo. Além disso, há em andamento a criação de um tutorial de funcionamento da
510 aplicação.

511

512

513 **6. AGRADECIMENTOS**

514 Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades e bênçãos que são colocadas na
515 minha vida.

516 À minha família, que não mediu esforços para que a conquista do sonho em me tornar
517 Engenheiro Civil se tornasse realidade.

518 Aos meus professores, por todo conhecimento repassado durante a graduação, e em especial
519 ao meu orientador, Professor Lucas, pela paciência, atenção, dedicação e principalmente confiança
520 depositada a mim no decorrer desse trabalho.

521

522 **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

523 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7207:1982 –**
524 **Terminologia e Classificação de Pavimentação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

525 BRASIL, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e
526 Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de**
527 **Pavimentação.** 3. ed. – Rio de Janeiro, 2006 a. 274p. (IPR. Publ., 719).

528 BRASIL, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e
529 Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de**
530 **Estudos de Tráfego.** – Rio de Janeiro, 2006 b. 384p. (IPR. Publ., 723).

531 CASTRO, Bruno Almeida Cunha de . **Notas de Aula – ‘CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS E**
532 **VIAS URBANAS’**, UFMG, 2007.

533 COCCO, Vanderléa Maria. PERTILE, Solange de Lurdes. **O uso dos softwares educacionais**
534 **como auxílio no processo de ensino.** Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia,
535 Curso de Especialização em Mídias na Educação. EaD, 2011.

536 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 035/98 –**
537 **Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles”.** Rio de Janeiro: IPR, 1998.

538 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 051/94 – Solos**
539 **– Análise granulométrica.** Rio de Janeiro: IPR, 1994.

540 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 054/97 –**
541 **Equivalente de Areia.** Rio de Janeiro: IPR, 1997.

542 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 080/94 – Solos**
543 **– Análise granulométrica por peneiramento.** Rio de Janeiro: IPR, 1994.

544 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 082/94 – Solos**
545 **– Determinação do limite de plasticidade.** Rio de Janeiro: IPR, 1994.

546 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 122/94 – Solos**
547 **– Determinação do limite de liquidez – Método de referência e método expedito.** Rio de
548 Janeiro: IPR, 1994.

549 DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT**
550 **172/2016 – ME. Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras**
551 **não trabalhadas – Método de ensaio.** Brasília: IPR, 2016.

552 **DNER - Manual de Pavimentação.** 2ª ed., Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Rodoviárias,
553 Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, 1996.

554 **GUIDEK, Roberto Cesar. Desenvolvimento do Software Metaltec, como Ferramenta de Ensino**
555 **de Engenharia de Produção.** Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

556 **SENÇO, Wlastermiller de, 1997, Manual de Técnicas de Pavimentação – volume I, São Paulo,**
557 **Ed. Pini.**

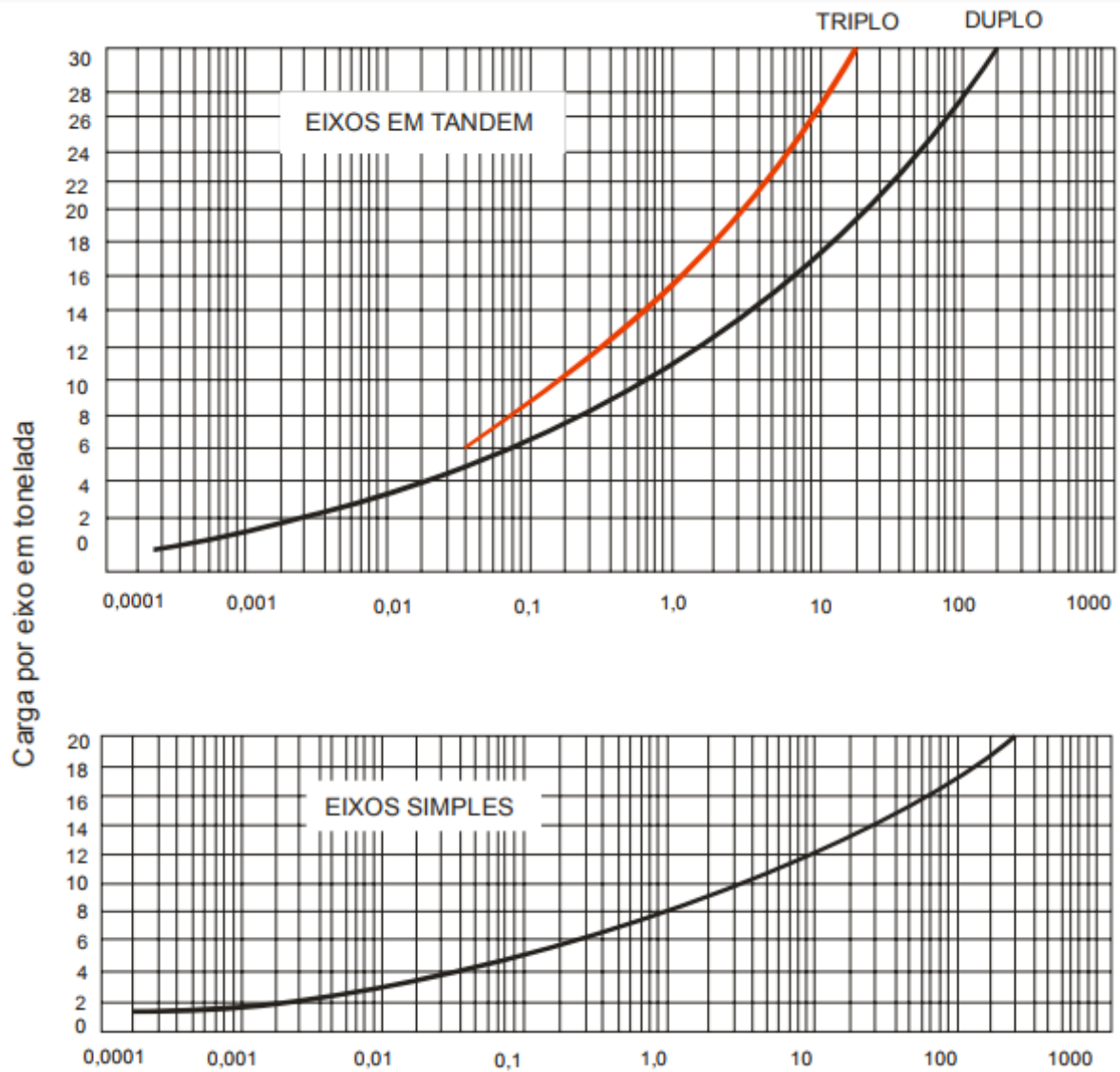
558 **STEINBRUCH, Alfredo; WINTERLE, Paulo. Introdução à Álgebra Linear.** São Paulo:
559 **Pearson Education do Brasil, 1997.**

560 **ZAQUE, Ricardo Augusto Moraes. MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de. DimGap**
561 **1.0: Aplicativo para o Dimensionamento de Galerias de Águas Pluviais e Análise de Custos**
562 **Envolvidos.** XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2011.

563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580

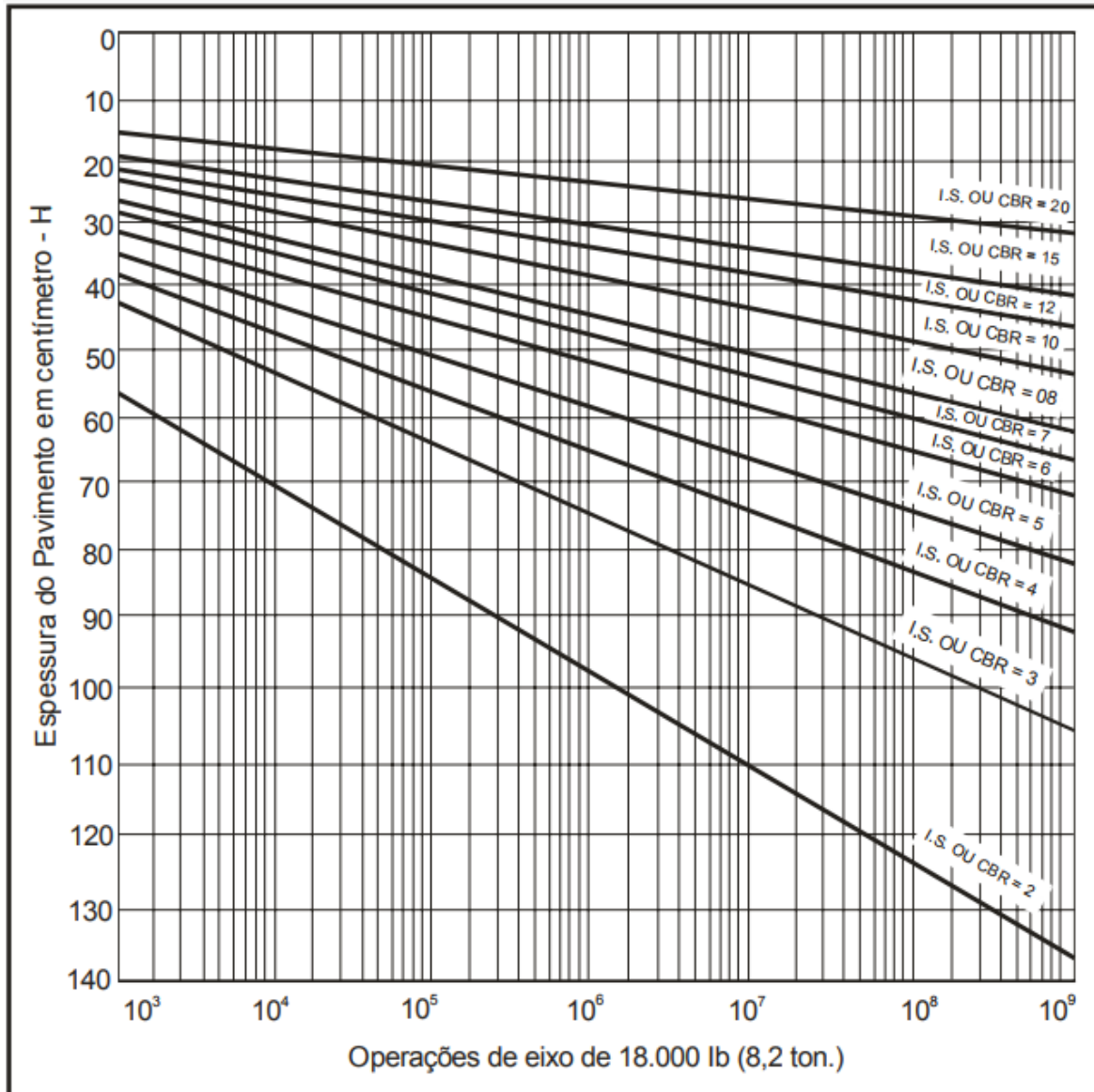
ANEXO A – FIGURAS

Figura 1: Fatores de Equivalência de Operação



Fonte: BRASIL, 2006 a

Figura 2 – Ábaco de determinação da espessura do pavimento



Fonte: BRASIL, 2006 a

Figura 3 – Aplicativo Complementar de Cálculo do número “N” de eixos padrões


Tráfego Médio Diário Anual

Detemine o número de repetições do eixo N padrão para o dimensionamento do pavimento, a partir de dados do tráfego


Cosiderar apenas veiculos comerciais **Número de Automóveis:** 609 **Taxa de Crescimento Anual (%):** 3 **Média anual de chuva (mm):** Até 800 mm/ano

Período de Projeto (anos): 20 **Fator de Crescimento:** P.A. **Número de faixas:** Levantamento de VMD faixa de maior tráfego


Eixo Simples



Tandem Duplo



Tandem Triplo



Eixo Simples				Tandem Duplo				Tandem Triplo								
Faixa de Peso (tf)	Frequência	%	Fator de Equivalência	Faixa de Peso (tf)	Frequência	%	Fator de Equivalência	Faixa de Peso (tf)	Frequência	%	Fator de Equivalência	Faixa de Peso (tf)	Frequência	%	Fator de Equivalência	Fator de Operação
0 < P ≤ 1	<input type="text"/>	0	0,0002	0	0 < P ≤ 1	<input type="text"/>	0	0,0002	0	0 < P ≤ 1	<input type="text"/>	0	0,0001	0	0,0001	0
1 < P ≤ 2	<input type="text"/>	0	0,0034	0	1 < P ≤ 2	<input type="text"/>	0	0,0018	0	1 < P ≤ 2	<input type="text"/>	0	0,0008	0	0,0008	0
2 < P ≤ 3	<input type="text"/>	0	0,0172	0	2 < P ≤ 3	<input type="text"/>	0	0,0072	0	2 < P ≤ 3	<input type="text"/>	0	0,0032	0	0,0032	0
3 < P ≤ 4	<input type="text"/>	0	0,0545	0	3 < P ≤ 4	<input type="text"/>	0	0,0196	0	3 < P ≤ 4	<input type="text"/>	0	0,0084	0	0,0084	0
4 < P ≤ 5	<input type="text"/>	0	0,1336	0	4 < P ≤ 5	<input type="text"/>	0	0,0425	0	4 < P ≤ 5	<input type="text"/>	0	0,0178	0	0,0178	0
5 < P ≤ 6	<input type="text"/>	14,3	0,2779	0,0398	5 < P ≤ 6	<input type="text"/>	0	0,0801	0	5 < P ≤ 6	<input type="text"/>	0	0,0328	0	0,0328	0
6 < P ≤ 7	<input type="text"/>	0	0,5163	0	6 < P ≤ 7	<input type="text"/>	0	0,1368	0	6 < P ≤ 7	<input type="text"/>	0	0,0550	0	0,0550	0
7 < P ≤ 8	<input type="text"/>	25,4	0,8148	0,2073	7 < P ≤ 8	<input type="text"/>	0	0,1370	0	7 < P ≤ 8	<input type="text"/>	0	0,0144	0	0,0144	0
8 < P ≤ 9	<input type="text"/>	0	1,7020	0	8 < P ≤ 9	<input type="text"/>	0	0,2613	0	8 < P ≤ 9	<input type="text"/>	0	0,0279	0	0,0279	0
9 < P ≤ 10	<input type="text"/>	23,8	3,2895	0,7845	9 < P ≤ 10	<input type="text"/>	0	0,4657	0	9 < P ≤ 10	<input type="text"/>	0	0,0502	0	0,0502	0
10 < P ≤ 11	<input type="text"/>	0	5,9704	0	10 < P ≤ 11	<input type="text"/>	0	0,7855	0	10 < P ≤ 11	<input type="text"/>	0	0,0854	0	0,0854	0
11 < P ≤ 12	<input type="text"/>	0	5,9704	0	11 < P ≤ 12	<input type="text"/>	0	0,7855	0	11 < P ≤ 12	<input type="text"/>	0	0,0854	0	0,0854	0
11 < P ≤ 12	<input type="text"/>	15,9	10,2882	1,6356	11 < P ≤ 12	<input type="text"/>	0	1,2658	0	11 < P ≤ 12	<input type="text"/>	0	0,1387	0	0,1387	0
12 < P ≤ 13	<input type="text"/>	0	16,9727	0	12 < P ≤ 13	<input type="text"/>	0	1,9633	0	12 < P ≤ 13	<input type="text"/>	0	0,2168	0	0,2168	0
13 < P ≤ 14	<input type="text"/>	14,3	26,9798	3,8604	13 < P ≤ 14	<input type="text"/>	1,6	2,9477	0,0469	13 < P ≤ 14	<input type="text"/>	0	0,3278	0	0,3278	0
14 < P ≤ 15	<input type="text"/>	0	41,5370	0	14 < P ≤ 15	<input type="text"/>	0	4,3034	0	14 < P ≤ 15	<input type="text"/>	0	0,4818	0	0,4818	0
15 < P ≤ 16	<input type="text"/>	0	62,1917	0	15 < P ≤ 16	<input type="text"/>	0	6,1308	0	15 < P ≤ 16	<input type="text"/>	0	0,6905	0	0,6905	0
16 < P ≤ 17	<input type="text"/>	0	90,8655	0	16 < P ≤ 17	<input type="text"/>	0	8,5488	0	16 < P ≤ 17	<input type="text"/>	0	0,9685	0	0,9685	0
17 < P ≤ 18	<input type="text"/>	0	129,9124	0	17 < P ≤ 18	<input type="text"/>	2,1	11,6960	0,2417	17 < P ≤ 18	<input type="text"/>	0	1,3322	0	1,3322	0
18 < P ≤ 19	<input type="text"/>	0	182,1823	0	18 < P ≤ 19	<input type="text"/>	0	15,7329	0	18 < P ≤ 19	<input type="text"/>	0	1,8012	0	1,8012	0
18 < P ≤ 19	<input type="text"/>	0	251,0888	0	19 < P ≤ 20	<input type="text"/>	0	20,8436	0	19 < P ≤ 20	<input type="text"/>	0	2,3980	0	2,3980	0
19 < P ≤ 20	<input type="text"/>	0			20 < P ≤ 21	<input type="text"/>	0	27,2379	0	20 < P ≤ 21	<input type="text"/>	0	3,1482	0	3,1482	0
20 < P ≤ 21	<input type="text"/>	0			21 < P ≤ 22	<input type="text"/>	1,2	35,1536	0,4192	21 < P ≤ 22	<input type="text"/>	0,5	4,0810	0,0195	4,0810	0,0195
21 < P ≤ 22	<input type="text"/>	0			22 < P ≤ 23	<input type="text"/>	0	44,8579	0	22 < P ≤ 23	<input type="text"/>	0	5,2296	0	5,2296	0
22 < P ≤ 23	<input type="text"/>	0			23 < P ≤ 24	<input type="text"/>	0	56,6502	0	23 < P ≤ 24	<input type="text"/>	0,2	6,6311	0,0158	6,6311	0,0158
23 < P ≤ 24	<input type="text"/>	0			24 < P ≤ 25	<input type="text"/>	0	70,8641	0	24 < P ≤ 25	<input type="text"/>	0	8,3271	0	8,3271	0
24 < P ≤ 25	<input type="text"/>	0			25 < P ≤ 26	<input type="text"/>	0	87,8693	0	25 < P ≤ 26	<input type="text"/>	0,6	10,3639	0,0659	10,3639	0,0659
25 < P ≤ 26	<input type="text"/>	0			26 < P ≤ 27	<input type="text"/>	0	108,0743	0	26 < P ≤ 27	<input type="text"/>	0	12,7927	0	12,7927	0
26 < P ≤ 27	<input type="text"/>	0			27 < P ≤ 28	<input type="text"/>	0	131,9283	0	27 < P ≤ 28	<input type="text"/>	0	15,6703	0	15,6703	0
27 < P ≤ 28	<input type="text"/>	0			28 < P ≤ 29	<input type="text"/>	0	159,9241	0	28 < P ≤ 29	<input type="text"/>	0	19,0590	0	19,0590	0
28 < P ≤ 29	<input type="text"/>	0			29 < P ≤ 30	<input type="text"/>	0	192,6000	0	29 < P ≤ 30	<input type="text"/>	0	23,0271	0	23,0271	0
29 < P ≤ 30	<input type="text"/>	0														

Vt = 5712724 **N =** Vt x F.E. x F.C x F.R. x F.D. **N =** 60602522

F.E. = 2,0657 **N > 5x10⁷**

F.C. = 7,3365

F.R. = 0,7

F.D. = 1

Menu Principal
Calcular
Sair

Figura 4 – Aplicativo Complementar de Classificação Granulométrica TRB

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS TRB - Transportation Research Board
 Classifique um tipo de solo de acordo com a sugestão da Transportation Research Board - HRB adotado pela AASHTO

RESULTADO

Solo Número: GRUPO: A-2-4

Massa total de solo (g): % CLASSIFICAÇÃO GERAL: Material Granular

Massa de solo que passa na peneira N° 10 (g): 45% COMPOSIÇÃO DO SOLO: São solos que contém grande variedade de materiais granulares, os quais estão no limite entre os solos do grupo A1 e A3 e materiais silte-argilosos do grupo A4, A5, A6 e A7. Contém materiais granulares com 35% ou menos, que passam na # 200 e com uma parte mínima que passa na # 40, que têm as mesmas características dos materiais do grupo A4 e A5. Contém também pedregulho com percentagem de silte ou IP > que dos solos do grupo A1, e areia fina com silte não plástico com % acima do solo do grupo A3.

Massa de solo que passa na peneira N° 40 (g): 35% MATERIAL DE PREDOMINÂNCIA: Areia e areia silosa ou argilosa

Massa de solo que passa na peneira N°200 (g): 28% COMPORTAMENTO GERAL COMO SUBLEITO: Excelente a bom

LL (%):

IP (%):

Índice de Grupo (IG) = 0

Figura 5 – Aplicativo Complementar de Correção Granulométrica pelo Método Analítico

CORREÇÃO GRANULOMÉTRICA - MÉTODO ANALÍTICO
 Ache as proporções corretas de mistura de dois a quatro tipo de materiais granulares para a faixa granulométrica de projeto escolhida

Número de Materiais: Faixa de Material Desejada:

PENEIRAS Polegadas mm	% QUE PASSA Materiais Disponíveis		Faixa de Material Desejada	Faixa de Material Obtida	ESTABILIZAÇÃO
	1	2			
2" 50,8	<input type="text" value="100,0"/>	<input type="text" value="100,0"/>	100 ± 7	100	44,3% do material 1
1" 25,4	<input type="text" value="100,0"/>	<input type="text" value="100,0"/>	100 ± 7	100	55,7% do material 2
3/8" 9,5	<input type="text" value="82,3"/>	<input type="text" value="35,5"/>	50-85 ± 7	56,2	
n° 4 4,8	<input type="text" value="75,0"/>	<input type="text" value="23,9"/>	35-65 ± 5	46,5	
n° 10 2,09	<input type="text" value="42,5"/>	<input type="text" value="16,8"/>	25-50 ± 5	28,2	
n° 40 0,42	<input type="text" value="22,4"/>	<input type="text" value="9,2"/>	15-30 ± 2	15	
n° 200 0,075	<input type="text" value="5,1"/>	<input type="text" value="2,7"/>	5-15 ± 2	3,8	
IP	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="4"/>			4,00%
LL	<input type="text" value="17"/>	<input type="text" value="19"/>			17,79%

Figura 6 – Aplicativo de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

Arquivo Editar Exibir Ajuda

Dimensionamento de Pavimento Flexível - Método DNER

"N" - Número de eixos padrões:

Faixas granulométricas de projeto recomendadas: A, B ou C

Revestimento recomendado: Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Revestimento de projeto:

Componente Revestimento:

Material Base:

CBR: Expansão (%): LL: IP:

Componente Base:

Material Sub-base:

CBR Sub-base: Expansão (%): IG:

Componente Sub-base:

Material Reforço:

Uso de reforço

CBR Reforço: Expansão (%):

Componente Reforço:

Material Sub-leito:

CBR Sub-leito: Expansão (%):

Corte Transversal do Pavimento Flexível