



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL – PPGEC  
INFRAESTRUTURA E GERÊNCIA VIÁRIA**

**CONTRIBUIÇÃO PARA MELHORIA DO DESEMPENHO DOS  
PAVIMENTOS URBANOS ATRAVÉS DO CONTROLE DE  
QUALIDADE DO REATERRO DE VALAS DE SERVIÇOS  
CONCESSIONADOS**

**ARNALDO CARVALHO GARCEZ**

Florianópolis  
Junho 2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL – PPGEC  
INFRAESTRUTURA E GERÊNCIA VIÁRIA**

**CONTRIBUIÇÃO PARA MELHORIA DO DESEMPENHO DOS  
PAVIMENTOS URBANOS ATRAVÉS DO CONTROLE DE  
QUALIDADE DO REATERRO DE VALAS DE SERVIÇOS  
CONCESSIONADOS**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Glicério Trichês

**ARNALDO CARVALHO GARCEZ**

Florianópolis  
Junho 2010

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da  
Universidade Federal de Santa Catarina

G215c Garcez, Arnaldo Carvalho  
Contribuição para melhoria do desempenho dos pavimentos  
urbanos através do controle de qualidade do reaterro de  
valas de serviços concessionados [dissertação] / Arnaldo  
Carvalho Garcez ; orientador, Glicério Trichês. -  
Florianópolis, SC 2010.  
228 p.: il., grafs., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Penetrômetro. 3. Compactação.  
4. Pavimentação. 5. Reaterro de valas. 6. Serviços  
concessionados. I. Triches, Glicerio. II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

**CONTRIBUIÇÃO PARA MELHORIA DO DESEMPENHO DOS  
PAVIMENTOS URBANOS ATRAVÉS DO CONTROLE DE  
QUALIDADE DO REATERRO DE VALAS DE SERVIÇOS  
CONCESSIONADOS**

**ARNALDO CARVALHO GARCEZ**

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Prof<sup>ª</sup>. Janaíde Cavalcante Rocha - Coordenadora do Programa

Prof. Glicério Trichês, Dr. – Orientador

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

Prof. Glicério Trichês, Dr. – Moderador - ECV/UFSC

Prof. Marciano Maccarini, PhD. - ECV/UFSC

Prof. Cassio Eduardo Lima de Paiva, Dr. - FEC/UNICAMP

Prof. Antônio Fortunato Marcon, Dr. - ECV/UFSC

Florianópolis, junho de 2010.



É errado pensar que a vida é um jogo e que, se algo correr não exatamente de acordo com as nossas expectativas, podemos jogá-lo de novo desde o início, com novas oportunidades de êxito. Seria uma tolice considerar que temos direito a um caminho de triunfos, sem sofrimentos nem desilusões, sem coragem nem heroísmo. Porque isso não sucede a ninguém e não é deste mundo. Aqui é preciso escolher e, depois, seguir em frente até ao fim (Paulo Geraldo).



## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Francisco “in memoriam” e Ester Miriam, pelo carinho, amizade e exemplo de vida.

À minha esposa Maria Helena e aos meus filhos Álvaro e Ludmila, pela paciência, carinho e por terem compreendido a minha ausência em muitos momentos de suas vidas.



## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação foi só foi possível graças ao apoio e colaboração de diversas pessoas e entidades, que de uma forma direta ou mesmo indireta, estiveram presente durante minha jornada de Mestrado, a quem se expressa o sincero agradecimento:

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, pela proteção divina, pela oportunidade de ter participado desta pesquisa e pelos conhecimentos adquiridos ao longo deste trabalho.

Agradeço especialmente ao orientador Professor Dr. Glicério Trichês, que não mediu esforços para transmitir-me seus conhecimentos, por toda a amizade e paciência demonstrada durante os últimos dois anos, bem como pela revisão deste trabalho.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, especialmente ao do Professor Dr. Flávio Antônio dos Santos, pela dedicação, incentivo e por viabilizar o MINTER com a Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, que forneceram o apoio necessário.

À COPASA, por disponibilizar o acompanhamento de reparos nas redes de água e esgoto, pela permissão e acompanhamento da vala experimental 1, ao Engenheiro Udimar, ao encarregado Osmarino em especial à Engenheira Vanessa Siqueira, pela receptividade e pelo apoio necessário.

À SUDECAP, por disponibilizar o Laboratório de Solos para realização de ensaios, ao Eng. Astolfo Costa, aos Laboratoristas José Roberto, França, Ivanilson, João e em especial à Gerente do Laboratório Steffane Aguilar, pela receptividade, acompanhamento e suporte necessário.

Aos professores dos Laboratórios de Produção Civil e de Estradas/Transportes do CEFET/MG, campus I e II, Chan, Fiorotti, Dayse, Mateus e Flávio Padula e em especial à Técnica de Laboratórios Amanda Fernandes, pela motivação e apoio nos ensaios laboratoriais e de campo.

Aos profissionais dos Laboratórios de Mecânica do CEFET/MG, campus I, em especial ao Prof. Joel Romano, pelo apoio na fabricação do DCP.

Aos amigos Eduardo de Oliveira e Andrei Salem, pelo seu apoio, paciência e companheirismo, durante o decorrer deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, pelo apoio e receptividade.

À coordenação do MINTER, em especial à Prof<sup>a</sup>. Dra. Cristina Cesar, pela amizade, paciência, dedicação e companheirismo com todos os alunos do MINTER CEFET/MG – UFSC.

A todos os meus familiares, na pessoa da querida tia Cezaltina, minha segunda mãe, pelo seu carinho, amor e exemplo de vida que me fortalece.

Finalmente, agradeço a todos os meus colegas e amigos pela força e motivação durante este período de estudo.

## RESUMO

A crescente demanda por serviços concessionados de água, esgoto, gás, energia e telecomunicações, além de redes de sistema de drenagem, tem gerado nos últimos anos um sem número de abertura de valas no meio urbano brasileiro. A falta de planejamento notório na seqüência do desenvolvimento urbano aliado ao descaso para com a tecnologia empregada pelas empresas no reaterro e recomposição das valas abertas, tem se tornado a causa de um dos principais problemas que afetam a vida útil dos pavimentos urbanos, notadamente os de revestimentos asfálticos. No caso específico, a falta de controle na compactação de camadas do pavimento causa afundamentos, trincas e buracos ao longo das valas, comprometendo o desempenho não só das áreas das valas, mas também no entorno da área afetada pela vala. Existem vários métodos para o controle de compactação de camadas em pavimentos, mas desconhecem-se metodologias específicas para a compactação de materiais em valas, devido, acredita-se, às suas peculiaridades e limitação de operacionalidade dos equipamentos tradicionais. Os métodos tradicionais são inviáveis de serem aplicados, principalmente, quanto a restrição de espaço, mobilidade dos equipamentos e ao tempo de execução. O objetivo principal desta pesquisa é avaliar o potencial do emprego do Cone de Penetração Dinâmica (DCP), para controle de execução de camadas de aterro de valas, por meio de correlações obtidas entre o índice de penetração do solo (DN) e o CBR da camada, tornando viável o controle da compactação em valas. A escolha deste equipamento se deve ao fato que ele é um equipamento bastante estudado, utilizado por vários órgãos do mundo e devido as vantagens de ser um ensaio rápido, de fácil execução, de baixo custo e de não destruir a estrutura do pavimento, poderá ser empregado por prefeituras de todo o Brasil, inclusive aquelas com poucos recursos, colaborando assim para o aumento da durabilidade e do desempenho dos pavimentos urbanos.

**Palavras-chave:** DCP, Penetrômetro, Compactação, Pavimentação, Reaterro de valas, Serviços Concessionados.



## ABSTRACT

The growing demand for water granting services, sewer, gas, energy and telecommunications networks and drainage, has generated in recent years an infinite number of open pits in Brazilian urban areas. The apparent lack of planning in the sequence of urban development coupled with the neglect of the technology used by companies in the compaction and recovery of open ditch, has become the cause of one of the main problems that affect the life of urban pavements, especially those of asphalt coating. In the specific case, the lack of control in compressing the pavement layers cause sinking of the surface, cracks and holes along the ditches, compromising the performance not only areas of the ditch, but also in the surrounding area affected by the ditch. There are several methods to control the compaction of layers on surfaces, but it is unknown specific methodologies for the compaction of materials in ditches, as it is believed, in their specificities and operational limitations of traditional equipment. Traditional methods are not suitable to be used mainly as the restriction of space, mobility equipment and the execution time. The objective of this research is to evaluate the potential use of Dynamic Cone Penetration (DCP) to control the implementation of layers of landfill of ditches through correlations between the rate of penetration of the soil (DN) and CBR layer, making it possible to control the ditches' compaction. This equipment was chosen because it is a device widely studied around the world and because the benefits of being a rapid test, easy to perform and inexpensive. There is also the fact that it does not destroy the pavement's structure, making it useful for municipalities throughout Brazil, including those with few resources, thereby contributing to increased durability and performance of urban pavements.

**Keywords:** DCP, penetrometer, compaction, paving, backfill of ditch, concession services.



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>39</b>
1.1 Considerações Iniciais .....	39
1.2 Justificativa .....	39
1.3 Objetivos .....	43
1.3.1 Objetivo geral .....	43
1.3.2 Objetivos específicos .....	43
1.4 Localização e Delimitação da Área de Estudo.....	44
1.5 Caracterização do Solo .....	46
1.6 Organização do Trabalho .....	47
<b>CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>49</b>
2.1 Intervenção de Vias Urbanas .....	49
2.2 Abertura e Fechamento de Valas de Serviços Concessionados ..	50
2.3 Cone de Penetração Dinâmica (DCP).....	54
2.3.1 Histórico .....	54
2.3.2 Aplicação do ensaio de DCP .....	55
2.3.3 Obtenção da curva de calibração .....	57
2.3.4 Execução do ensaio em campo .....	58
2.3.5 Análise dos resultados de campo .....	59
<b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>63</b>
3.1 Etapa 1 - Caracterização do Procedimento de Reaterro de Valas .....	63
3.2 Etapa 2 - Seleção e Localização das Valas para Realização da Pesquisa .....	63
3.3 Etapa 3 - Caracterização dos Materiais das Valas .....	69
3.4 Etapa 4 - Ensaio “in situ” com o DCP e Frasco de Areia.....	71
3.5 Etapa 5 - Obtenção da Curva de Calibração .....	72
3.6 Etapa 6 - Vala Experimental .....	72
3.7 Etapa 7 - Proposta de Especificação de Serviços.....	72

## **CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS ..... 75**

4.1 Caracterização do Procedimento do Reaterro de Valas.....	75
4.2 Caracterização dos Materiais das Valas.....	80
4.3 Obtenção da Correlação CBR x DN.....	81
4.4 Comparação de Curvas de Calibração.....	98
4.5 Ensaio “in situ” com o DCP e Frasco de Areia.....	98
4.5.1 Resultados obtidos para vala 1.....	99
4.5.1.1 Reaterro da vala.....	99
4.5.1.2 Curvas DCP.....	100
4.5.1.3 Diagrama estrutural.....	102
4.5.1.4 Análise dos resultados obtidos na vala 1.....	104
4.5.2 Resultados obtidos para vala 2.....	105
4.5.2.1 Reaterro da vala.....	105
4.5.2.2 Curvas DCP.....	105
4.5.2.3 Diagrama estrutural.....	109
4.5.2.4 Análise dos resultados obtidos na vala 2.....	110
4.5.3 Resultados obtidos para vala 3.....	111
4.5.3.1 Reaterro da vala.....	111
4.5.3.2 Curvas DCP.....	111
4.5.3.3 Diagrama estrutural.....	115
4.5.3.4 Análise dos resultados obtidos na vala 3.....	117
4.5.4 Resultados obtidos para vala 4.....	118
4.5.4.1 Reaterro da vala.....	118
4.5.4.2 Curvas DCP.....	120
4.5.4.3 Diagrama estrutural.....	123
4.5.4.4 Análise dos resultados obtidos na vala 4.....	125
4.5.5 Resultados obtidos para vala 5.....	126
4.5.5.1 Reaterro da vala.....	126
4.5.5.2 Curvas DCP.....	128
4.5.5.3 Diagrama estrutural.....	130
4.5.5.4 Análise dos resultados obtidos na vala 5.....	131
4.5.6 Resultados obtidos para vala 6.....	132
4.5.6.1 Reaterro da vala.....	132
4.5.6.2 Curvas DCP.....	133
4.5.6.3 Diagrama estrutural.....	136

4.5.6.4	Análise dos resultados obtidos na vala 6.....	137
4.5.7	Resultados obtidos para vala 7.....	138
4.5.7.1	Reaterro da vala.....	138
4.5.7.2	Curvas DCP.....	139
4.5.7.3	Diagrama estrutural.....	142
4.5.7.4	Análise dos resultados obtidos na vala 7.....	143
4.5.8	Resultados obtidos para vala 8.....	144
4.5.8.1	Reaterro da vala.....	144
4.5.8.2	Curvas DCP.....	145
4.5.8.3	Diagrama estrutural.....	147
4.5.8.4	Análise dos resultados obtidos na vala 8.....	148
4.5.9	Análise dos resultados obtidos com todas as valas.....	149
4.5.10	Análise dos resultados obtidos com as valas do grupo A-6.....	150
4.5.11	Análise dos resultados obtidos com as valas do grupo A-7-5.....	151
4.5.12	Considerações gerais sobre os resultados obtidos em todas as oito valas e grupos.....	152
4.6	Avaliação das Oito Valas Após Dez Meses.....	152

## **CAPÍTULO 5 – VALAS EXPERIMENTAIS..... 161**

5.1	Vala Experimental 1 – COPASA.....	161
5.1.1	Caracterização Geotécnica e Obtenção da Correlação CBR x DCP do Solo.....	161
5.1.2	Procedimento Adotado para do Reaterro da Vala Experimental.....	164
5.1.2.1	Compactação das camadas.....	164
5.1.2.2	Realização do ensaio de DCP.....	166
5.1.2.3	Determinação da massa específica aparente “in situ”.....	167
5.1.3	Curvas DCP considerando todas as camadas.....	168
5.1.4	Diagrama estrutural por camada compactada.....	171
5.1.5	Diagrama estrutural considerando todas as camadas compactadas.....	173
5.1.6	Diagrama estrutural do conjunto por camada e com todas as camadas.....	175
5.1.7	Verificação do grau de compactação através do DN.....	177
5.1.8	Análise dos resultados obtidos na vala experimental 1.....	179

5.2 Vala Experimental 2 - Reciclado de Construção Civil .....	181
5.2.1 Caracterização geotécnica e obtenção da correlação CBR x DCP do solo .....	181
5.2.2 Procedimento adotado para do reaterro da vala experimental 2 .....	185
5.2.3 Curvas DCP.....	187
5.2.4 Diagrama estrutural .....	189
5.2.5 Análise dos resultados obtidos na vala experimental 2 .....	191
5.2.6 Avaliação da vala experimental 2 dez meses após abertura para o tráfego.....	193
5.2.7 Análise dos procedimentos empregados entre as oito valas e as valas experimentais.....	194

**CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA PARA EXECUÇÃO DE VALAS..... 197**

6.1 Abertura e Fechamento de Valas .....	197
6.1.1 Condições gerais.....	197
6.1.2 Abertura da vala .....	197
6.1.3 Fechamento de vala.....	198
6.2 Controle da Umidade do Solo.....	199
6.3 Equipamentos de Compactação .....	199
6.4 Controle Tecnológico do Reaterro da Vala .....	200
6.5 Recomposição da Camada de Base .....	203
6.6 Recomposição do Revestimento .....	203
6.7 Considerações Finais .....	204

**CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 205**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 207**

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 – Correlações DN e CBR encontradas na literatura.....	58
QUADRO 3.1 – Localização das valas na Região Oeste de Belo Horizonte.....	64
QUADRO 3.2 – Características geométricas das valas.....	68
QUADRO 3.3 – Identificação visual-tátil de materiais das valas.....	70
QUADRO 4.1 – Resultados da análise da granulometria das oito valas.....	80
QUADRO 4.2 – Resumo das características geotécnicas dos solos das oito valas.....	82
QUADRO 4.3 – Resumo dos ensaios de CBR <i>c/</i> imersão e DCP <i>s/</i> imersão -Vala1.....	83
QUADRO 4.4 – Resumo dos ensaios de CBR <i>c/</i> imersão e DCP <i>s/</i> imersão -Vala2.....	84
QUADRO 4.5 – Resumo dos ensaios de CBR <i>c/</i> imersão e DCP <i>s/</i> imersão -Vala3.....	86
QUADRO 4.6 – Resumo dos ensaios de CBR <i>c/</i> imersão e DCP <i>s/</i> imersão -Vala4.....	87
QUADRO 4.7 – Resumo dos ensaios de CBR <i>c/</i> imersão e DCP <i>s/</i> imersão -Vala5.....	89
QUADRO 4.8 – Resumo dos ensaios de CBR <i>c/</i> imersão e DCP <i>s/</i> imersão -Vala6.....	90
QUADRO 4.9 – Resumo dos ensaios de CBR <i>c/</i> imersão e DCP <i>s/</i> imersão -Vala7.....	92
QUADRO 4.10 – Resumo dos ensaios de CBR <i>c/</i> imersão e DCP <i>s/</i> imersão -Vala8.....	93
QUADRO 4.11 – Resumo de Equações das oito valas.....	95
QUADRO 4.12 – Resumo de Equações por grupo e com todos os grupos.....	97
QUADRO 4.13 – Resultados de laboratório e de campo da vala 1...	104
QUADRO 4.14 – Resultados de laboratório e de campo da vala 2...	110
QUADRO 4.15 – Resultados de laboratório e de campo da vala 3...	117

QUADRO 4.16 – Resultados de laboratório e de campo da vala 4...	125
QUADRO 4.17 – Resultados de laboratório e de campo da vala 5...	131
QUADRO 4.18 – Resultados de laboratório e de campo da vala 6...	137
QUADRO 4.19 – Resultados de laboratório e de campo da vala 7...	143
QUADRO 4.20 – Resultados de laboratório e de campo da vala 8...	148
QUADRO 4.21 – Resultados de laboratório e de campo de todas as oito valas.....	150
QUADRO 4.22 – Resultados de laboratório e de campo das valas do Grupo A-6.....	151
QUADRO 4.23 – Resultados de laboratório e de campo das valas do Grupo A-7-5.....	151
QUADRO 5.1 – Resultado do ensaio granulometria por peneiramento - Vala Exp. 1.....	162
QUADRO 5.2 – Características geotécnicas – Vala Experimental 1	162
QUADRO 5.3 – Resumo dos ensaios de CBR e DCP - Vala experimental 1.....	163
QUADRO 5.4 – Resultados do DN por camada - Vala Exp. 1.....	167
QUADRO 5.5 – Resultados do DN com todas as camadas - Vala Exp. 1.....	167
QUADRO 5.6 – Resultados dos ensaios com o frasco de areia – Vala Exp. 1.....	168
QUADRO 5.7 – Resultados de laboratório e de campo da Vala Experimental 1.....	179
QUADRO 5.8 – Resultado do ensaio granulometria por peneiramento - Vala Exp. 2.....	182
QUADRO 5.9 – Características geotécnicas da Vala Experimental 2.....	183
QUADRO 5.10 – Resumo dos ensaios de CBR e DCP - Vala experimental 2.....	183
QUADRO 5.11 – Resultados de laboratório e de campo da Vala Experimental 2.....	191
QUADRO 5.12 – Resultados de laboratório e de campo das oito valas e da V. Exp. 2.....	192

## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 5.1 – Tabela prática de verificação do GC através do DN	178
TABELA 6.1 – Tabela prática de verificação do GC para o solo da Vala Exp. 1.....	201



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Tipos de patologias encontradas em valas.....	42
FIGURA 1.2 – Tipos de patologias encontradas em valas.....	42
FIGURA 1.3 – Deformação do pavimento, trincas e buraco.....	43
FIGURA 1.4 – Região Sudeste – Minas Gerais - Belo Horizonte.....	44
FIGURA 1.5 – Região Metropolitana de Belo Horizonte.....	45
FIGURA 1.6 – Situação da área de estudo em Belo Horizonte – Região Oeste.....	45
FIGURA 1.7 – Mapa pedológico da Região Metropolitana de Belo Horizonte.....	47
FIGURA 2.1 – Cone de Penetração Dinâmica (DCP).....	55
FIGURA 2.2 – Curva DCP.....	60
FIGURA 2.3 – Formato típico das Curvas DCP.....	61
FIGURA 3.1 – Mapa da Av. Nossa Senhora de Fátima – Gameleira.....	64
FIGURA 3.2 – Mapa da Rua Santa Cecília – N. Cintra/Vista Alegre.....	65
FIGURA 3.3 – Mapa da Av. Guaratá com Rua Tombos – Calafate.....	65
FIGURA 3.4 – Mapa da Rua Crispim Jaques – Vista Alegre.....	66
FIGURA 3.5 – Mapa da Rua Lindolfo de Azevedo – Jardim América.....	66
FIGURA 3.6 – Mapa da Marginal da Av. Tereza Cristina com Av. Amazonas.....	67
FIGURA 3.7 – Mapa da Rua Maria Antônia Fragolia – Camargos.....	67
FIGURA 3.8 – Mapa da Rua Cândida Ferraz Garcia – Nova Gameleira.....	68
FIGURA 3.9 – Diagrama da Metodologia da Pesquisa.....	73
FIGURA 4.1 – Espalhamento mecanizado de material na vala.....	76
FIGURA 4.2 – Espalhamento manual de material na vala.....	76
FIGURA 4.3 – Colocação de material de base.....	77

FIGURA 4.4 – Compactação de camada de subleito.....	77
FIGURA 4.5 – Compactação de camada de base.....	78
FIGURA 4.6 – Colocação de camada de revestimento da vala.....	78
FIGURA 4.7 – Trincas e buracos precoces no revestimento.....	79
FIGURA 4.8 – Curvas granulométricas do solo de fundação das oito valas.....	81
FIGURA 4.9 – Curvas de compactação e CBR - vala 1.....	83
FIGURA 4.10 – Correlação CBR x DN - vala 1.....	84
FIGURA 4.11 – Curvas de compactação e CBR - vala 2.....	85
FIGURA 4.12 – Correlação CBR x DN - vala 2.....	85
FIGURA 4.13 – Curvas de compactação e CBR - vala 3.....	86
FIGURA 4.14 – Correlação CBR x DN - vala 3.....	87
FIGURA 4.15 – Curvas de compactação e CBR - vala 4.....	88
FIGURA 4.16 – Correlação CBR x DN - vala 4.....	88
FIGURA 4.17 – Curvas de compactação e CBR - vala 5.....	89
FIGURA 4.18 – Correlação CBR x DN - vala 5.....	90
FIGURA 4.19 – Curvas de compactação e CBR - vala 6.....	91
FIGURA 4.20 – Correlação CBR x DN - vala 6.....	91
FIGURA 4.21 – Curvas de compactação e CBR - vala 7.....	92
FIGURA 4.22 – Correlação CBR x DN - vala 7.....	93
FIGURA 4.23 – Curvas de compactação e CBR - vala 8.....	94
FIGURA 4.24 – Correlação CBR x DN - vala 8.....	94
FIGURA 4.25 – Correlação CBR x DN para todos os solos do grupo A-6.....	96
FIGURA 4.26 – Correlação CBR x DN para todos os solos do grupo A-7-5.....	96
FIGURA 4.27 – Correlação CBR x DN para os solos de todas as oito valas.....	97
FIGURA 4.28 – Correlações DN x CBR com autores nacionais e estrangeiros.....	98
FIGURA 4.29 – Início do reaterro da vala - Vala 1.....	100

FIGURA 4.30 – Curva DCP do BE – Vala 1.....	101
FIGURA 4.31 – Curva DCP do EX – Vala 1.....	102
FIGURA 4.32 – Curvas DCP do BE e do EX – Vala 1.....	102
FIGURA 4.33 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 1.....	103
FIGURA 4.34 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 1.....	103
FIGURA 4.35 – Espalhamento do material para compactação – Vala 2.....	106
FIGURA 4.36 – Localização de ensaios com o Frasco de Areia e DCP - Vala 2.....	106
FIGURA 4.37 – Curva DCP do BE – Vala 2.....	107
FIGURA 4.38 – Curva DCP do EX – Vala 2.....	107
FIGURA 4.39 – Curva DCP do EX – Vala 2.....	108
FIGURA 4.40 – Curvas DCP do BE, EX E BD – Vala 2.....	108
FIGURA 4.41 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 2.....	109
FIGURA 4.42 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 2.....	109
FIGURA 4.43 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 2.....	110
FIGURA 4.44 – Primeira passada na compactação da camada – Vala 3.....	112
FIGURA 4.45 – Ensaio do Frasco de Areia – Vala 3.....	112
FIGURA 4.46 – Curva DCP do BE – Vala 3.....	113
FIGURA 4.47 – Curva DCP do EX – Vala 3.....	113
FIGURA 4.48 – Curva DCP do BD – Vala 3.....	114
FIGURA 4.49 – Curva DCP do BE, EX e BD – Vala 3.....	114
FIGURA 4.50 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 3.....	115
FIGURA 4.51 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 3.....	116
FIGURA 4.52 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 3.....	116
FIGURA 4.53 – Reparo da rede de esgoto – Vala 4.....	118
FIGURA 4.54 – Colocação da rede de esgoto – Vala 4.....	119
FIGURA 4.55 – Compactação do reciclado de construção civil – Vala 4.....	119
FIGURA 4.56 – Compactação da última camada – Vala 4.....	120

FIGURA 4.57 – Curva DCP do BE – Vala 4.....	121
FIGURA 4.58 – Curva DCP do EX – Vala 4.....	121
FIGURA 4.59 – Curva DCP do BD – Vala 4.....	122
FIGURA 4.60 – Curva DCP do BE, EX e BD – Vala 4.....	122
FIGURA 4.61 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 4.....	123
FIGURA 4.62 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 4.....	124
FIGURA 4.63 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 4.....	124
FIGURA 4.64 – Escoramento da vala para reparo da rede de esgoto - Vala 5.....	126
FIGURA 4.65 – Compactação da última camada (subleito) - Vala 5.....	127
FIGURA 4.66 – Ensaio do Frasco de Areia e a localização do DCP - Vala 5.....	127
FIGURA 4.67: Curva DCP do BE – Vala 5.....	128
FIGURA 4.68 – Curva DCP do EX – Vala 5.....	128
FIGURA 4.69 – Curva DCP do BD – Vala 5.....	129
FIGURA 4.70 – Curva DCP do BE, EX E BD – Vala 5.....	129
FIGURA 4.71 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 5.....	130
FIGURA 4.72 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 5.....	130
FIGURA 4.73 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 5.....	131
FIGURA 4.74 – Reparo de rede de água, fundo de vala -Vala 6.....	132
FIGURA 4.75 – Acabamento final da base com canga de minério de ferro -Vala 6.....	133
FIGURA 4.76 – Curva DCP do BE – Vala 6.....	134
FIGURA 4.77 – Curva DCP do EX – Vala 6.....	134
FIGURA 4.78 – Curva DCP do BD – Vala 6.....	135
FIGURA 4.79 – Curva DCP do BE, EX e BD – Vala 6.....	135
FIGURA 4.80 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 6.....	136
FIGURA 4.81 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 6.....	136
FIGURA 4.82 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 6.....	137
FIGURA 4.83 – Reparo de rede de esgoto – Vala 6.....	138

FIGURA 4.84 – Compactação da camada e ensaio do Frasco de Areia - Vala 7.....	139
FIGURA 4.85 – Curva DCP do BE – Vala 7.....	140
FIGURA 4.86 – Curva DCP do EX – Vala 7.....	140
FIGURA 4.87 – Curva DCP do BD – Vala 7.....	141
FIGURA 4.88 – Curva DCP do BE, EX E BD – Vala 7.....	141
FIGURA 4.89 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 7.....	142
FIGURA 4.90 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 7.....	142
FIGURA 4.91 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 7.....	143
FIGURA 4.92 – Compactação do subleito sem acerto da camada - Vala 8.....	144
FIGURA 4.93 – Curva DCP do BE – Vala 8.....	145
FIGURA 4.94 – Curva DCP do EX – Vala 8.....	145
FIGURA 4.95 – Curva DCP do BD – Vala 8.....	146
FIGURA 4.96 – Curva DCP do BE, EX e BD – Vala 8.....	146
FIGURA 4.97 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 8.....	147
FIGURA 4.98 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 8.....	147
FIGURA 4.99 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 8.....	148
FIGURA 4.100 – Situação atual da vala 1 após dez meses de tráfego.....	153
FIGURA 4.101 – Situação atual da vala 2 após dez meses de tráfego.....	153
FIGURA 4.102 – Situação atual da vala 2 após dez meses de tráfego.....	154
FIGURA 4.103 – Situação atual da vala 3 após dez meses de tráfego.....	155
FIGURA 4.104 – Situação atual da vala 4 após dez meses de tráfego.....	155
FIGURA 4.105 – Situação atual da vala 5 após 10 meses.....	156
FIGURA 4.106 – Situação atual da vala 5 após 10 meses.....	157
FIGURA 4.107 – Situação atual da vala 6 após dez meses de tráfego.....	157

FIGURA 4.108 – Situação atual da vala 7 após 10 meses.....	158
FIGURA 4.109 – Situação atual da vala 7 após 10 meses.....	159
FIGURA 4.110 – Situação atual da vala 8 após dez meses de tráfego.....	159
FIGURA 5.1 – Escavação para coleta de material - Vala Experimental 1.....	161
FIGURA 5.2 – Curva de compactação e de variação do CBR – Vala Exp. 1.....	163
FIGURA 5.3 – Correlação CBR x DN para a vala experimental 1...	164
FIGURA 5.4 – Início da compactação (primeira passada) - Vala Exp. 1.....	165
FIGURA 5.5 – Segunda passada de compactação da quarta camada - Vala Exp. 1.....	165
FIGURA 5.6 – Ensaio com o DCP realizado na quarta camada - Vala Exp. 1.....	166
FIGURA 5.7 – Ensaio com o frasco de areia da quarta camada - Vala Exp. 1.....	168
FIGURA 5.8 – Curva DCP com todas as camadas do BE - Vala Exp. 1.....	169
FIGURA 5.9 – Curva DCP com todas as camadas do EX - Vala Exp. 1.....	169
FIGURA 5.10 – Curva DCP com todas as camadas do BD - Vala Exp. 1.....	170
FIGURA 5.11 – Curva DCP com todas as camadas do BE, EX e BD - Vala Exp. 1.....	170
FIGURA 5.12 – Diagrama Estrutural por camada do BE - Vala Exp. 1.....	171
FIGURA 5.13 – Diagrama Estrutural por camada do EX - Vala Exp. 1.....	171
FIGURA 5.14 – Diagrama Estrutural por camada do BD - Vala Exp. 1.....	172
FIGURA 5.15 – Diagrama Estrutural por camada do BE, EX e BD - Vala Exp. 1.....	172

FIGURA 5.16 – Diagrama Estrutural com todas as camadas do BE - Vala Exp. 1.....	173
FIGURA 5.17 – Diagrama Estrutural com todas as camadas do EX - Vala Exp. 1.....	174
FIGURA 5.18 – Diagrama Estrutural com todas as camadas do BD - Vala Exp. 1.....	174
FIGURA 5.19 – Diagrama Est. com todas as camadas do BE, EX e BD – V. Exp. 1.....	175
FIGURA 5.20 – Diagrama Est. p/ camada e c/ todas as camadas do BE – V. Exp. 1.....	176
FIGURA 5.21 – Diagrama Est. p/ camada e c/ todas as camadas do EX – V. Exp. 1.....	176
FIGURA 5.22 – Diagrama Est. p/ camada e c/ todas as camadas do BD – V. Exp. 1.....	177
FIGURA 5.23 – Abertura e escoramento da vala - Vala Experimental 2.....	181
FIGURA 5.23: Reciclado de construção Civil - Vala Exp. 2.....	182
FIGURA 5.24 – Curva de compactação e de variação do CBR – Vala Exp. 2.....	184
FIGURA 5.25 – Correlação CBR x DN para a vala experimental 2	184
FIGURA 5.26 – Compactação do Reciclado de Cont. civil - Vala Exp. 2.....	185
FIGURA 5.27 – Ensaio com o frasco de areia na última camada - Vala Exp. 2.....	186
FIGURA 5.28 – Segundo ensaio com o DCP - Vala Exp. 2.....	186
FIGURA 5.29 – Curva DCP do BE - Vala Exp. 2.....	187
FIGURA 5.30 – Curva DCP do EX - Vala Exp. 2.....	188
FIGURA 5.31 – Curva DCP do BD - Vala Exp. 2.....	188
FIGURA 5.32 – Curva DCP do BE, EX e do BD - Vala Exp. 2.....	189
FIGURA 5.33 – Diagrama Estrutural do BE - Vala Exp. 2.....	190
FIGURA 5.34 – Diagrama Estrutural do EX - Vala Exp. 2.....	190
FIGURA 5.35 – Diagrama Estrutural do BD - Vala Exp. 2.....	191
FIGURA 5.36 – Situação atual da vala 6 após dez meses de tráfego	193

FIGURA 5.37 – Situação atual da vala 6 após dez meses de tráfego	194
FIGURA 6.1 – Serra Clipper.....	198
FIGURA 6.2 – Compactador manual de percussão.....	200
FIGURA 6.3 – Formas das curvas DCP.....	202

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A1 - CONTROLE DA UMIDADE DO SOLO.....	217
ANEXO A2 - AVALIAÇÃO DE CUSTOS.....	223



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AASHO - American Association of State Highway Officials

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - Association Standard Test Method

BD - Bordo Direito

BDI - Bonificação de Despesas Indiretas

BE - Bordo Esquerdo

CBR - Califórnia Bearing Ratio

CBR<sub>100</sub> - Capacidade de suporte correspondente ao Grau de Compactação de 100%

CBR<sub>95</sub> - Capacidade de suporte correspondente ao Grau de Compactação de 95%

CBUQ - Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CEFET/MG - Centro Federal de Educação de Minas Gerais

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CP - Corpo de prova

CPD - Cone de Penetração Dinâmica

DCP - Dynamic Cone Penetrometer

DEINFRA/SC - Departamento Estadual de Infra-Estrutura de Santa Catarina

DER - Departamento de Estradas de Rodagem

DMT - Distância Média de Transporte

DN - Índice de Penetração do DCP no solo

DN<sub>100</sub> - Índice de Penetração correspondente ao Grau de Compactação de 100%

DN<sub>95</sub> - Índice de Penetração correspondente ao Grau de Compactação de 95%

DN<sub>BD</sub> - Índice de Penetração médio de todas as camadas medido no bordo direito

DN<sub>BE</sub> - Índice de Penetração médio de todas as camadas medido no bordo esquerdo

DN<sub>CF</sub> - Índice de Penetração medido na camada final do reaterro

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (atual DNIT)

DN<sub>EX</sub> - Índice de Penetração médio de todas as camadas medido no eixo

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte

DN<sub>M</sub> - Índice de Penetração médio correspondente a todas as camadas do reaterro

Esq. - Esquerda

EX - Eixo

Kg/m<sup>3</sup> - Quilograma por metro cúbico

GC - Grau de Compactação

HRB - Highway Research Board

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IG - Índice de Grupo

IP - Índice de Plasticidade

ISC - Índice de Suporte Califórnia

ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica

LL - Limite de Liquidez

LP - Limite de Plasticidade

ME - Método de Ensaio

MEAS - Massa Específica Aparente Seca

MEAS<sub>máx</sub> - Massa Específica Aparente Seco Máxima

MG - Minas Gerais

mm/golpe - Milímetro por golpe

NBR - Norma Brasileira

PBH - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

PMSP - Prefeitura do Município de São Paulo

PN - Proctor Normal

PR - Paraná

PVA - Argilossolo vermelho-amarelo

$R^2$  - Coeficiente de Correlação

SC - Santa Catarina

SP - São Paulo

SUCS - Sistema Unificado de Classificação de Solos

SUDECAP- Superintendência de Desenvolvimento da Capital – PBH

SVP - Secretaria de Vias Públicas da PMSP

TRL - Transport Research Laboratory

TRRL - Transport and Road Research Laboratory

U.S. - United States

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UG - Unidade Geotécnica

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

$w_{ót}$  % - Umidade Ótima de compactação

$W_{campo}$  - % Umidade de campo medida na penúltima camada do reaterro

$W_{ót}$  - % Umidade Ótima de compactação



# **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

## **1.1 Considerações Iniciais**

Intervenções efetuadas em vias urbanas por concessionárias de redes água, esgoto, gás, energia e telecomunicações, além de redes de sistema de drenagem, têm contribuído para a queda do desempenho dos pavimentos devido ao aparecimento precoce de trincas, buracos e deformações dos pavimentos flexíveis, não somente na própria vala, mas também no seu entorno. Em toda execução de serviços é necessário que a qualidade do controle tecnológico seja exigida, acompanhando se os materiais empregados e seus procedimentos executivos estão de acordo com as especificações vigentes.

Para diminuir esses problemas, é necessária uma melhor administração dessas atividades, principalmente no controle do grau de compactação e da umidade. Para se garantir uma capacidade estrutural adequada do pavimento a ser recomposto nas valas é necessário um controle de compactação das camadas durante o fechamento das mesmas.

As restrições de espaço e o uso de equipamentos convencionais para a compactação do material (uso de “sapo mecânico”, por exemplo) e o controle da compactação (através do frasco de areia) levam a morosidade para execução deste serviço. Este fato, aliado a falta de fiscalização, tem sido um dos principais motivos para a não execução deste controle.

A capacidade de suporte dos solos pode ser aferida “in situ” através do Cone de Penetração Dinâmica - DCP, de forma simples e rápida. Portanto, este equipamento se apresenta com um grande potencial para o controle de reaterro de valas abertas para instalação e reparos de serviços concessionados.

## **1.2 Justificativa**

Os pavimentos urbanos tendem a sofrer defeitos por várias causas, incluído aqueles relacionados com a ação do tráfego, do meio ambiente e da qualidade dos materiais e dos métodos construtivos empregados.

Os serviços de abertura e fechamento de valas por concessionárias de serviços de infraestrutura urbanas, particularmente as

redes de água, esgoto sanitário, gás, energia e telecomunicações e drenagem pluvial, podem acarretar muitos problemas à pavimentação, principalmente pela não utilização de ensaios para a verificação do grau de compactação das camadas durante a recomposição da mesma. Segundo Augusto Jr. et al (1992), o controle de compactação é importante para minimizar futuros os problemas mais comuns nos revestimentos urbanos relacionados com a abertura e fechamento de valas que são:

- a) deterioração das áreas do pavimento próximas à vala, devido à demora na recomposição ou não execução de corte das áreas afetadas;
- b) ruptura do pavimento reconstituído, devido à insuficiência de espessura ou má execução;
- c) recalque do pavimento reconstituído, devido pós-compactação do solo de reaterro;
- d) reconstituição do pavimento em nível acima da superfície do pavimento primitivo, causando grande desconforto aos usuários; e
- e) desagregação da mistura asfáltica, devido à insuficiência de compactação, à baixa temperatura da mistura (no caso de misturas a quente), ausência ou falha na pintura de imprimação ou de ligação.

Segundo Stuchi (2005), a execução do reaterro é um fator importante, não só por influenciar diretamente na qualidade de reposição do pavimento, mas principalmente, pela influência que exercerá sobre as cargas verticais que atuam sobre as tubulações. O reaterro deve ser compactado, entendendo-se por compactação de um solo o processo, manual ou mecânico, que visa reduzir o volume de seus vazios e aumentar, em decorrência, sua massa específica. Com isso, a capacidade de suporte dos solos também é acrescida. Em contrário, a compactação inadequada pode contribuir para a degradação acelerada do pavimento.

O estudo de caso sobre recomposição de vala na Prefeitura Municipal de São Paulo - PMSP, relatado por Daroncho & Lopes (2007), mostra que a recomposição do pavimento não atendeu totalmente as exigências contidas nas legislações do município. Foi possível verificar que, na prática, alguns pontos atenderam as especificações, enquanto em outros não foi observada a recomposição com as espessuras das camadas do pavimento existente. O outro problema é com relação aos ensaios que não são realizados, principalmente para a verificação do grau de compactação das camadas

de recomposição do solo, propiciando assim o aparecimento prematuro de falhas na recomposição destes pavimentos. A correção destes problemas gera novos custos, tempo gasto para refazer os trabalhos e transtornos aos usuários.

Os serviços Concessionados de abertura e fechamento de valas em via urbanas pavimentadas é um serviço especial em função de suas peculiaridades relacionadas à segurança do trânsito de pedestres e veículos além de atender as necessidades básicas e emergenciais de fornecimento de água e reparo da rede de esgoto. Normalmente essas valas devem ser abertas e fechadas no mesmo dia e devido essa necessidade de rapidez na execução normalmente não é verificado a qualidade de execução de serviços de fechamento de valas, principalmente durante a execução do reaterro do subleito por falta de um controle tecnológico para verificação do Grau de Compactação, umidade e de altura da camada do solo compactado.

Em se executando de forma adequada as obras de recomposição do pavimento, pode-se melhorar o conforto e a segurança dos usuários da via urbana, além de evitar que haja uma deterioração precoce do pavimento e não deixar um aspecto visual das vias prejudicado por buracos e ondulações.

As Figuras de 1.1 a 1.3 ilustram de forma aleatória as patologias típicas decorrentes da má execução dos serviços de reaterro de valas abertas para a implantação de serviços de reparos nas redes de água e esgoto, existentes em diversas ruas de Belo Horizonte, portanto não fazem parte das valas executadas neste trabalho de pesquisa.

A falta de uma compactação das camadas associada a falha ou ausência de pintura de ligação na face vertical dos cortes no revestimento existente, leva ao aparecimento de deformações excessivas no revestimento que a mistura asfáltica não suporta e trinca. Por sua vez, a ausência de um planejamento da manutenção dos pavimentos leva ao aparecimento de buracos que permanecem abertos por um longo período, facilitando a infiltração de águas pluviais, aumentando a umidade na infraestrutura do pavimento, sendo esta a principal causa para o avanço das patologias para além da área da vala.

Este trabalho de pesquisa busca avaliar o potencial de utilização de um equipamento simples, portátil e de baixo custo, no caso o Cone de Penetração Dinâmica (CPD) ou “Dynamic Cone Penetrometer” (DCP) nos serviços de compactação de valas até a altura do subleito abertas para implantação de redes de água, esgoto sanitário, gás, energia e telecomunicações e drenagem pluvial.



FIGURA 1.1 – Tipos de patologias encontradas em vala de redes de água e esgoto.

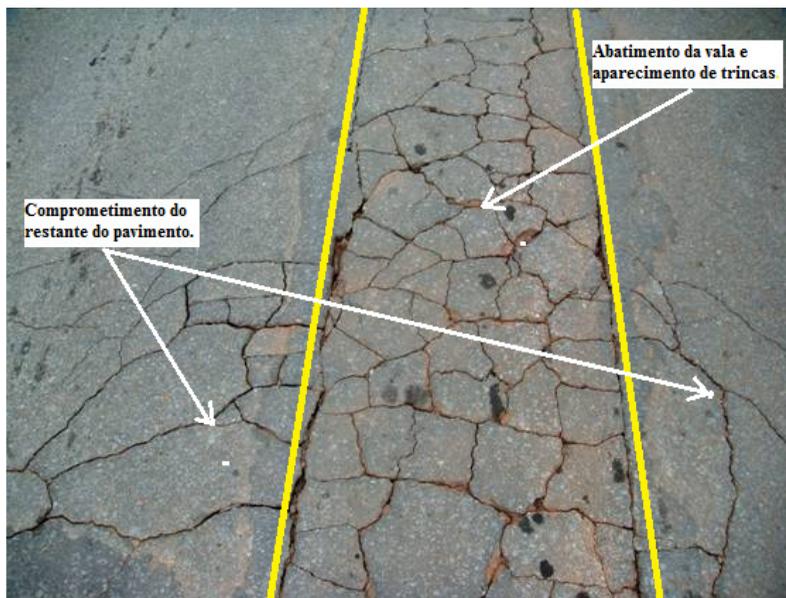


FIGURA 1.2 – Tipos de patologias encontradas em vala de redes de água e esgoto.

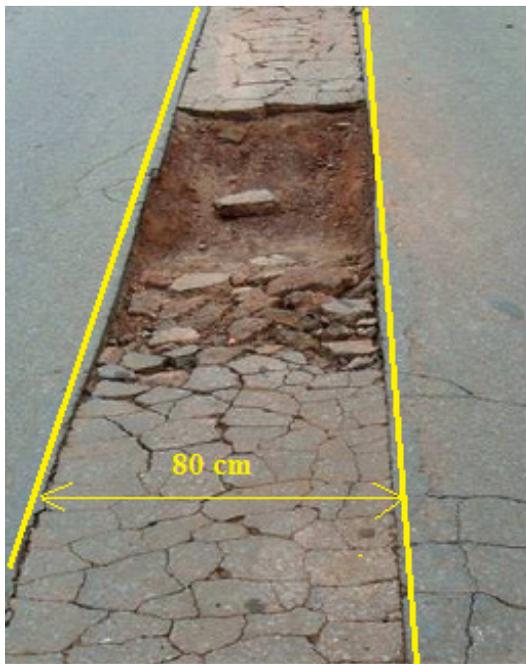


FIGURA 1.3 – Deformação do pavimento com trincas e buraco.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa é avaliar a aplicabilidade do emprego do Cone de Penetração Dinâmica - DCP para o controle de compactação do reaterro de valas abertas para implantação de serviços concessionados.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Avaliar os procedimentos de reaterro de valas empregados pelas concessionárias dos serviços de água, esgoto, gás, energia e telecomunicações da região de Belo Horizonte /MG, além das valas abertas pelas prefeituras para implantação de sistemas de drenagem;

- Analisar o emprego do Cone de Penetração Dinâmica – DCP em reaterro de valas, comparando com os procedimentos tradicionais aplicados;

- Estabelecer um procedimento metodológico para o controle de compactação no fechamento de valas de serviços de concessão e de drenagem.

#### 1.4 Localização e Delimitação da Área de Estudo

O acompanhamento das intervenções de vias urbanas pavimentadas e os ensaios “in situ”, foram realizadas na Região Oeste da cidade de Belo Horizonte/MG. As amostras de solos para os ensaios de laboratório foram provenientes dos locais que sofreram intervenções de pavimentos para abertura de valas. Os ensaios laboratoriais foram realizados nos Laboratórios de Estradas e Transportes – Campus I, Produção Civil – Campus II, do CEFET-MG e Laboratório da SUDECAP (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte). As figuras 1.4 a 1.6 ilustram a área onde foi desenvolvida a pesquisa.



FIGURA 1.4 – Região Sudeste – Minas Gerais - Belo Horizonte – Portal Brasil (2010).



FIGURA 1.5 – Região Metropolitana de Belo Horizonte – GRANBEL (1999).

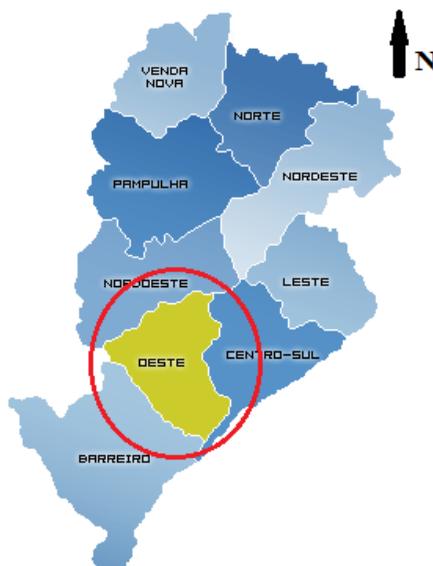


FIGURA 1.6 – Situação da área de estudo em Belo Horizonte – Região Oeste – PBH (2009).

A topografia da região é muito acidentada, apresentando raros e descontínuos trechos de declividade suave. Toda a região Oeste situa-se na bacia do Ribeirão Arrudas, sendo a maior parte do território regional interceptada por afluentes da margem direita, entre os quais se destacam os córregos Piteiras e Marinho, que foram canalizados e capeados, transformando-se nas avenidas Barão Homem de Melo e Silva Lobo, e o córrego do Cercadinho, que ainda corre a céu aberto, separando os bairros Havaí e São José, Estoril e Buritis, Souza, J. B. (2004).

Segundo dados do Censo Demográfico de 2000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a região Oeste possui uma população de 268.124 habitantes. Esta população está distribuída nos 37 bairros oficiais da região. Grande parte da população está concentrada entre a Avenida Amazonas, Anel Rodoviário e o Ribeirão Arrudas. Possui uma extensão territorial de 31,27 Km<sup>2</sup>, com uma densidade demográfica de 8.573,38 hab/Km<sup>2</sup>. Os serviços básicos são contemplados com 99% de fornecimento de energia elétrica, água encanada e coleta de lixo, Souza, J. B. e PBH (2004).

## **1.5 Caracterização do Solo**

A figura 1.8 ilustra um recorte do mapa pedológico da região Metropolitana de Belo Horizonte, conforme já exposto a pesquisa foi desenvolvida somente em Belo Horizonte, na região oeste. As principais Unidades Geotécnicas da Grande Belo Horizonte - UG. No mapa podem ser identificadas 5 UGs principais:

- UG PV - formada por um argilossolo amarelo;
- UG PVA - formada por um argilossolo vermelho-amarelo;
- UG CX - formada por um cambissolo;
- UG LV - formada por um latossolo vermelho;
- UG LVA - formada por um latossolo vermelho-amarelo.

Em princípio, em Belo Horizonte, tem-se então, o predomínio de uma UG de argilossolo vermelho-amarelo. As amostras da UG foram coletadas em valas abertas por uma concessionária de água e esgoto. As amostras de solo foram coletadas nas antepenúltimas camadas de reaterro das valas.

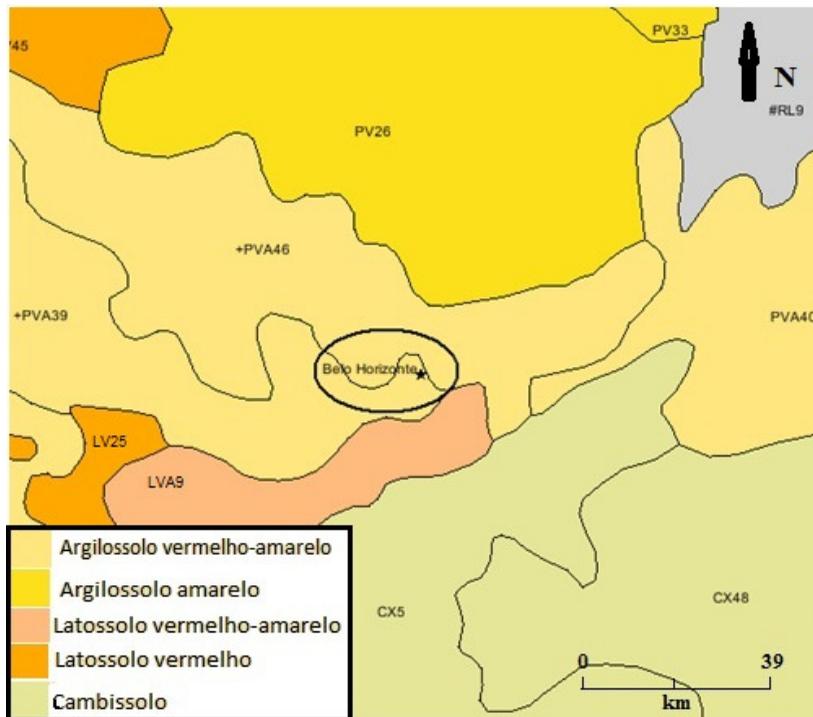


FIGURA 1.7 – Mapa pedológico da Região Metropolitana de Belo Horizonte - IBGE (2005).

## 1.6 Organização do Trabalho

Este trabalho foi estruturado em sete capítulos assim definidos:

- O capítulo 1 apresentou o tema da pesquisa, sua relevância, localização e delimitação da área de estudo.

- O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre os elementos necessários para a compreensão do presente trabalho. Discorre-se sobre as intervenções de vias públicas, aberturas e fechamento de valas de serviços concessionados e sobre ensaios com o Cone de penetração Dinâmica.

- O capítulo 3 trata da metodologia utilizada na presente pesquisa. Apresentam-se, em etapas, os procedimentos de reaterro de valas utilizados pelas empresas concessionadas, características das valas

executadas, caracterização dos materiais das valas, ensaios de campo e laboratório, correlações entre o CBR x DCP e o controle tecnológico empregado no reaterro de valas.

- No capítulo 4 apresentam-se os resultados e a análise de todas as valas.

- O capítulo 5 apresenta os resultados e análise das valas experimentais.

- O capítulo 6 apresenta uma proposta de especificações de serviços para reaterro de valas.

- O capítulo 7 sumariza as conclusões e recomendações deste estudo, além de apresentar sugestões para novas pesquisas nessa linha.

## **CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Intervenção de Vias Urbanas**

Os pavimentos são estruturas complexas, que envolvem muitas variáveis, tais como: cargas de tráfego, solicitações ambientais, técnicas construtivas, práticas de manutenção e reabilitação, tipo e qualidade dos materiais, Youshizane (2001).

Tão importante quanto à pavimentação das vias urbanas, é a recomposição dos pavimentos. Segundo Haas, Hudson e Zaniewski (1994), dentro de um Sistema de Gerência de Pavimentos, é de grande importância a execução das atividades de manutenção e reabilitação. Não basta a escolha da melhor estratégia de intervenção e o estabelecimento da melhor lista de prioridades, é necessário também que os serviços sejam executados corretamente. As atividades de manutenção e reabilitação de pavimentos devem ser realizadas de forma contínua, devido ao constante aparecimento de defeitos, causados pelas solicitações impostas pelo tráfego e pelo meio ambiente.

A detecção dos defeitos nos estágios iniciais é uma das tarefas mais importantes da manutenção. Trincas e outras patologias no pavimento, que inicialmente quase não são percebidas pelos usuários, podem evoluir rapidamente e causar sérios problemas se não forem prontamente seladas (Domingues, 1993). As técnicas de reparo não são a única maneira correta de se executar os serviços de manutenção e reabilitação, mas, comprovadamente, resultam em uma melhora significativa e duradoura dos pavimentos.

Um dos grandes problemas que se apresenta atualmente às Prefeituras brasileiras de pequeno e médio porte relativo ao Sistema Viário, diz respeito à verificação da qualidade dos pavimentos contratados junto à iniciativa privada ou executados por administração direta, por não disporem pessoal capacitado, não terem acesso a tecnologia desenvolvida nos centros acadêmicos e não disponibilizarem recursos financeiros para implantação de novos projetos de pavimento e sua manutenção (Trichês e Dal Pai, 2006).

Quando um pavimento não é recomposto, seguindo normas e exigências de controle de qualidade, poderá apresentar precocemente patologias como afundamentos, trincas, desgastes, escamação, descolamento, solapamento, buracos, estriagem, entre muitos outros. Estas patologias não recuperadas prejudicam a circulação dos veículos

nas vias, podendo ocasionar acidentes, desconforto dos usuários, aumento no tempo da viagem e no custo operacional dos veículos, ainda ter custos para reparos e retrabalhos no local da intervenção da obra (Balbo, 1997).

Grande parte dos problemas dos pavimentos urbanos está diretamente associado à má qualidade dos serviços de recomposição de valas abertas para instalação ou reparo de redes de infraestrutura urbana. Portanto, é de grande importância o controle de qualidade dos remendos, que é considerado o método de reparo mais utilizado na manutenção das vias urbanas. A reposição da pavimentação em vias públicas deve objetivar o restabelecimento do pavimento com características estruturais iguais ou superiores às do pavimento original, obedecendo às recomendações e exigências municipais. A superfície acabada deve estar nivelada com o pavimento original (Stuchi, 2005).

De forma geral, constata-se que a imensa maioria das prefeituras brasileiras se quer tem uma especificação construtiva para a abertura e reaterro de valas deixando a mercê das próprias concessionárias a tarefa do reaterro de valas, das quais muitas delas se quer tem equipamentos e profissionais em seus quadros capacitados para a execução deste tipo de serviço.

## **2.2 Abertura e Fechamento de Valas de Serviços Concessionados**

Qualquer intervenção em um pavimento passa a ser um ponto frágil que pode ficar exposto e, se não bem executado, além do desperdício de tempo e material envolvidos, pode comprometer definitivamente todo o pavimento, contribuindo de forma decisiva para acelerar a ruína do pavimento. Muito frequentemente se justifica o mau desempenho do pavimento na região da vala pela dificuldade em se utilizarem materiais com características próximas às do material que foi utilizado na execução inicial, pelo curto tempo disponível para a execução do serviço (realizados a noite para minimizar o transtorno ao usuário) e dificuldade de mobilidade para uso de equipamentos. Por essa razão, é necessário se esmerar na utilização de tecnologias e materiais adequados para a execução do fechamento da vala, pois sempre existirá a diferença de idade, uma vez que o pavimento existente apresenta modificações oriundas da ação das intempéries e do tráfego (Fortes, 2005).

Conforme regulamentação da Sudcap-PBH (2008), *os serviços manuais ou mecanizados de aterro ou reaterro de vala, serão feitos com*

*o emprego de solo selecionado e compactado. Os aterros ou reaterros serão espalhados manualmente no interior da vala e compactados mecanicamente, para assegurar o perfeito recobrimento das redes implantadas e o completo acabamento dos serviços.*

*Os fundos de valas deverão ser regularizados e fortemente compactados, utilizando-se compactadores de solos do tipo compactador de placas. O reaterro compactado das áreas entre cintas e paredes das valas, deverá ser executado mecanicamente com vibrador de placas, (CM-20, Mikasa ou equivalente). O material usado para o reaterro deverá ser umedecido e compactado até apresentar o grau de compactação adequado, de conformidade com a norma NB 5681, da ABNT. Os materiais empregados como reaterro, serão descarregados no interior da vala, sobre a canalização ou rede tubular construída, após a liberação e autorização da Fiscalização da Sudemap. Os materiais serão espalhados e regularizados com o auxílio de ferramentas manuais. Na operação, serão removidos galhos, matacões, entulhos e demais rejeitos, indesejáveis ao bom desempenho do reaterro da vala.*

*O reaterro de vala deverá ser executado sempre que possível com o mesmo material retirado da vala e com equipamento compatível com a sua largura e condições locais. A critério da Fiscalização da Sudemap, o material de reaterro poderá ser substituído, sendo a operação medida e remunerada à parte. As camadas soltas deverão apresentar espessura máxima de 30 cm e compactadas a um grau de 100 ou 95% do Proctor Normal, devendo ser umedecidas e homogeneizadas quando necessário. A operação deverá ser sempre mecanizada, só sendo permitido o reaterro manual com uso de soquete em locais onde não seja possível o uso de equipamento mecânico, a critério da Fiscalização.*

*O reaterro em redes tubulares de concreto, até 20 cm acima da geratriz superior do tubo, deverá ser executado manualmente com soquetes leves ou maço, devendo ser apiloado, sem controle do grau de compactação. Proceder, sempre, a compactação no entorno de poços de visita de redes de drenagem pluvial executadas, com compactadores de placa vibratória, executando-se as passadas suficientes à compacidade exigida em projeto e orientada pela Fiscalização da Sudemap. O entorno das caixas de bocas-de-lobo merece cuidados semelhantes utilizando para compactação manual ferramentas informais, devido ao pequeno espaço entre o corte e a parede da caixa.*

*A critério da Fiscalização, quando se tratar de serviços de recomposição de valas de drenagem ou de execução de remendos em pavimentos já existentes, admitir-se-á o uso de equipamentos de menor*

*porte para a compactação da camada, desde que a área da vala ou do remendo a ser trabalhada não comporte a execução com os equipamentos usuais. Para o reaterro compactado de valas, podem ser empregados os seguintes equipamentos: compactadores de placa vibratória (elétricos, à diesel ou gasolina); equipamentos de percussão (sapos mecânicos a ar comprimido); rolos compactadores de pequenas dimensões e soquetes manuais com mais de 30 kg.*

*Finalizando, na regulamentação da Sudicap-PBH (2008) para o controle tecnológico, deverão ser realizados os ensaios de controle de compactação segundo a NB 5681 e as camadas só serão liberadas se estiverem de acordo com as exigências normativas. Para dirimir qualquer dúvida na procedência e na qualidade dos materiais utilizados em reaterro, deverão ser procedidos os ensaios de caracterização nos mesmos. Os materiais deverão obedecer às especificações e serem submetidos aos ensaios previstos na ABNT, e os serviços serão executados obedecendo aos projetos padrões da SUDECAP- PBH.*

Segundo, Stuchi (2005), as valas devem ser aterradas com cuidado, para não danificar os tubos e para que o solo não afunde com o passar do tempo. Devem ser utilizados solos com teor de umidade em torno da umidade ótima de compactação, compactados com equipamento adequado ao tipo e dimensões da vala. Durante o reaterro, caso ocorram chuvas, as camadas atingidas devem ser removidas. No caso de ocorrência de solo mole no fundo da vala ou de lençol d'água aflorante, deve-se evitar a saturação das camadas do reaterro mediante execução de drenos. Na operação de fechamento deve-se utilizar solo com características iguais ou melhores que as do solo retirado da vala. O reaterro deve ser realizado em camadas. As primeiras camadas devem ser de 10 cm, até que essas atinjam 10 cm acima do tubo. Deve-se respeitar o valor máximo de 20 cm de espessura de material solto.

A PMSP (2005), em sua regulamentação para recomposição de valas, IR-01/2004, no caso da escavação ter atingido a camada de reforço e o subleito, especifica que *a reconstrução deverá ser feita com material granular solto. Serão colocadas camadas de solo selecionado com espessura máxima de 15 cm, compactadas a 100% do PN; na ausência de solo selecionado adequado, poderá ser substituído por areia lavada ou entulho reciclado. A compactação das camadas deverá ser realizada através de processo mecânico ou hidráulico no caso de areia, obtida com equipamento compatível com as dimensões da escavação e características do material empregado no reparo. Deverá ser tomada especial atenção quanto à necessidade de compactação das camadas do subleito e reforço. Após o preenchimento da vala na*

*umidade correta e compactada, a recomposição das camadas de base e revestimento deverá ser recomposto, preferencialmente, o tipo de pavimento original. Sempre que o material do subleito apresentar umidade excessiva deverá obrigatoriamente ser substituído por material no teor ótimo de umidade.*

*Caso a largura da vala seja inferior a 60 cm deverão ser removidas as camadas betuminosas (de revestimento e binder ou macadame betuminoso) lateralmente à vala, de forma que resulte em largura mínima de reposição das camadas betuminosas em 60 cm para permitir a adequada compactação com rolo manual vibratório ou placa vibratória.*

*Em complemento à inspeção visual, poderá ser solicitada pela fiscalização da PMSP a verificação da regularidade da superfície de rolamento. Esta verificação é feita da seguinte forma:*

*- Para valas contínuas (longitudinais): com uma régua de 3,0 metros colocada transversalmente ao eixo longitudinal da vala e apoiada sobre o pavimento existente e a superfície acabada da vala, o afastamento entre a vala e a régua não poderá exceder a 10mm (dez milímetros);*

*- Para valas transversais (obliquas) ou pontuais (de conserto): com uma régua de 3,0 metros colocada transversalmente ao eixo longitudinal da vala e apoiada sobre o pavimento existente e a superfície acabada da vala, o afastamento entre a vala e a régua não poderá exceder a 05 mm (cinco milímetros).*

*Para garantir a ligação das camadas betuminosas na superfície de corte, as laterais do pavimento referente à vala, na profundidade das camadas betuminosas, os cortes deverão ser verticais em relação à superfície e receberão uma imprimação ligante. Com o objetivo de limitar a propagação de trincas através do escalonamento da seção de recomposição do pavimento, a camada betuminosa intermediária de Binder deverá ser executada em largura 10 cm maior que os limites da vala.*

*Finalizando a regulamentação da PMSP, para a certificação da utilização dos materiais, instruções de execução de reparos, a empresa executora deverá adotar controle tecnológico durante a execução dos serviços. A espessura da camada de cada material componente da seção transversal da reposição será obtida através de controle tecnológico ou por sondagem exploratória, e deverá apresentar valores iguais ou superiores aos exigidos na seção-tipo adotada. Os trechos da vala onde os parâmetros dos subitens anteriores não forem atendidos deverão ser*

*refeitos após demolição completa da camada de revestimento. Para o recebimento definitivo da obra, deverá ser realizada pelo fiscal da prefeitura uma vistoria para constatação da qualidade do acabamento superficial da reposição da vala; caso visualmente a fiscalização constatar defeitos provenientes de vícios de construção, afundamentos, trincas, desagregação superficial e outros, a permissionária deverá providenciar através de firma certificadora definida, a análise para verificação da causa do defeito e posterior reconstrução adequada da vala ou reparação do defeito.*

## **2.3 Cone de Penetração Dinâmica (DCP)**

### **2.3.1 Histórico**

O Cone de Penetração Dinâmica (CPD) ou “Dynamic Cone Penetrometer” (DCP), teve seu primeiro modelo portátil em 1956, através de aperfeiçoamentos feitos por Scala (Scala, 1956). O DCP fornece o valor da taxa de penetração do Cone de Penetração Dinâmica realizado em solos indeformados ou de materiais compactados. A taxa de penetração pode ser relacionada com a resistência do solo “in situ” como uma estimativa do CBR “in situ” (Van Vuuren, 1969). A massa específica do solo pode ser estimada se o tipo de solo e seu teor de umidade forem conhecidos. O equipamento foi inicialmente empregado para análise do subleito na Austrália. (TRRL, 1970; 1973). Posteriormente várias pesquisas foram desenvolvidas com o objetivo de empregar o equipamento na avaliação de pavimentos (Kleyn, 1975; 1982), avaliação da capacidade de suporte do solo de fundação (Livneh e Isahai, 1984; Oliveira e Vertamatti, 1997; Amaral, 2005), investigação geotécnica (Fontes, 2001; Karunaprema e Edirisinghe, 2002; Berti, 2005; Dal Pai, 2006), controle de qualidade da compactação (Cardoso e Trichês, 1998; Lima 2000; Alves, 2002), dimensionamento de pavimentos (Kleyn, 1982; Dal Pai, 2006; Guedes, 2008) e estimativa de propriedades mecânicas (Angeloni *et al.*, 1991; Alves, 2002; Amini, 2005).

O Penetrômetro Dinâmico de Cone consiste em uma barra de aço de 16 mm de diâmetro, a qual possui fixado na ponta um cone de aço com 20 mm de diâmetro de base e ângulo de 60°, possui também um martelo de aço, com peso de 8 Kg, que desliza por uma barra de aço de 25 mm de diâmetro, com uma altura de queda de 575 mm. A penetração do cone, em termos de profundidade, é medida por meio de uma régua

graduada que permanece apoiada à superfície e paralela à haste de sustentação do equipamento. O DCP tem massa total aproximada de 14 kg., sendo projetado para penetrar a uma profundidade média de até 800 mm ou, quando uma extensão da haste é fixada, pode atingir uma profundidade de 1.200 mm. A Figura 2.1 ilustra o equipamento padrão África do Sul.

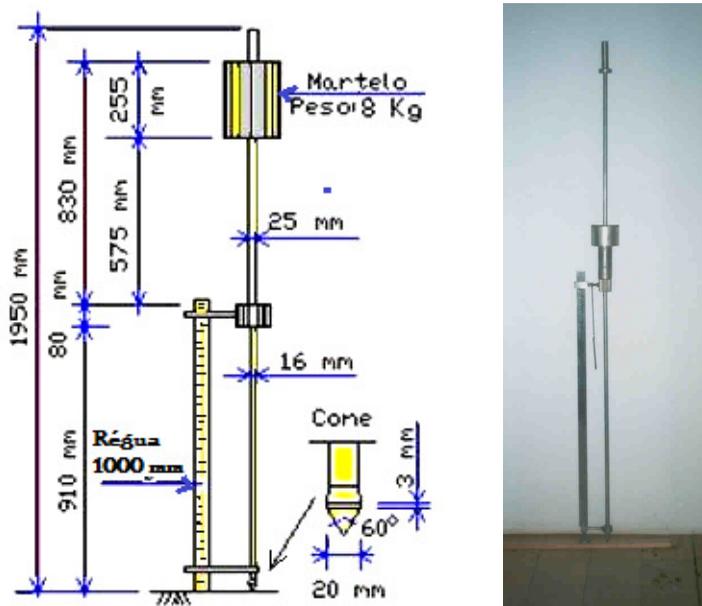


FIGURA 2.1 – Cone de Penetração Dinâmica (DCP), Alves (2002) e Berti (2005).

### 2.3.2 Aplicação do ensaio de DCP

O ensaio DCP apresenta uma extensa variedade de aplicações. Dentre as atividades nas quais a utilização do DCP apresenta vantagens significativas quando comparadas com os métodos tradicionais, destacando-se:

- Avaliação estrutural de pavimentos existentes com a discretização das espessuras e resistências das camadas (Kleyn, 1975; 1982; Livneh e Isahai, 1984);

- controle de compactação de camadas de aterro de pavimentos e de corpos de barragem; identificação e delimitação da ocorrência de “borrachudos” durante a execução de aterros compactados (Cardoso e Trichês, 1998; Lima 2000; Alves, 2002);

- estudos da eficiência de compactação de equipamentos compactadores (Angeloni *et al.*, 1991);

- verificação da variação de resistência de camadas estruturais ao longo das estações climáticas (Oliveira e Vertamatti, 1997); e

- verificação qualitativa da colapsividade de solos porosos, Lima (2000).

Os gráficos obtidos com o DCP permitem definir as espessuras e as propriedades das camadas no que diz respeito à resistência do solo. Portanto, o equipamento pode ser empregado controlar a qualidade de compactação, inclusive de camadas inferiores, sem a necessidade de destruir as superiores, avaliar a resistência do subleito ou das camadas do pavimento, conduzindo para a avaliação e reabilitação do pavimento e, possivelmente, estimando a capacidade estrutural de pavimentos existentes, e/ou ainda avaliar as propriedades durante a fase da construção (Cardoso e Trichês, 1998; Lima, 2000; Alves, 2002; Dal Pai, 2006; Berti, 2005).

Além de se poder utilizar o DCP para avaliar o valor de CBR do solo, ele possui a vantagem sobre o tradicional ensaio de CBR por ser mais simples de se manusear podendo o ensaio ser conduzido tanto em laboratório como em campo com o mesmo equipamento.

O DCP proporciona rápida caracterização dos materiais quanto aos parâmetros de resistência, além de poder ser aplicado como um procedimento de investigação geotécnica para fins de desenvolvimento de um projeto de pavimentação, controle tecnológico das camadas de terraplenagem e camadas do pavimento durante a execução da obra. Para tanto, é necessário que se conheça a “curva de calibração” que relaciona o ensaio de DCP e o de CBR da Unidade Geotécnica onde está inserida a via ou do solo empregado na construção (Alves 2002).

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Santa Catarina (DER/SC), atualmente Departamento de Infra-Estrutura (DEINFRA/SC), desde 1992 recomenda a utilização do DCP em suas especificações de serviço para controle de compactação das camadas de regularização de subleito e de bases de solos estabilizados. Com ele é possível determinar o perfil de resistência de camadas de solo compactadas ou em seu estado natural, controlar a execução de obras viárias e avaliar estruturas de pavimentos.

O ensaio de DCP também pode ser empregado para determinar a resistência de uma ampla cadeia de materiais, com atenção ao alto grau de variabilidade dos valores de ensaios geralmente encontrados com materiais granulares de diâmetro superior a 20 mm, sendo tal variação atribuída ao tamanho do agregado, à natureza da fração de finos e à densidade relativa (Selig e Waters, 1994).

### **2.3.3 Obtenção da curva de calibração**

A “curva de calibração” do solo ou de uma Unidade Geotécnica é representada pela correlação entre o Índice de Penetração (DN) - DCP e a Capacidade de Suporte Califórnia (CBR). Segundo o procedimento proposto por Trichês e Alves (2000), esta correlação pode ser obtida da seguinte forma:

- Obtenção da curva de compactação do solo na energia de compactação desejada;

- Sobre a curva de compactação definir pelo menos 5 pontos para moldagem de 2 corpos-de-prova (CP) em cada ponto com as mesmas condições de umidade e massa específica aparente seca. Preferencialmente estes pontos deverão estar ao redor da umidade ótima e no ramo úmido da curva de compactação. A moldagem dos CPs é feita no mesmo tipo de cilindro e molde do ensaio de compactação;

- Em um CP, com imersão, é realizado o ensaio de CBR. No outro CP sem imersão, é realizado o ensaio de DCP, posicionando-se o penetrômetro no centro do corpo de prova, anotando-se a penetração, em milímetros, a cada golpe, desprezando-se a primeira leitura. Com os resultados plota-se a curva profundidade versus número de golpes necessários para a cravação da haste até a referida profundidade. Desta curva é obtido o valor do DN, que representa a inclinação desta curva, cuja unidade é mm/golpe;

A curva de calibração do Solo, DN versus CBR, é definida através de análise de regressão relacionando-se o valor do DN (sem imersão) com o CBR (com imersão). Uma vez que não necessariamente se consegue obter 2 CPs com as mesmas condições de umidade e massa específica aparente, previamente deve-se fazer uma correção nos valores segundo o procedimento proposto por Dal Pai (2006).

Lima (2000) e Alves (2003), através de ensaios laboratoriais, obtiveram correlações na condição sem imersão em cinco classes de solos.

Geralmente, o modelo adotado pelos vários autores para relacionar o DN e o CRB é o seguinte:

$$\log(CBR) = a + b \cdot \log(DN)$$

onde:

- DN = Índice de penetração (mm/golpe);
- 'a' e 'b' = Constantes determinadas experimentalmente.

O Quadro 2.1 apresenta algumas correlações DN versus CBR obtida por diferentes autores e diferentes tipos de solos.

QUADRO 2.1 – Correlações DN e CBR encontradas na literatura

Correlação	Autores
$\text{Log (CBR)} = 2,63 - 1,28 \log (\text{DN})$	Kleyn
$\text{Log (CBR)} = 2,56 - 1,16 \log (\text{DN})$	Livneh
$\text{Log (CBR)} = 2,55 - 1,14 \log (\text{DN})$	Harison
$\text{Log (CBR)} = 2,48 - 1,06 \log (\text{DN})$	TRRL
$\text{Log (CBR)} = 2,60 - 1,07 \log (\text{DN})$	Amini
$\text{Log (CBR)} = 2,51 - 1,07 \log (\text{DN})$ s/ imersão $\text{Log (CBR)} = 2,49 - 1,06 \log (\text{DN})$	Oliveira e Vertamatti
$\text{CBR} = 512,64 / (\text{DN})^{-1,25}$ “in situ” $\text{CBR} = 151,58 / (\text{DN})^{-1,03}$ após imersão	Trichês e Cardoso

Segundo Oliveira (1998) e Lima (2000), o uso indiscriminado de tais correlações pode implicar em erros significativos de interpretação e a consequente previsão incorreta da resistência dos solos. A maioria das correlações publicadas não faz referência às condições de realização dos ensaios, do número de testes realizados, das características dos materiais utilizados e dos valores dos coeficientes de determinação das equações encontradas.

### 2.3.4 Execução do ensaio em campo

Para manusear o equipamento é necessário pelo menos dois operadores, o que torna o ensaio bastante rápido, gastando ao redor de

dez minutos para a sua execução com penetração máxima da haste de 800 mm.

Durante a execução do ensaio devem-se ter alguns cuidados tais como:

- verificar se o equipamento está limpo e o bom estado do cone;
- além do operador do peso ter um ritmo regular, ele deve cuidar, ao elevar o peso, para não bater no limite superior da altura de queda e provocar uma movimentação ascendente do aparelho;
- verificação periódica se do estado da ponta cônica.

Para a execução do ensaio, a haste do DCP deve estar posicionada verticalmente para que o martelo de 8,0 kg caia livremente em queda livre. Qualquer inclinação do equipamento gera um atrito entre a barra de 25 mm e o martelo, superestimando o valor da resistência do solo obtido pelo equipamento (Alves, 2002).

A operação do DCP é extremamente simples. Um operador segura no punho e levanta o martelo e o outro, faz as leituras de penetração do cone na régua. Aplica-se um primeiro golpe sem levantar totalmente o martelo, de forma a permitir uma pequena penetração do cone e conseqüentemente a mobilização total da resistência de ponta. Nesse momento, anota-se a leitura inicial na régua em uma planilha de campo (Dal Pai, 2005).

A partir de então, inicia-se a cravação do cone para sucessivos golpes. O número de golpes arbitrariamente escolhido pode ser mudado dependendo da resistência da camada penetrada. O TRRL (1999) recomenda para base granular de boa qualidade, 5 ou 10 golpes, e para sub-base e subleito de baixa resistência 1 a 2 golpes por leitura de penetração. Se as leituras de penetração não forem frequentes, pontos fracos não serão avaliados e será mais difícil identificar, precisamente, as divisas das camadas, perdendo-se importantes dados.

### **2.3.5 Análise dos resultados de campo**

Os resultados do ensaio de DCP, são anotados em planilha padrão onde se indica, para cada golpe aplicado, ou para uma série predeterminada de golpes, a profundidade penetrada pela haste que sustenta o cone. Com os valores das leituras de penetração e o respectivo número de golpes para esta penetração, plota-se a curva “penetração versus número de golpes”.

Plotados os pontos, traça-se a melhor reta e a inclinação desta representa o Índice de Penetração (DN) ou Número DCP em mm/golpe,

o qual é obtido através da razão entre a profundidade penetrada pela haste e o número de golpes necessários para penetrar até a respectiva profundidade. O DN representa assim, a resistência que o solo apresenta à penetração do cone.

As curvas do ensaio de DCP podem apresentar inclinações variáveis como ilustrado na figura 2.2. Nesta figura, a mudança da inclinação da reta, indica a alteração da resistência do material, devido, por exemplo, à variação do teor de umidade, massa específica aparente, ou ainda, mudança do tipo de material da camada (Cardoso e Trichês, 1998; Alves, 2002). Desta forma, pode-se estimar a que profundidade ocorre esta mudança de comportamento definindo-se a espessuras das diferentes camadas com diferentes comportamentos dos materiais.

Na figura 2.2, são ilustradas três camadas bem definidas, a primeira com espessura de 260mm e DN igual a 15,0 mm/golpe, a segunda com 470,0 mm e DN igual 50,0 mm/golpe e a última, solo de fundação, sem uma definição da espessura, apresenta um DN de 8,0 mm/golpe (Cardoso e Trichês, 1998).

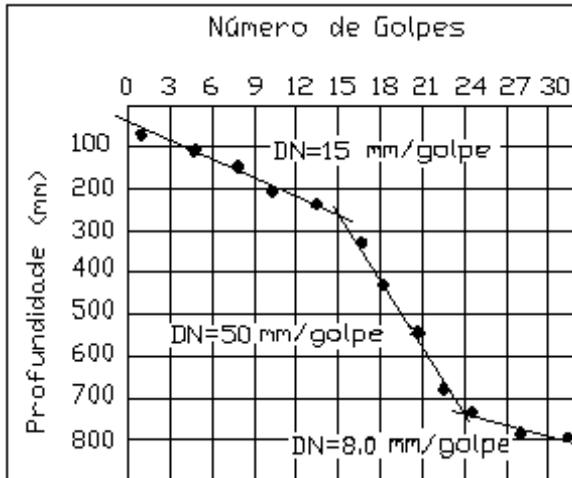


FIGURA 2.2 – Curva DCP, (Cardoso e Trichês, 1998).

A diferença das cotas entre as duas mudanças de inclinação representa a espessura da camada atravessada pela haste do DCP. Como já mencionado, a inclinação da curva nos diferentes segmentos é expressa pela razão entre a profundidade e o respectivo número de golpes para alcançá-la é denominado de índice de DCP, ou DN, o qual

representa a resistência “in situ” do material penetrado pela haste, em termos de mm/golpe.

O formato das curvas DCP permite também fornecer informações relevantes quanto ao processo de compactação, como por exemplo, a homogeneidade da compactação com a profundidade e a eficiência do equipamento utilizado para compactação. Na figura 2.3 são ilustradas três exemplos de Curvas DCP, com as seguintes interpretações:

- Curva DCP1, é típica quando se tem uma homogeneidade de compactação com a profundidade, mostrando a repetibilidade do procedimento adotado ao longo da espessura da camada. Pode ocorrer, todavia, que não necessariamente a compactação executada atende a especificação exigida;

- Curva DCP2, indica que a parte superior da camada está compactada com um grau de compactação maior que a parte inferior. Esta curva pode indicar que se está gastando mais energia do que o necessário para compactar a camada, que o equipamento de compactação utilizado é inadequado para o solo que se deseja compactar ou, ainda, que a camada é muito espessa para o equipamento que está sendo utilizado;

- Curva DCP3, indica que a parte superior da camada apresenta um grau de compactação menor que a parte inferior, indicando, provavelmente, a necessidade de recompactação (Alves e Trichês, 2002).

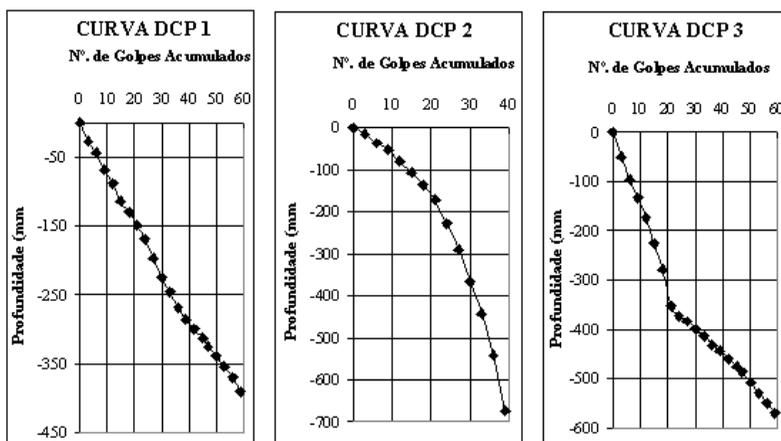


FIGURA 2.3 – Formato típico das Curvas DCP (Trichês e Cardoso, 2001).

Dependendo do tipo de material que compõe a camada do pavimento ou as suas condições de umidade e massa específica, a inclinação da curva DCP muda: quando verticalizada indica materiais com menor capacidade de suporte e, por sua vez, quanto mais horizontal, maior será a resistência da camada penetrada (Trichês e Cardoso, 1999).

## **CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DA PESQUISA**

A proposição desta dissertação é o desenvolvimento de uma metodologia que permita o controle tecnológico de reaterro de valas urbanas de ruas pavimentadas através do emprego do Cone de penetração Dinâmica (DCP).

O desenvolvimento da pesquisa se dará através da realização das seguintes etapas descritas a seguir.

### **3.1 Etapa 1 - Caracterização do Procedimento de Reaterro de Valas**

Nesta etapa foi feito um acompanhamento de forma aleatória dos procedimentos de reaterro de valas executados por concessionárias de serviços de água e esgoto na cidade de Belo Horizonte. Este acompanhamento consistiu em observar se os procedimentos estavam em conformidade com os regulamentos do Caderno de Encargos - 3ª edição / 2008 da SUDECAP – PBH (Superintendência de Desenvolvimento da Capital - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte) e das Normas Técnicas – 176 / 2001 da COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais). Ao final desta etapa estabeleceu-se qual o procedimento empregado para o reaterro de valas abertas pelas Concessionárias.

### **3.2 Etapa 2 - Seleção e Localização das Valas para Realização da Pesquisa**

A seleção e definição da localização das valas foi em função dos serviços normais de reparos de água e esgoto executados por uma das empresas concessionada para este tipo de serviço, na região Oeste de Belo Horizonte.

O Quadro 3.1, apresenta as oito valas selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa. Todas as valas estão localizadas na Região Oeste de Belo Horizonte/MG e foram acompanhadas, conforme programação de execução da Empresa Concessionada, sem qualquer interferência de minha parte.

QUADRO 3.1 – Localização das valas na Região Oeste de Belo Horizonte

Vala	Logradouro	Bairro
1	Av. Nossa Senhora de Fátima	Gameleira
2	Rua Santa Cecília	Nova Cintra / Vista Alegre
3	Av. Guaratá com Rua Tombos	Calafate
4	Rua Crispim Jacques	Vista Alegre
5	Rua Lindolfo de Azevedo	Jardim América
6	Marginal da Av. Tereza Cristina com Av. Amazonas	Gameleira
7	Rua Maria Antônia Fragolia	Camargos
8	Rua Cândida Ferraz Garcia	Nova Gameleira

As Figuras de 3.1 a 3.8 mostram os mapas de localização das valas nas ruas da Região Oeste de Belo Horizonte, onde foi realizada a pesquisa.



FIGURA 3.1 – Mapa da Av. Nossa Senhora de Fátima – Gameleira - Google (2009).



FIGURA 3.2 – Mapa da Rua Santa Cecília – N. Cintra/Vista Alegre - Google (2009).

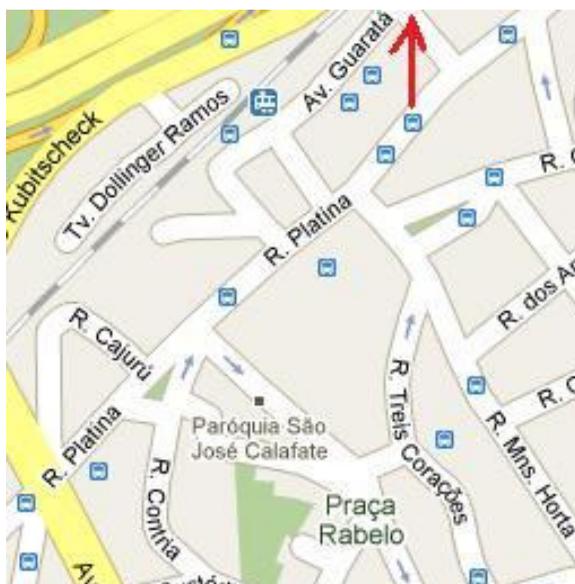


FIGURA 3.3 – Mapa da Av. Guaratá com Rua Tombos – Calafate - Google (2009).



FIGURA 3.4 – Mapa da Rua Crispim Jaques – Vista Alegre - Google (2009).



FIGURA 3.5 – Mapa da Rua Lindolfo de Azevedo – Jardim América - Google (2009).



FIGURA 3.6 – Mapa da Marginal da Av. Tereza Cristina com Av. Amazonas – Gamaleira - Google (2009).

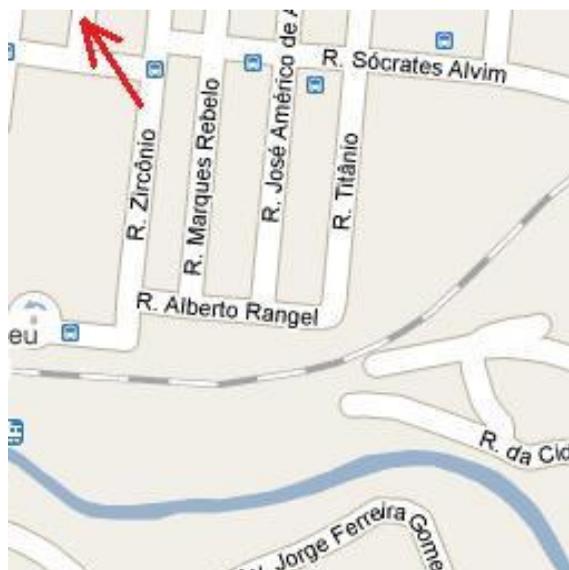


FIGURA 3.7 – Mapa da Rua Maria Antônia Fragolia – Camargos - Google (2009).



FIGURA 3.8 – Mapa da Rua Cândida Ferraz Garcia – Nova Gameleira - Google (2009).

O Quadro 3.2, apresenta as características geométricas e o tipo de serviço de reparos que foram executados nas valas.

QUADRO 3.2 – Características geométricas das valas

Vala	Comp. (m)	Larg. (m)	Alt. (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Tipo de serviço
1	6,00	1,50	1,80	16,20	Reparo rede de esgoto
2	4,80	0,80	2,50	9,60	Reparo rede de esgoto
3	3,50	0,80	1,80	5,04	Reparo rede de esgoto
4	8,90	0,80	2,70	19,22	Reparo rede de esgoto
5	3,20	0,80	2,30	5,89	Reparo rede de esgoto
6	3,30	0,90	1,60	4,75	Reparo rede de água
7	24,00	1,00	0,80	19,20	Reparo rede de esgoto
8	10,00	0,90	1,30	11,70	Reparo rede de água

O acompanhamento das valas para o desenvolvimento da pesquisa foi realizado através dos procedimentos descritos a seguir.

- Acompanhamento diário, de acordo com a programação da Empresa;
- Demarcação de área da vala a ser escavada;
- Corte com Serra Clipper do revestimento demarcado;
- Escavação mecânica e manual da vala;
- Separação do material de subleito e da base;
- Reparo da rede de água ou de esgoto;
- Reaterro da vala;
- Coleta do material para ensaios em laboratório;
- Colocação de material de base;
- Colocação do revestimento em CBUQ.

### **3.3 Etapa 3 - Caracterização dos Materiais das Valas**

Durante o acompanhamento do reaterro das valas, foi coletado material do subleito, correspondente ao solo de fundação do pavimento, na altura média de 60 cm, em quantidade suficiente para a execução dos ensaios de laboratório. O Quadro 3.3, ilustra os materiais existentes nas valas acompanhadas.

Com o material coletado foram executados os seguintes ensaios:

- DNER-ME 041/94 - Preparação de amostras para ensaios de caracterização;
- DNER-ME 80/94 - Ensaio de Granulometria por peneiramento;
- NBR 7181/84 – Granulometria por sedimentação;
- NBR 6508/84 – Determinação da massa específica dos grãos dos solos
- DNER-ME 82/94 - Determinação do Limite de Plasticidade (LP);
- DNER-ME 44/64 - Determinação do Limite de Liquidez (LL);
- DNER-ME 47/64 - Ensaio de Compactação;
- DNER-ME 49/94 - Determinação do Índice de Suporte Califórnia (California Bearing Ratio-CBR).

Para a classificação dos solos foi empregando o método tradicional (Classificação USCS e HRB), sendo a granulometria feita por peneiramento e sedimentação.

QUADRO 3.3 – Identificação visual-tátil de materiais das valas.

Vala	Classificação visual-tátil	Foto do material
1	Argila arenosa vermelha	
2	Argila siltosa vermelha	
3	Silte argiloso amarelo	
4	Argila siltosa amarela	
5	Argila siltosa vermelha	
6	Argila arenosa vermelha	

7	Silte argiloso c/ pedregulho	
8	Argila siltosa vermelha	

### 3.4 Etapa 4 - Ensaios “in situ” com o DCP e Frasco de Areia

Com o objetivo de avaliar o perfil estrutural e a qualidade de compactação de cada uma das oito valas executadas pela concessionária, logo após a compactação de todas as camadas de cada vala até altura de colocação de base, foram realizados ensaios com o Cone de Penetração Dinâmica – DCP.

Um dos cuidados adotados nesta etapa de execução dos serviços de reparos de água e esgoto, principalmente o de reaterro de valas foi o de não mascarar os resultados e a realidade do dia a dia de execução deste tipo de serviço. A ordem de serviço é dada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, de acordo com a solicitação dos usuários e beneficiários dos serviços de água e esgoto.

Foi realizado também, logo após a compactação da última camada (subleito), o ensaio com o frasco de areia (NBR-7185/86), para verificação do grau de compactação “in situ”. A determinação do Índice de Penetração (DN) foi realizada posicionando-se o DCP próximo ao centro do furo do frasco de areia (eixo) e os demais (BE e BD) a um metro de distância do frasco de areia, lados opostos, e a uma distância de quinze centímetros dos bordos. Os ensaios com o DCP foram realizados conforme instruções da TRRL/86 e ASTM D6951/03, anotando-se a penetração em milímetros, a cada golpe, sendo que a primeira leitura foi desprezada.

Para se conhecer o teor de umidade durante os ensaios de campo de cada vala, foi coletado o material e colocado em cápsulas, utilizando-se do método de ensaio da estufa descrito na norma DNER-ME 213/94.

### **3.5 Etapa 5 - Obtenção da Curva de Calibração**

A Obtenção da curva de compactação do solo foi através da energia de compactação de Proctor Normal. A curva de compactação foi definida por 5 pontos para moldagem de 2 corpos-de-prova (CP) em cada ponto com as mesmas condições de umidade e massa específica aparente seca. Os pontos de moldagem estavam próximo da umidade ótima e no ramo úmido da curva de compactação. A moldagem dos CPs foi feita no mesmo molde do ensaio de compactação, Trichês e Alves (2000).

Em um CP, sem imersão, foi realizado o ensaio de DCP, posicionando-se o cone (DCP) no centro do corpo de prova, anotando-se a penetração, em milímetros, a cada golpe, desprezando-se a primeira leitura. Com os resultados plotou-se a curva profundidade versus número de golpes necessários para a cravação da haste até a referida profundidade. Desta curva foi obtido o valor do DN, que representa a inclinação desta curva, cuja unidade é mm/golpe. No outro CP, com imersão, é realizado o ensaio de CBR.

A curva de calibração do Solo, DN versus CBR, foi definida através de análise de regressão relacionando-se o valor do DN (sem imersão) com o CBR (com imersão).

### **3.6 Etapa 6 - Vala Experimental**

Foi executada duas valas experimentais sendo uma nas dependências da regional oeste da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Para execução destas valas, foram utilizados todos os procedimentos de execução bem como coleta de material. Foram utilizados todos os procedimentos descritos nas etapas 3, 4 e 5.

### **3.7 Etapa 7 - Proposta de Especificação de Serviços**

Estabelecimento de procedimentos necessários para serem adotados na execução e fiscalização dos serviços de abertura e fechamento de valas de vias urbanas pavimentadas, de acordo com a realidade atual de execução e normas vigentes.

A Figura 3.9 apresenta um Diagrama com a síntese da Metodologia da Pesquisa.

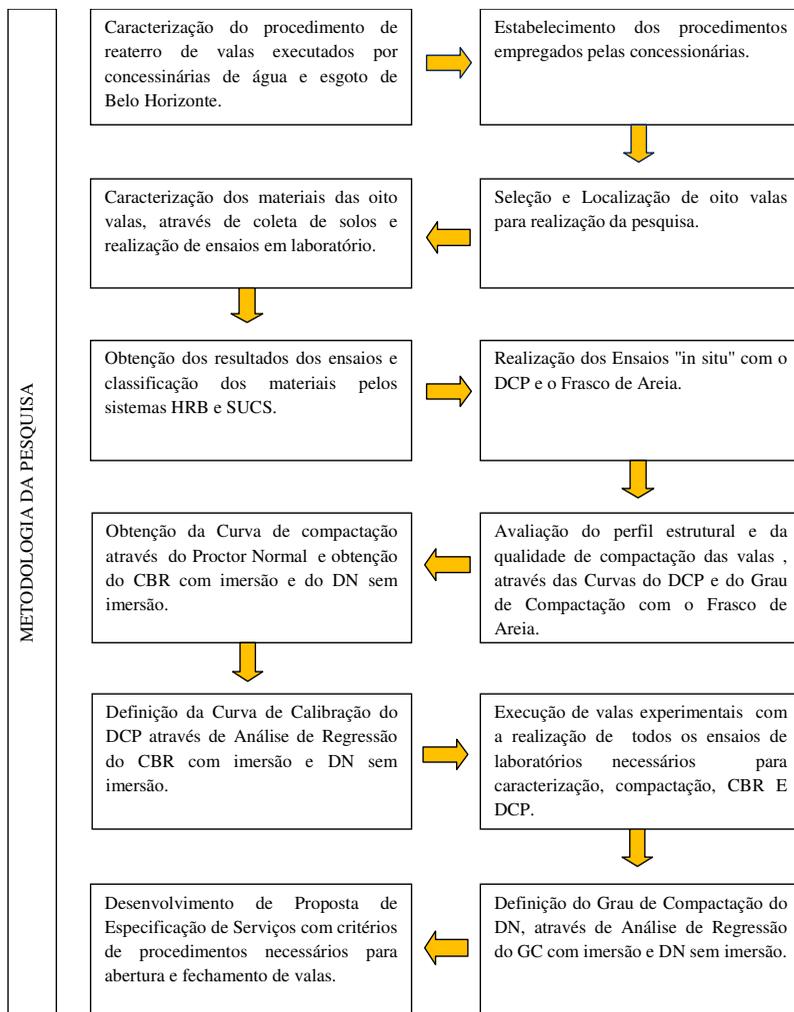


FIGURA 3.9 – Diagrama da Metodologia da Pesquisa.



## **CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentados e analisados dos resultados obtidos nas oito valas selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa.

### **4.1 Caracterização do Procedimento do Reaterro de Valas**

Nesta etapa procurou-se caracterizar o procedimento empregado pelas concessionárias de serviços públicos do município de Belo Horizonte no reaterro de valas. Nesta etapa, teve-se o cuidado de não se fazer qualquer inferência no procedimento empregado, portando-se o pesquisador como um mero expectador da execução do serviço. As oito valas acompanhadas nesta etapa foram escolhidas de forma aleatória.

As informações obtidas e a documentação fotográfica do procedimento empregado eram, posteriormente, confrontadas com os regulamentos do Caderno de Encargos - 3ª edição / 2008 da SUDECAP – PBH (Prefeitura de Belo Horizonte) e das Normas Técnicas – 176 / 2001 da COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais).

As Figuras de 4.1 a 4.6 ilustram os procedimentos de reaterros de valas para instalação ou concerto de serviços concessionados de água e esgoto, adotados pelas diversas concessionárias atuantes no município de Belo Horizonte. Na prática, pode-se constatar que os procedimentos empregados nem sempre eram executados conforme normas estabelecidas pela SUDECAP e pela COPASA.



FIGURA 4.1 – Espalhamento mecanizado de material na vala.



FIGURA 4.2 – Espalhamento manual de material na vala.



**FIGURA 4.3 – Colocação de material de base.**



**FIGURA 4.4 – Compactação da camada de subleito.**



**FIGURA 4.5 – Compactação de camada de base.**



**FIGURA 4.6 – Colocação de camada de revestimento da vala.**

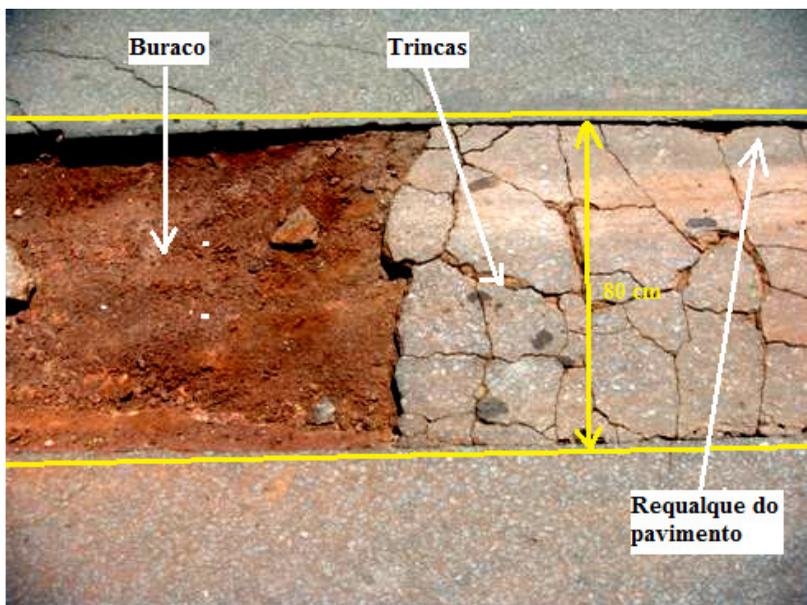
A partir do acompanhamento realizado pode-se afirmar que na abertura das valas:

- As empresas concessionárias utilizam serra de corte para abertura das valas em revestimentos asfálticos;
- No processo de escavação, há uma preocupação com a separação dos materiais granulares de base e dos materiais argilosos.

Em relação ao reaterro da vala, pode-se afirmar que:

- Não há controle das espessuras das camadas de reaterro
- Não há controle de umidade dos materiais.
- Não há controle do grau de compactação da camada ficando a cargo da expertise do operador do soquete mecânico o término da compactação.
- Não foi observada execução de ensaios de controle tecnológico da camada de revestimento.

A falta destes controles e de uma fiscalização eficiente na execução deste tipo de serviço tem relação direta com o precoce aparecimento de afundamentos plásticos, trincas e buracos no revestimento, reduzindo a vida útil do pavimento executado na vala e induzindo o aparecimento de patologias nas áreas contíguas às valas como ilustrado na Figura 4.7.



**FIGURA 4.7 – Patologias decorrentes da falta de controle tecnológico.**

## 4.2 Caracterização dos Materiais das Valas

O Quadro 4.1 mostra os resultados da análise granulométrica e a Figura 4.8 mostra as curvas granulométricas dos solos de fundação das oito valas acompanhadas nesta pesquisa.

QUADRO 4.1 – Resultados da análise granulométrica das oito valas

Peneiras		Porcentagem passante acumulado (%)							
		Vala 1	Vala 2	Vala 3	Vala 4	Vala 5	Vala 6	Vala 7	Vala 8
N	(mm)								
1	25			100					
¾	19	100	100	97			100	100	100
3/8	9.5	99	98	88	100		98	95	97
¼	6.3	98	96	85	99		96	88	94
n 4	4.8	97	95	83	98	100	95	84	92
n 8	2.4	92	92	78	96	98	91	77	87
n 16	1.2	89	90	75	94	97	90	73	81
n 30	0.6	81	78	66	85	95	85	60	79
n 40	0.45	73	66	61	81	93	80	55	75
n 50	0.3	66	61	54	73	89	75	48	71
n 100	0.15	50	46	43	57	77	63	41	54
n 200	0.075	41	39	36	50	66	58	36	46

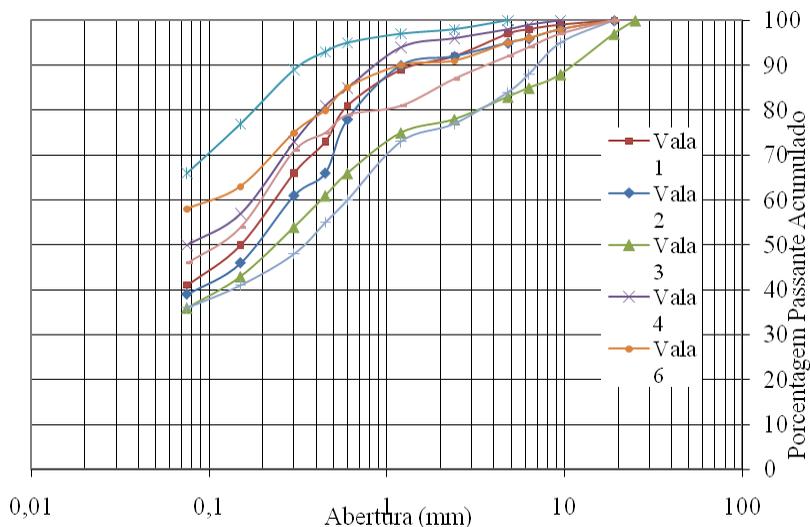


FIGURA 4.8 – Curvas granulométricas do solo de fundação das oito valas pesquisadas.

O Quadro 4.2 mostra o resumo das características geotécnicas dos solos das oito valas.

Conforme as Classificações HRB e UCSC, os materiais das oito valas são de solos argilosos e areias argilosas.

### 4.3 Obtenção da Correlação CBR x DN

A correlação CBR x DN para cada solo foi obtida conforme descrito no item 2.3.3. Para cada vala foram moldados dez corpos de prova com energia do Proctor Normal.

Os resultados dos ensaios realizados para estabelecer as correlações podem ser vistos nos Quadros 4.3 a 4.10. As Figuras 4.9, 4.11, 4.13, 4.15, 4.17, 4.19, 4.21 e 4.23 apresentam as curvas de compactação e CBR. As correlações são apresentadas nos gráficos das Figuras 4.10, 4.12, 4.14, 4.16, 4.18, 4.20, 4.22 e 4.24, onde se correlaciona o parâmetro CBR (com imersão) com seu respectivo valor de DN (sem imersão).

QUADRO 4.2 – Resumo das características geotécnicas dos solos das oito valas

Local de coleta		Vala 1	Vala 2	Vala 3	Vala 4	Vala 5	Vala 6	Vala 7	Vala 8
Descrição do solo		Areia argilosa	Areia siltosa	Areia siltosa	Areia argilosa				
Unidade Geotécnica		PVA	PVA	PVA	PVA	PVA	PVA	PVA	PVA
Granulometria	Areia grossa	5,1	3	5	2	2	3	7,3	5,3
	Areia média	17,9	26	17	15	3	11	22	11
	Areia fina	32,8	23	22	33	42	43	23,2	27
	Silte	11,1	7	14	6	7	21	17,8	7,1
	Argila	30,1	36	25	42	46	17	14	41,9
Limite liquidez - LL		36,6	32,3	34,2	38,2	45,4	41,7	34,2	38,5
Limite plasticidade - LP		24,9	21,5	22,7	24,8	30,4	30,1	23,2	27,2
Índice de plasticidade - IP		11,6	10,8	11,5	13,4	15	11,6	11	11,3
Índice de grupo - IG		4	2	1	3	8	7	0	2
Classificação HRB		A-6	A-6	A-6	A-6	A-7-5	A-7-5	A-6	A-6
Classificação SUCS		SC	SC	SC	SC	CL	CL	SC	SC

QUADRO 4.3 – Resumo dos ensaios de CBR com imersão e DCP sem imersão (Vala1)

Tipo	Corpo de Prova	Umidade (%)	MEAS (kg/m <sup>3</sup> )	DN (mm/golpe)
Sem imersão	20	12,8	1.564	10,0
	2	14,9	1.596	11,6
	8	17,1	1.669	17,3
	19	19,3	1.623	29,1
	17	21,4	1.558	100,0
				CBR (%)
Com imersão	9	11,1	1.549	2,7
	14	13,2	1.652	9,0
	7	15,3	1.759	14,2
	11	17,5	1.740	7,1
	8	19,6	1.657	1,7
MEAS (kg/m <sup>3</sup> ) = 1.772		w ót (%) = 16,0	Expansão (%) = 0,1	CBR (%) = 4,0

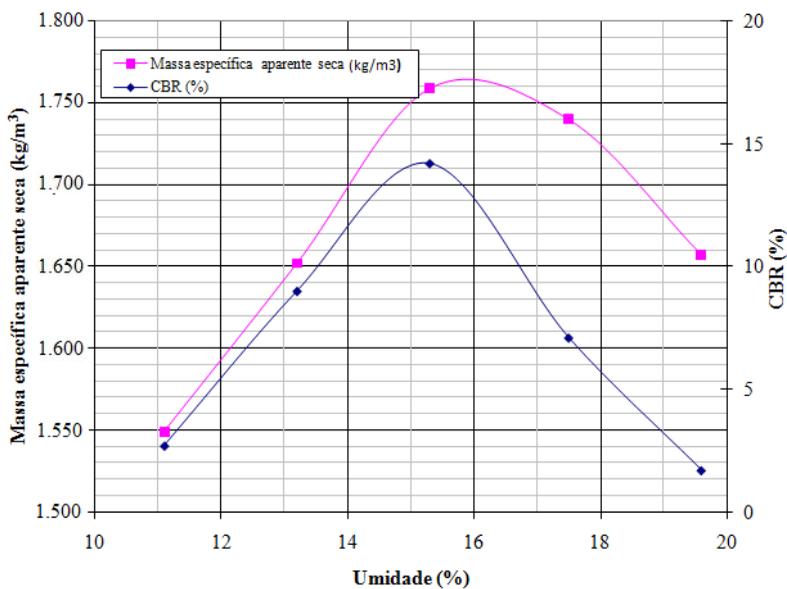


FIGURA 4.9 – Curvas de compactação e CBR - vala 1.

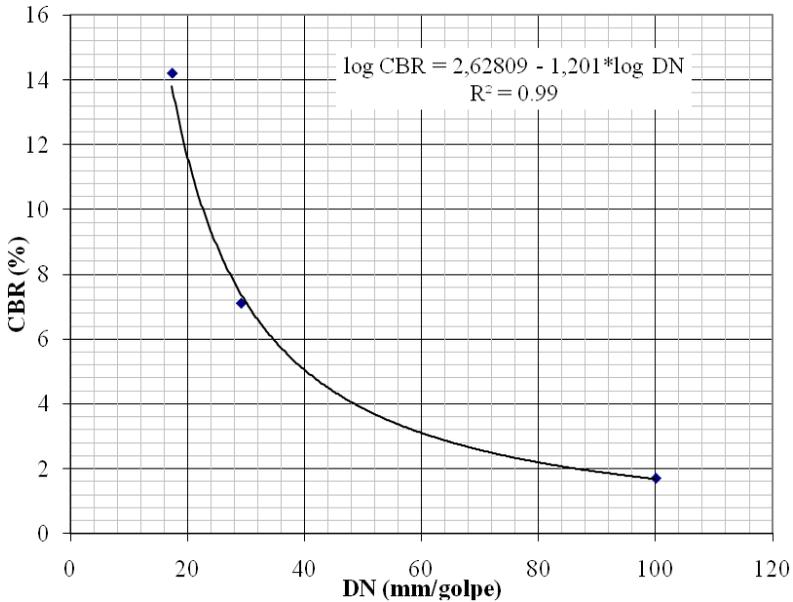


FIGURA 4.10 – Correlação CBR x DN - vala 1.

QUADRO 4.4 – Resumo dos ensaios de CBR com imersão e DCP sem imersão (Vala2).

Tipo	Corpo de Prova	Umidade (%)	MEAS (kg/m <sup>3</sup> )	DN (mm/golpe)
Sem imersão	15	12,5	1.489	8,1
	9	14,6	1.562	10,4
	16	16,7	1.633	17,1
	17	18,8	1.599	31,7
	20	21,0	1.539	85,7
				CBR (%)
Com imersão	19	12,5	1.437	2,7
	8	14,6	1.535	7,3
	13	16,7	1.590	10,2
	15	18,8	1.550	8,4
	9	21,0	1.490	4,2
MEAS (kg/m <sup>3</sup> ) = 1.590		w ót (%) = 16,7	Expansão (%) = 0,2	
				CBR (%) = 10,2

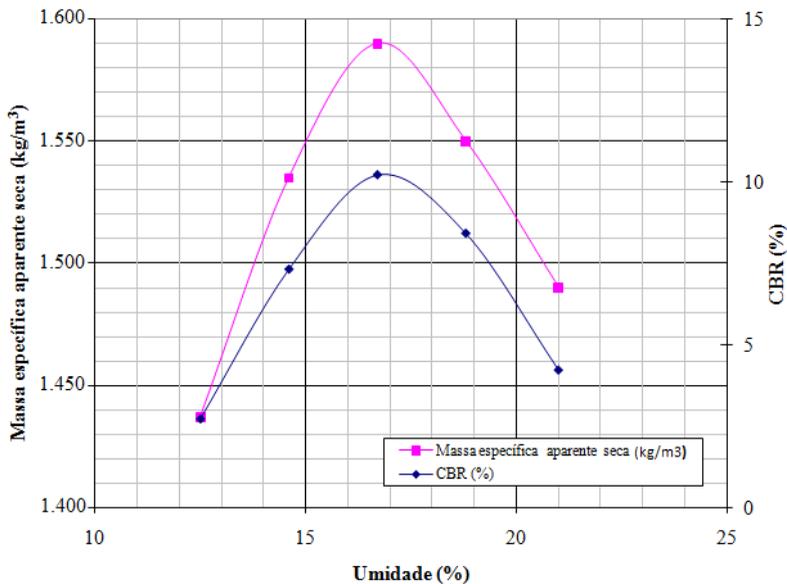


FIGURA 4.11 – Curvas de compactação e CBR - vala 2.

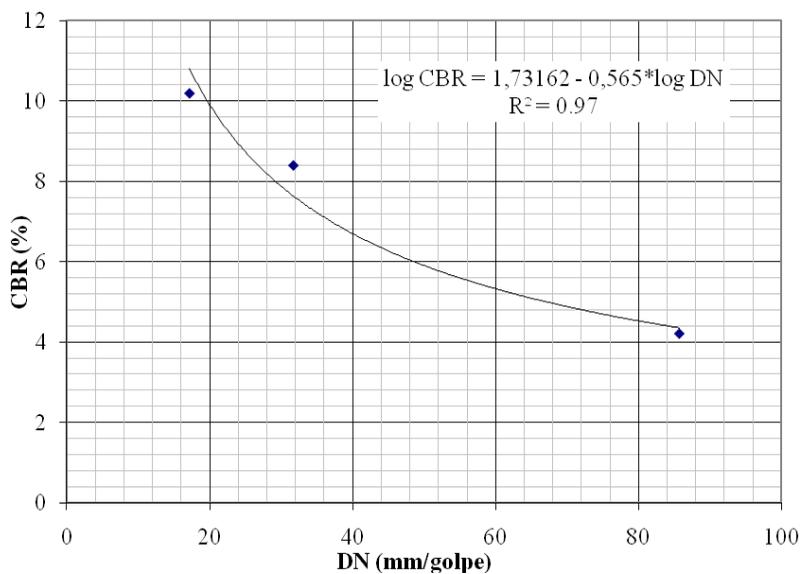


FIGURA 4.12 – Correlação CBR x DN - vala 2.

QUADRO 4.5 – Resumo dos ensaios de CBR com imersão e DCP sem imersão (Vala3)

Tipo	Corpo de Prova	Umidade (%)	MEAS (kg/m <sup>3</sup> )	DN (mm/golpe)
Sem imersão	18	9,3	1.639	8,7
	3	11,3	1.765	10,5
	14	13,4	1.791	12,1
	11	15,5	1.753	27,4
	4	17,5	1.705	48,5
				CBR (%)
Com imersão	9	9,3	1.736	4,1
	10	11,3	1.785	12,1
	15	13,4	1.792	15,1
	5	15,5	1.764	9,1
	7	17,5	1.719	3,4
MEAS (kg/m <sup>3</sup> ) = 1.803		w <sub>ót</sub> (%) = 13,1	Expansão (%) = 0,5	CBR (%) = 15,4

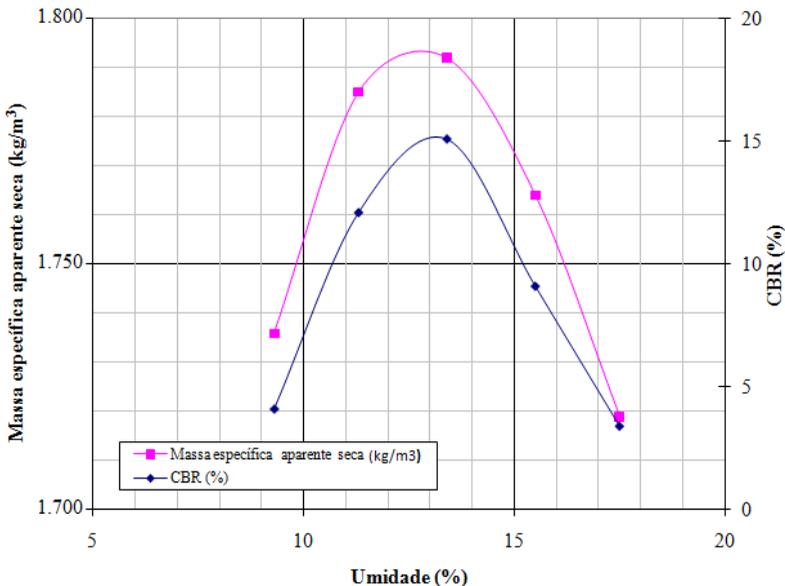


FIGURA 4.13 – Curvas de compactação e CBR - vala 3.

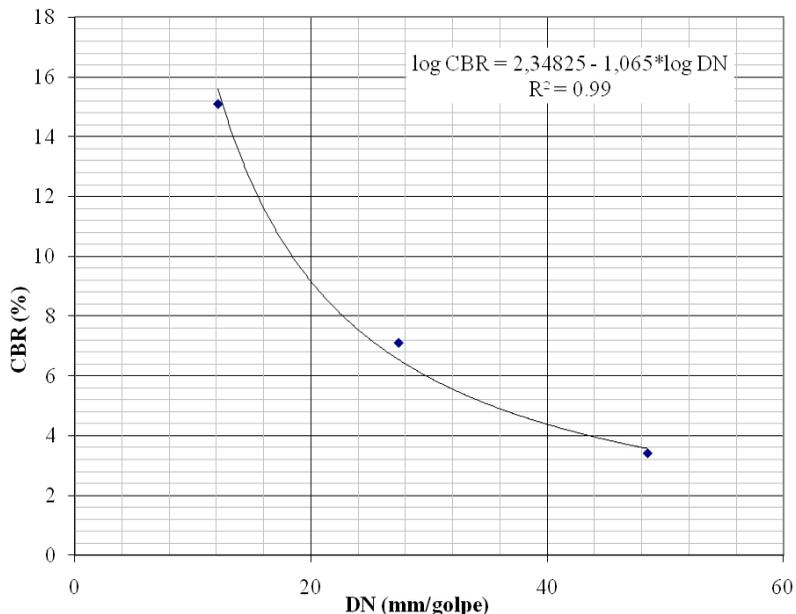


FIGURA 4.14 – Correlação CBR x DN - vala 3.

QUADRO 4.6 – Resumo dos ensaios de CBR com imersão e DCP sem imersão (Vala4)

Tipo	Corpo de Prova	Umidade (%)	MEAS (kg/m <sup>3</sup> )	DN (mm/golpe)
Sem imersão	8	12,4	1.523	11,7
	2	14,5	1.603	16,6
	12	16,6	1.666	36,2
	17	18,7	1.621	49,7
	21	20,8	1.575	100,0
				CBR (%)
Com imersão	11	12,4	1.547	4,3
	14	14,5	1.626	8,7
	4	16,6	1.675	8,4
	3	18,7	1.644	3,4
	18	20,8	1.573	2,0
MEAS (kg/m <sup>3</sup> ) = 1.675		w ót (%) = 16,6	Expansão (%) = 0,1	CBR (%) = 8,7

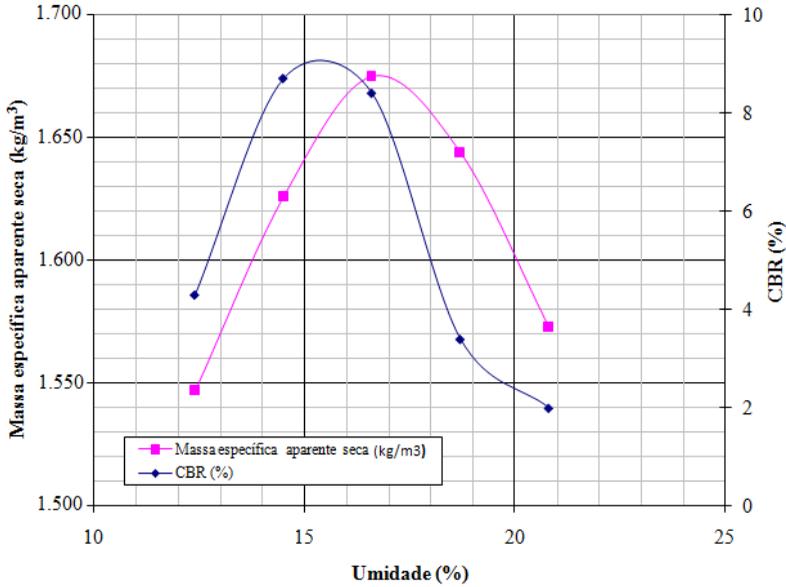


FIGURA 4.15 – Curvas de compactação e CBR - vala 4.

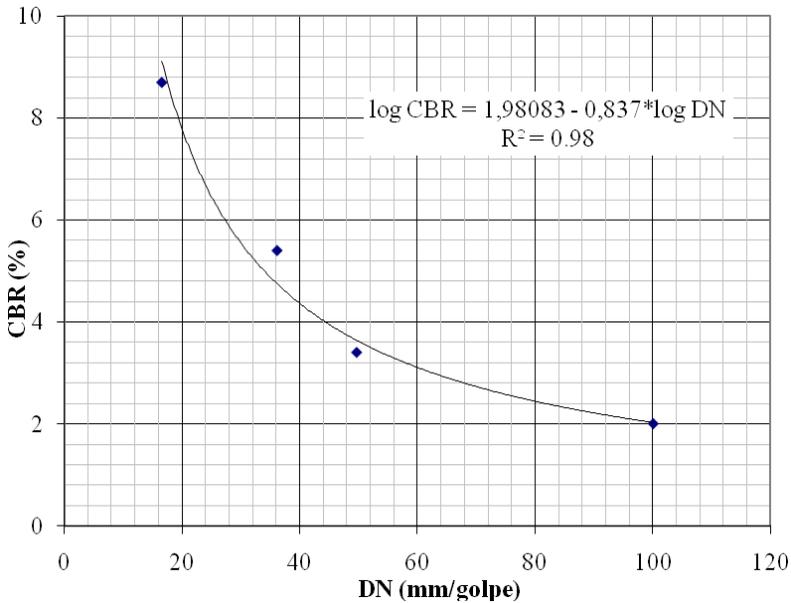


FIGURA 4.16 – Correlação CBR x DN - vala 4.

QUADRO 4.7 – Resumo dos ensaios de CBR com imersão e DCP sem imersão (Vala5)

Tipo	Corpo de Prova	Umidade (%)	MEAS (kg/m <sup>3</sup> )	DN (mm/golpe)
Sem imersão	16	16,8	1.430	9,3
	20	18,9	1.520	12,0
	12	21,1	1.575	20,3
	5	23,2	1.535	35,0
	17	25,3	1.480	48,0
				CBR (%)
Com imersão	3	16,8	1.500	3,1
	1	18,9	1.570	3,4
	14	21,1	1.600	7,8
	11	23,2	1.557	3,1
	2	25,3	1.502	1,3
MEAS (kg/m <sup>3</sup> ) = 1.600		w ót (%) = 21,1	Expansão (%) = 0,2	CBR (%) = 8,0

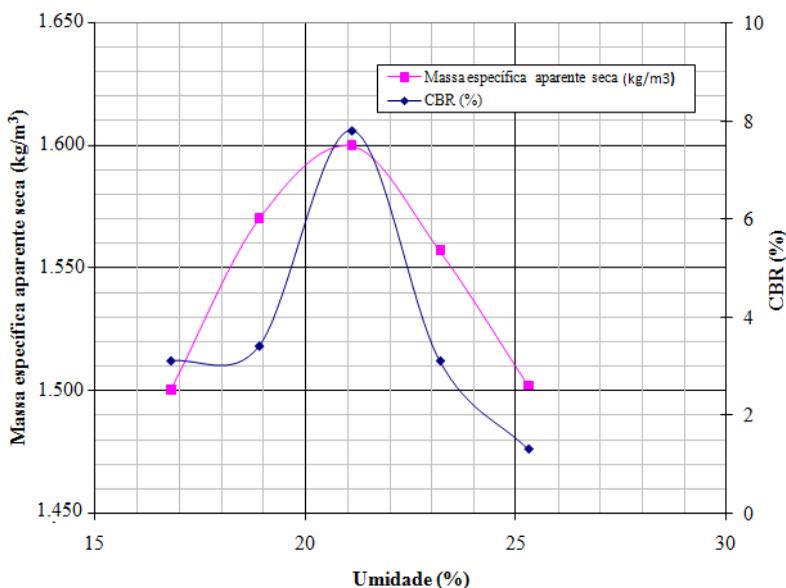


FIGURA 4.17 – Curvas de compactação e CBR - vala 5.

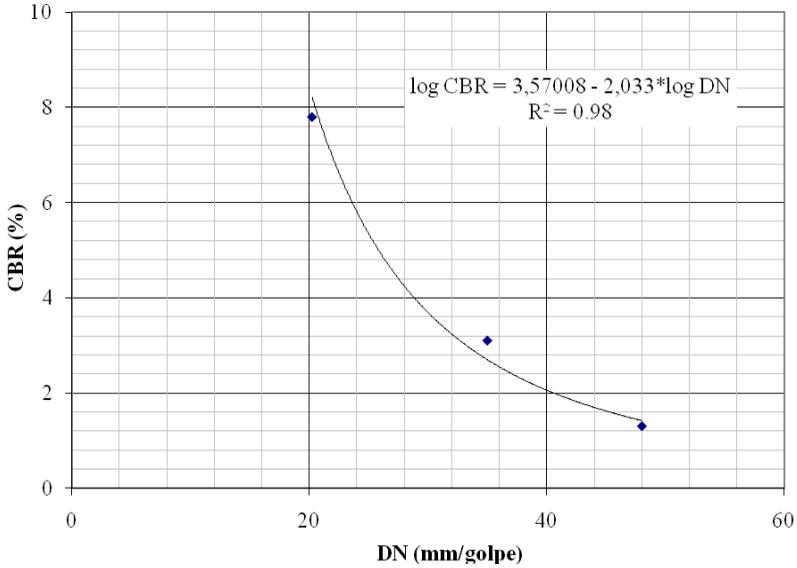


FIGURA 4.18 – Correlação CBR x DN - vala 5.

QUADRO 4.8 – Resumo dos ensaios de CBR com imersão e DCP sem imersão (Vala6)

Tipo	Corpo de Prova	Umidade (%)	MEAS (kg/m <sup>3</sup> )	DN (mm/golpe)
Sem imersão	18	16,3	1.412	10,3
	11	18,5	1.464	11,5
	14	20,7	1.537	18,7
	19	23,0	1.473	41,5
	2	25,2	1.388	78,0
				CBR (%)
Com imersão	13	16,3	1.400	1,8
	15	18,5	1.464	6,7
	1	20,7	1.537	8,7
	4	23,0	1.473	7,8
	3	25,2	1.387	2,8
MEAS (kg/m <sup>3</sup> ) = 1.537		w ót (%) = 20,7	Expansão (%) = 0,1	CBR (%) = 8,7

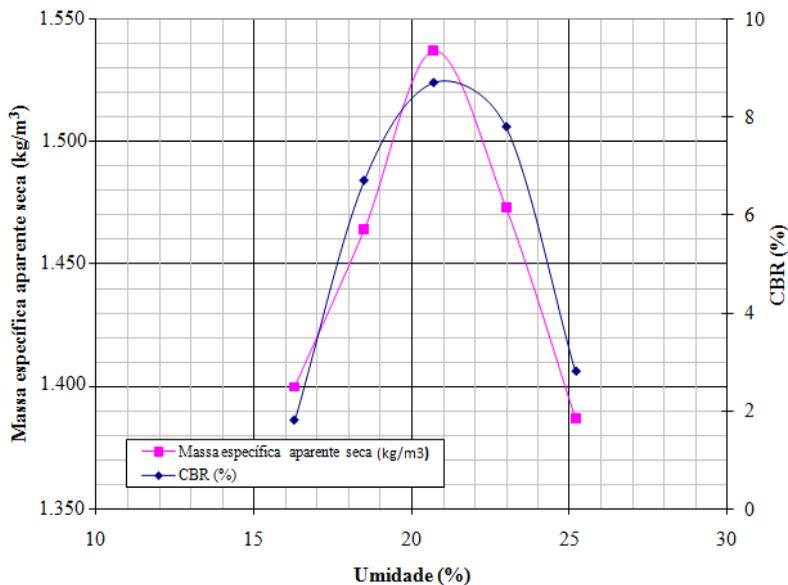


FIGURA 4.19 – Curvas de compactação e CBR - vala 6.

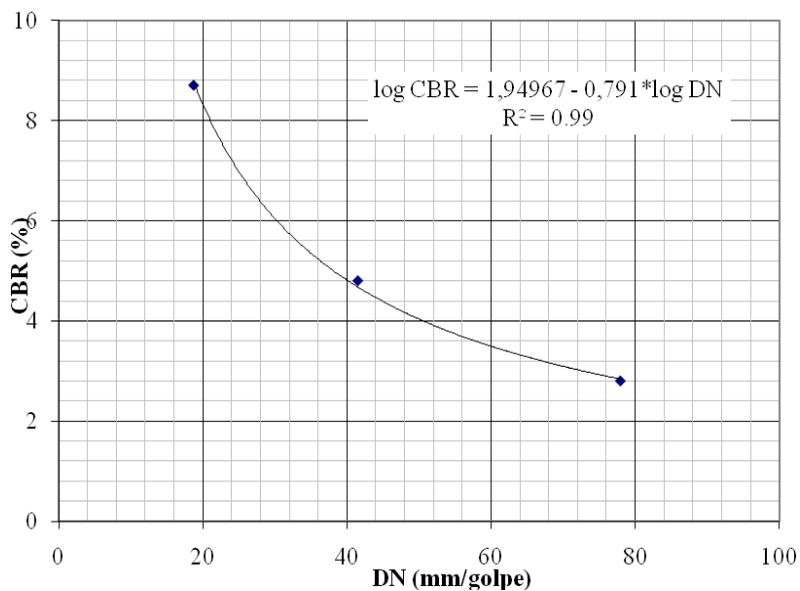


FIGURA 4.20 – Correlação CBR x DN - vala 6.

QUADRO 4.9 – Resumo dos ensaios de CBR com imersão e DCP sem imersão (Vala7)

Tipo	Corpo de Prova	Umidade (%)	MEAS (kg/m <sup>3</sup> )	DN (mm/golpe)
Sem imersão	13	6,8	2.015	7,9
	10	8,9	2.055	10,1
	19	10,9	2.120	14,2
	8	13,0	2.068	89,0
	16	15,0	2.025	100,0
				CBR (%)
Com imersão	11	6,8	2.000	5,6
	1	8,9	2.075	10,2
	18	10,9	2.118	12,9
	14	13,0	2.050	4,1
	2	15,0	1.945	1,3
MEAS (kg/m <sup>3</sup> ) = 2.118		w ót (%) = 11,0	Expansão (%) = 0,2	CBR (%) = 12,9

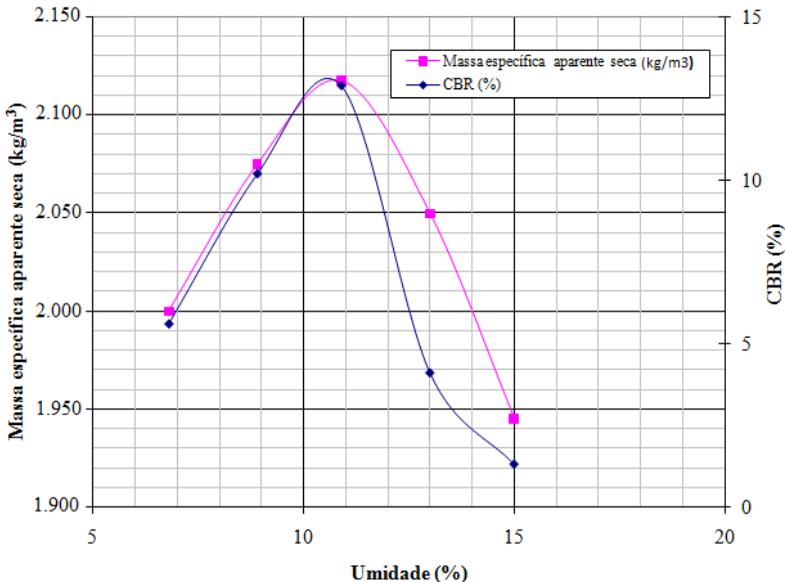


FIGURA 4.21 – Curvas de compactação e CBR - vala 7.

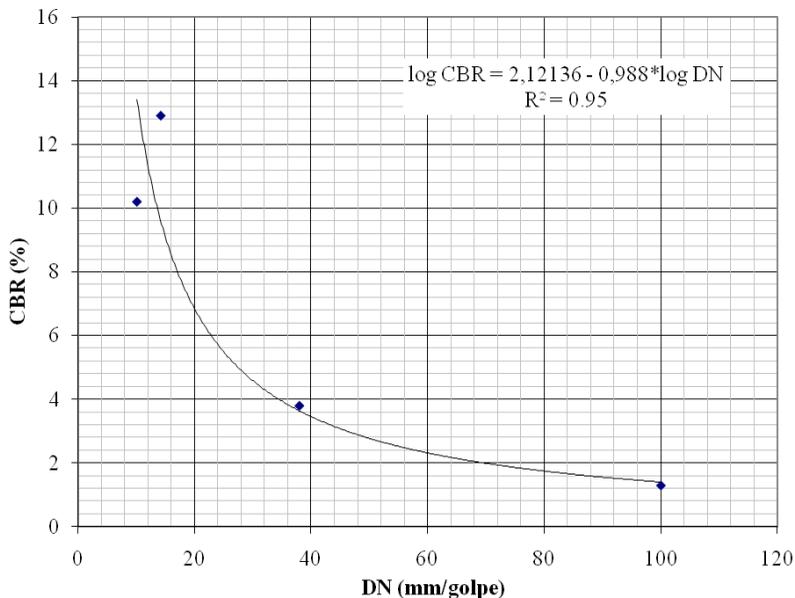


FIGURA 4.22 – Correlação CBR x DN - vala 7.

QUADRO 4.10 – Resumo dos ensaios de CBR com imersão e DCP sem imersão (Vala 8)

Tipo	Corpo de Prova	Umidade (%)	MEAS (kg/m <sup>3</sup> )	DN (mm/golpe)
Sem imersão	20	13,6	1.547	7,5
	15	15,8	1.572	11,7
	7	17,9	1.625	15,9
	17	20,1	1.590	23,9
	9	22,2	1.524	81,0
				CBR (%)
Com imersão	4	13,6	1.532	2,0
	6	15,8	1.601	4,3
	21	17,9	1.630	8,5
	7	20,1	1.559	4,5
	10	22,2	1.486	3,9
MEAS (kg/m <sup>3</sup> ) = 1.635		w ót (%) = 17,5	Expansão (%) = 0,3	CBR (%) = 9,0

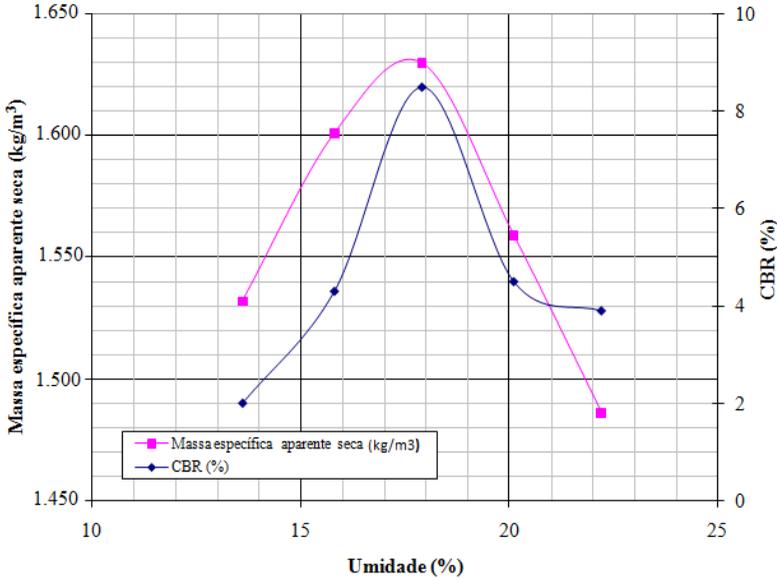


FIGURA 4.23 – Curvas de compactação e CBR - vala 8.

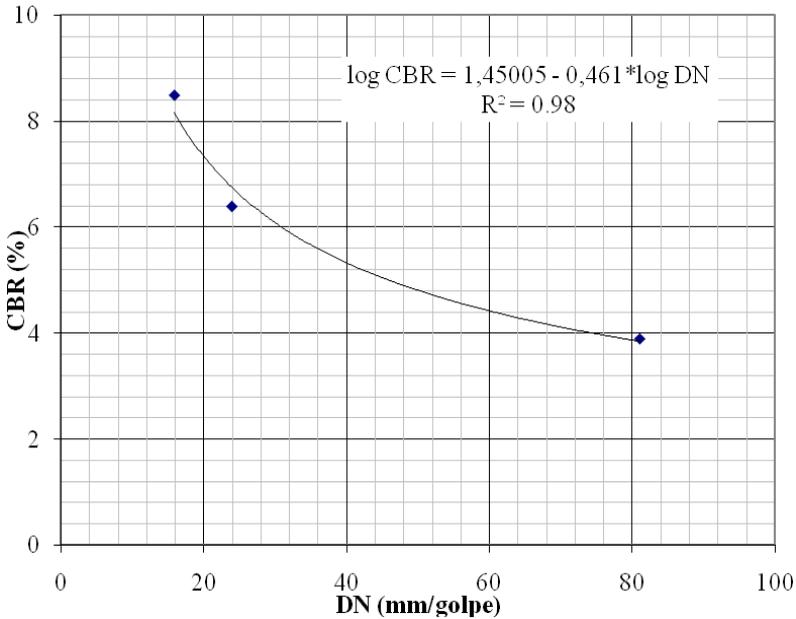


FIGURA 4.24 – Correlação CBR x DN - vala 8.

No Quadro 4.11 mostram-se os resultados das correlações CBR x DN.

QUADRO 4.11 – Resumo de Equações das oito valas

Vala	Modelo de Correlação	Valores de referência para CG 100%		Valores de referência para CG 95%	
		CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>
1	$\log(\text{CBR}) = 2,62809 - 1,201 * \log(\text{DN})$	14,2	17,3	7,0	30,0
2	$\log(\text{CBR}) = 1,73162 - 0,565 * \log(\text{DN})$	10,2	17,1	7,0	36,0
3	$\log(\text{CBR}) = 2,34825 - 1,065 * \log(\text{DN})$	15,1	12,1	4,0	44,0
4	$\log(\text{CBR}) = 1,98083 - 0,837 * \log(\text{DN})$	8,4	36,2	4,0	44,0
5	$\log(\text{CBR}) = 3,57008 - 2,033 * \log(\text{DN})$	7,8	20,3	3,0	32,0
6	$\log(\text{CBR}) = 1,94967 - 0,791 * \log(\text{DN})$	8,7	18,7	7,0	24,0
7	$\log(\text{CBR}) = 2,12136 - 0,988 * \log(\text{DN})$	12,9	14,2	4,0	34,0
8	$\log(\text{CBR}) = 1,45005 - 0,461 * \log(\text{DN})$	8,5	15,9	4,5	46,0

A Figura 4.25 apresenta a correlação CBR x DN considerando que todos os solos do grupo A-6, segundo a classificação HRB, pertencessem a uma mesma amostragem, enquanto a Figura 4.26, para os solos do grupo A-7-5.

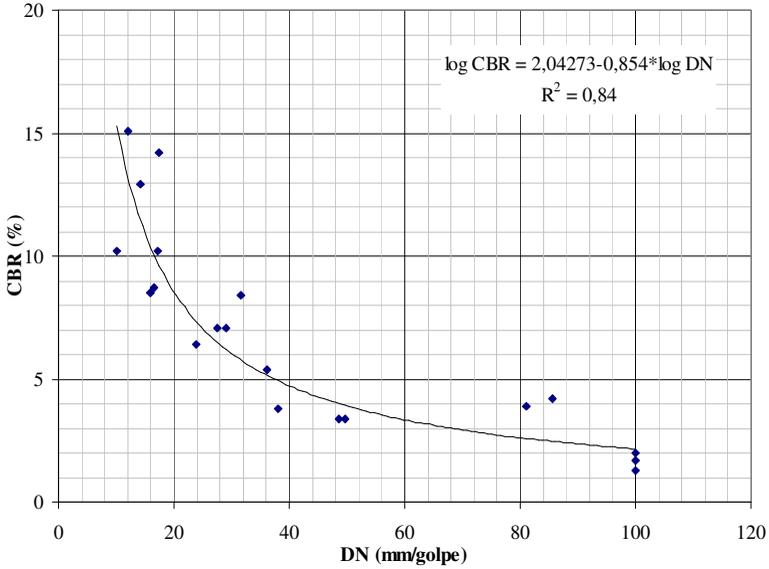


FIGURA 4.25 – Correlação CBR x DN para todos os solos do grupo A-6.

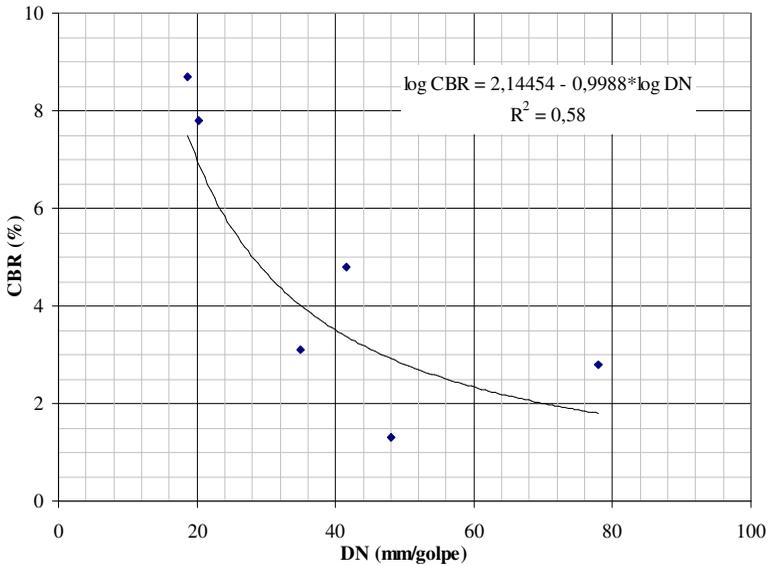


FIGURA 4.26 – Correlação CBR x DN para todos os solos do grupo A-7-5.

A Figura 4.27 apresenta a correlação CBR x DN, considerando todos os solos das oito valas.

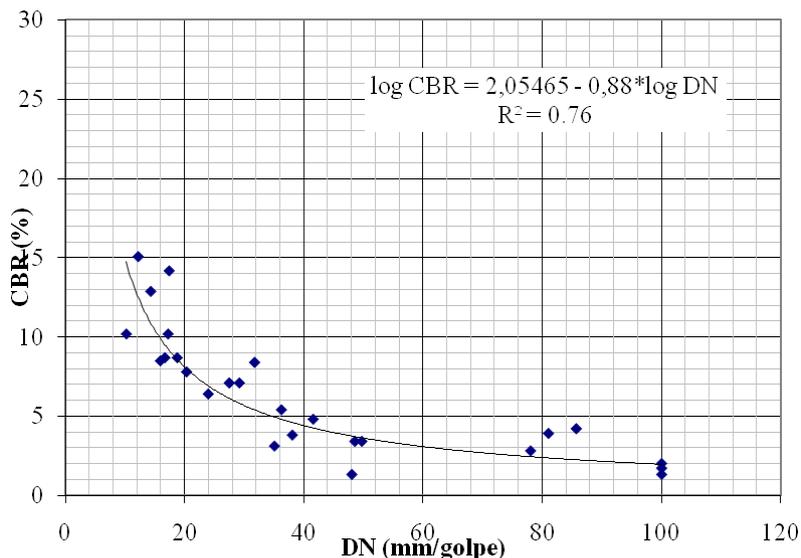


FIGURA 4.27 – Correlação CBR x DN para os solos de todas as oito valas.

No Quadro 4.12 mostram-se as correlações CBR x DN, considerando-se o conjunto de solos do grupo A-6, do grupo A-7-5 e para todos os solos estudados.

QUADRO 4.12 – Resumo de Equações por grupo e com todos os grupos

Grupo	Modelo de Correlação	Valores de referência para CG 100%		Valores de referência para CG 95%	
		CBR	DN	CBR	DN
A-6	$\log(\text{CBR}) = 2,04273 - 0,854 \cdot \log(\text{DN})$	11,0	14,9	5,1	36,6
A-7-5	$\log(\text{CBR}) = 2,14454 - 0,9988 \cdot \log(\text{DN})$	8,3	16,9	5,0	28,0
Todos	$\log(\text{CBR}) = 2,05465 - 0,88 \cdot \log(\text{DN})$	10,7	14,6	5,1	33,9

#### 4.4 Comparação de Curvas de Calibração

As Figuras 4.28 mostram comparações entre as correlações, obtidas das oito valas com autores nacionais e estrangeiros.

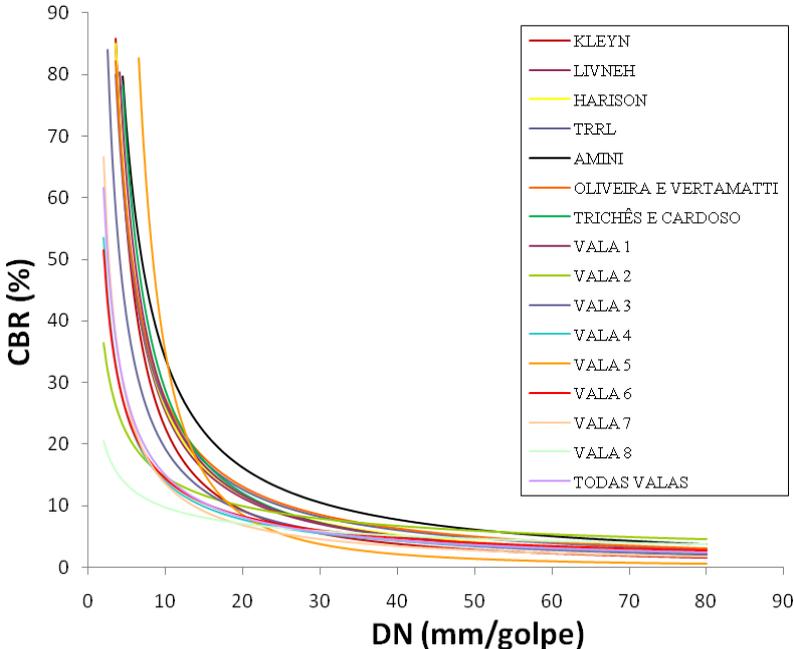


FIGURA 4.28 – Comparação das correlações DN x CBR, obtidas das oito valas com autores nacionais e estrangeiros.

#### 4.5 Ensaios “in situ” com o DCP e Frasco de Areia

Com o objetivo de avaliar o perfil estrutural e a qualidade de compactação de cada uma das oito valas executadas pela concessionária, logo após a compactação de todas as camadas de cada vala até altura de colocação de base, foram realizados ensaios com o Cone de Penetração Dinâmica – DCP. Foi realizado também, logo após a compactação da última camada (subleito), o ensaio com o Frasco de Areia (NBR-7185/86), para verificação do grau de compactação “in situ”.

O acompanhamento de execução das valas foi realizado sem qualquer interferência de minha parte para que os resultados não fossem

mascarados. O reaterro das valas foi feito normalmente como acontece no dia a dia das ruas de Belo Horizonte, ou seja, sem qualquer controle quanto à umidade de compactação, altura de camada compactada e qualquer controle para verificação do grau de compactação.

Em cada vala foram realizados três ensaios de DCP e um ensaio de Frasco de Areia. Um ensaio de DCP foi realizado próximo ao furo do ensaio do Frasco de areia (identificado neste trabalho como posição eixo - EX). Os outros dois, um foi realizado à esquerda (identificado neste trabalho como posição bordo esquerdo - BE) e outro à direita (identificado neste trabalho como posição bordo direito - BD) do furo do frasco à uma distância aproximada de 1,0 metro. Também foi observado para que estes dois ensaios em uma diagonal em relação ao furo do ensaio do Frasco de Areia e a uma distância de quinze centímetros em relação as faces laterais da vala.

Os ensaios com o DCP foram realizados conforme instruções da TRRL/86 e ASTM D6951/03, anotando-se a penetração em milímetros, a cada golpe, sendo que a primeira leitura foi desprezada.

Para se conhecer o teor de umidade durante os ensaios de campo de cada vala, foi coletado o material e colocado em cápsulas, utilizando-se do método de ensaio da estufa descrito na norma DNER-ME 213/94. O material coletado para determinação da umidade foi retirado da penúltima camada de reaterro da vala.

A seguir são apresentados os resultados obtidos em cada vala.

## **4.5.1 Resultados obtidos para vala 1**

### **4.5.1.1 Reaterro da vala**

Essa vala foi aberta para reparo da rede de esgoto. O reaterro da vala foi realizado com aproveitamento do próprio material escavado. A Figura 4.29, mostra a execução do reaterro.

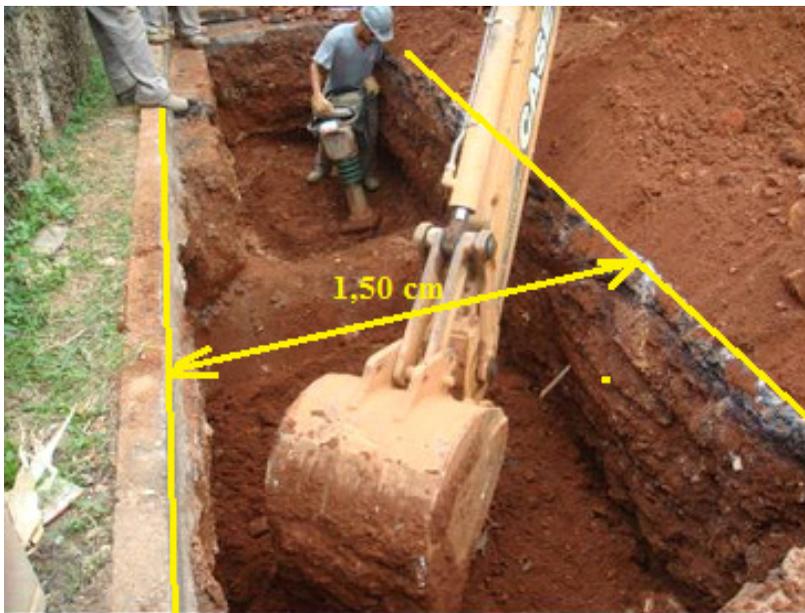


FIGURA 4.29 – Início do reaterro da vala - Vala 1.

#### 4.5.1.2 Curvas DCP

Na vala 1, por motivos de visibilidade (final de tarde-noite escura), além do Frasco de Areia só foi possível realizar ensaios de DCP, no bordo esquerdo (BE) e no eixo (EX). As Figuras 4.30 e 4.31 mostram as curvas DCP para o BE, para o EX e a Figura 4.32 mostra um comparativo entre as duas curvas.

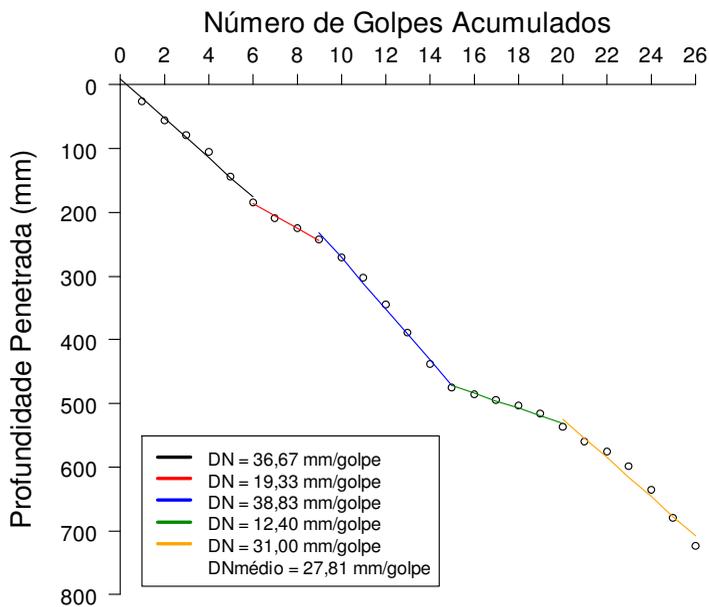


FIGURA 4.30 – Curva DCP do BE – Vala 1

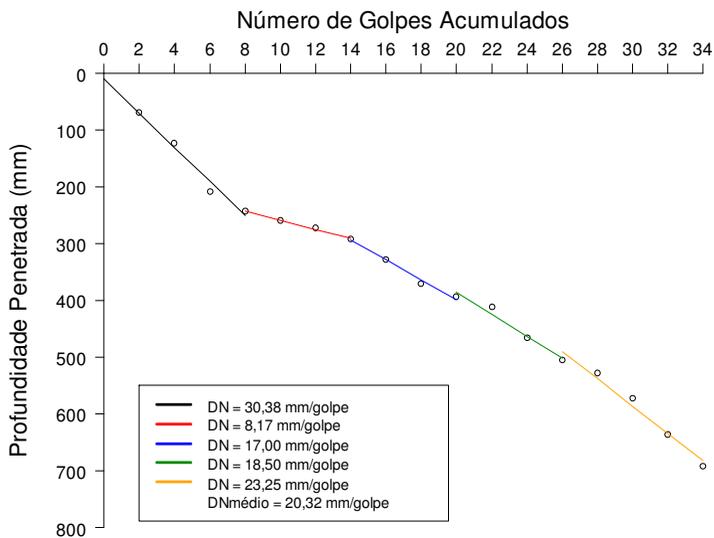


FIGURA 4.31 – Curva DCP do EX – Vala 1

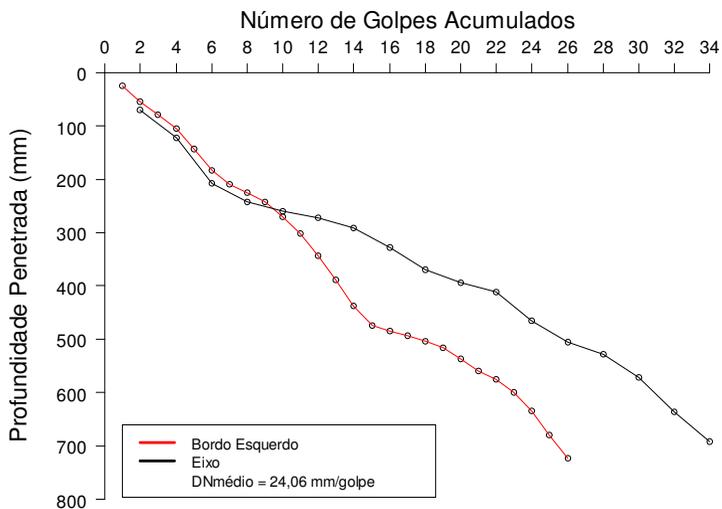


FIGURA 4.32 – Curvas DCP do BE e do EX – Vala 1

#### 4.5.1.3 Diagrama estrutural

As Figuras 4.33 e 4.34 mostram os Diagramas Estruturais para o BE e para o EX da vala 1.

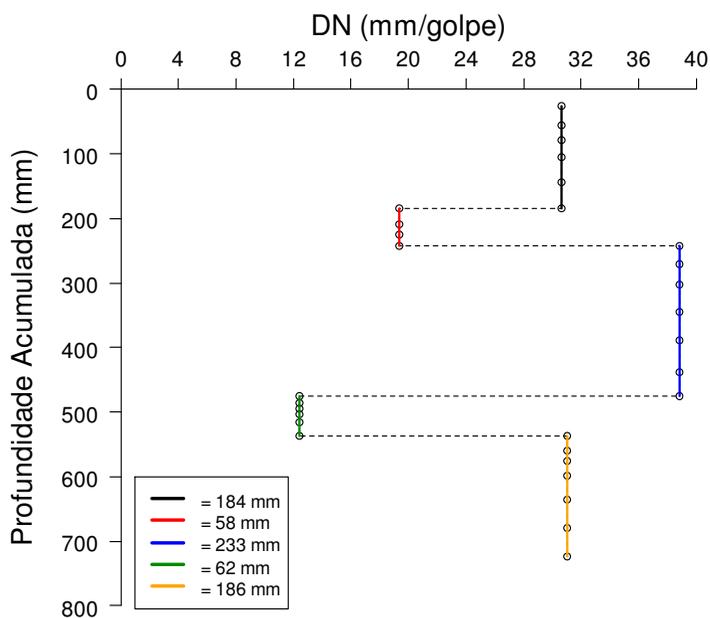


FIGURA 4.33 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 1

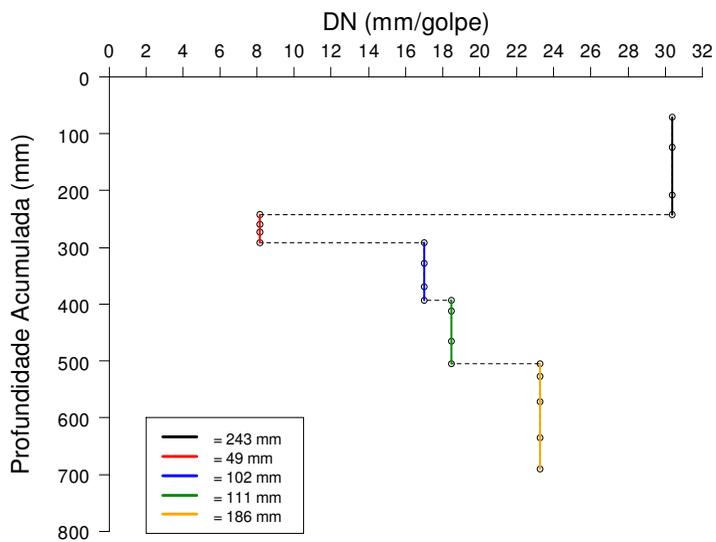


FIGURA 4.34 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 1

## 4.5.1.4 Análise dos resultados obtidos na vala 1

O Quadro 4.13 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro da vala 1.

QUADRO 4.13 – Resultados de laboratório e de campo da vala 1

Resultados de Laboratório					Resultados de Campo						
CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>ót.</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
14,2	17,3	7,0	30,0	16,0	33,7	27,8	20,3	-	24,1	18,5	92,1

CBR<sub>100</sub> - Capacidade de suporte correspondente ao Grau de Compactação de 100%;

DN<sub>100</sub> - Índice de Penetração correspondente ao Grau de Compactação de 100% (mm/golpe);

CBR<sub>95</sub> - Capacidade de suporte correspondente ao Grau de Compactação de 95%;

DN<sub>95</sub> - Índice de Penetração correspondente ao Grau de Compactação de 95% (mm/golpe);

W<sub>ót.</sub> - Umidade Ótima de compactação (%);

DN<sub>CF</sub> - Índice de Penetração medido na camada final do reaterro (mm/golpe);

DN<sub>BE</sub> - Índice de Penetração médio de todas as camadas medido no bordo esquerdo (mm/golpe);

DN<sub>EX</sub> - Índice de Penetração médio de todas as camadas medido no eixo (mm/golpe);

DN<sub>BD</sub> - Índice de Penetração médio de todas as camadas medido no bordo direito (mm/golpe);

DN<sub>M</sub> - Índice de Penetração médio correspondente a todas as camadas do reaterro (mm/golpe);

W<sub>campo</sub> - Umidade de campo medida na penúltima camada do reaterro (%);

GC - Grau de Compactação da última camada do reaterro (%).

Em relação aos resultados obtidos podem-se tecer os seguintes comentários:

- Observando-se a Figura 4.32 nota-se que a partir da penúltima camada compactada (30 cm), o eixo foi mais bem compactado em relação ao bordo esquerdo. Isso é comprovado pelos valores do DN<sub>BE</sub> e DN<sub>EX</sub>, apresentados no Quadro 4.13;

- Nota-se nas Figuras 4.33 e 4.34 que não houve uma regularidade nas espessuras das camadas compactadas, bem como camadas mais compactadas que as outras, inclusive diferença de compactação na mesma camada;
- De acordo com o Quadro 4.13 o valor do  $DN_{CF}$  é um pouco maior do que  $DN_{95}$  indicando uma deficiência na compactação e que o CBR estimado para esta camada é de apenas 7,0%, ou seja, próximo de 50% ao  $CBR_{100}$ . Por outro lado o  $DN_M$  é inferior ao  $DN_{95}$  e, portanto, o serviço poderia ser aceito, mas que de acordo com a Figura 4.10 se teria um CBR de apenas 9,0%;
- Com relação à umidade o Quadro 4.13 apresenta uma  $W_{campo}$  próximo a  $W_{6t.}$ , portanto aceitável pelas condições do tipo de serviço. Em relação ao grau de compactação da última camada de reaterro, o mesmo ficou abaixo da especificação da SUDECAP, concordando com o valor do  $DN_{CF}$  para esta camada, indicando uma falta de compactação.

## **4.5.2 Resultados obtidos para vala 2**

### **4.5.2.1 Reaterro da vala**

Essa vala foi aberta para reparo da rede de esgoto. O reaterro da vala foi realizado com aproveitamento do próprio material escavado. As Figuras 4.35 e 4.36 mostram a execução do reaterro e o posicionamento onde foram realizados os ensaios de DCP e Frasco de Areia.

### **4.5.2.2 Curvas DCP**

Na vala 2 as Figuras 4.37 a 4.39 mostram as curvas DCP para o BE, EX e para o BD e a Figura 4.40 mostra um comparativo entre as três curvas.



FIGURA 4.35 – Espalhamento do material para compactação da última camada (subleito) – Vala 2.



FIGURA 4.36 – Localização dos ensaios realizados com o Frasco de Areia e DCP (BE, EX e BD) - Vala 2.

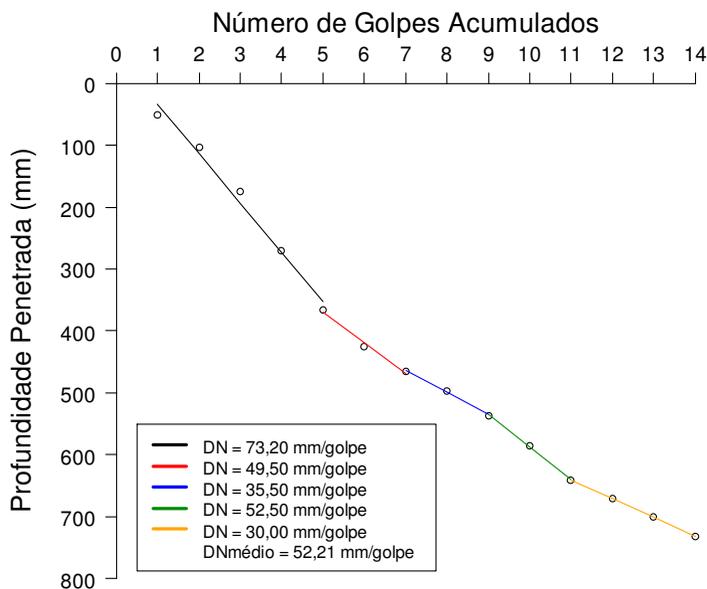


FIGURA 4.37 – Curva DCP do BE – Vala 2

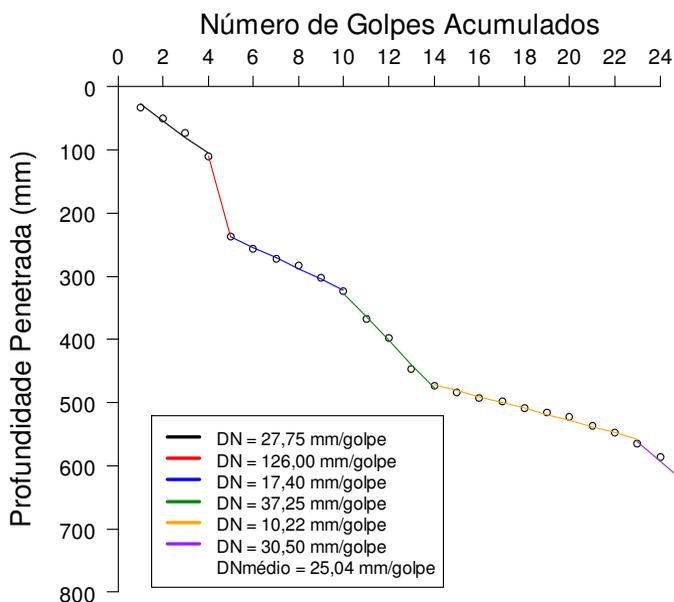


FIGURA 4.38 – Curva DCP do EX – Vala 2

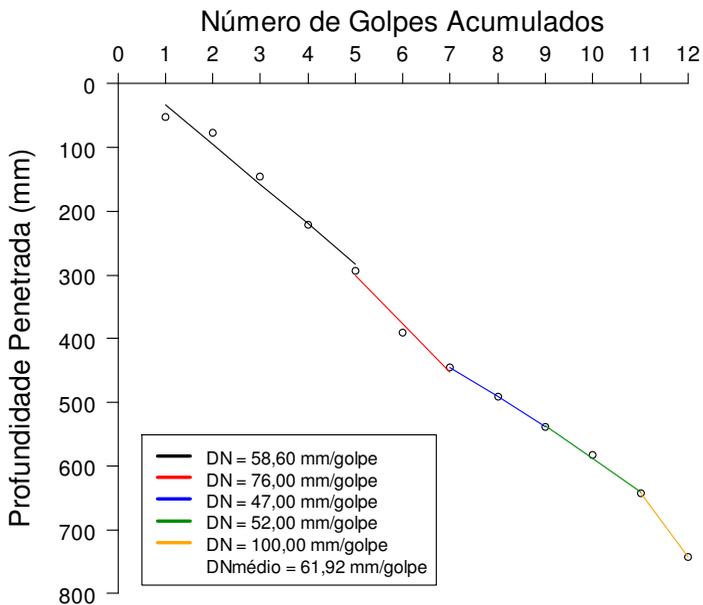


FIGURA 4.39 – Curva DCP do EX – Vala 2

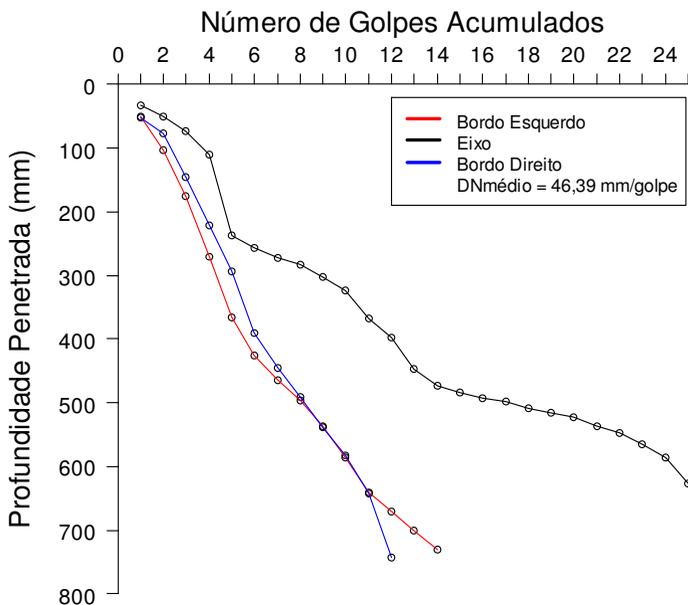


FIGURA 4.40 – Curvas DCP do BE, EX E BD – Vala 2

### 4.5.2.3 Diagrama estrutural

As Figuras 4.41 a 4.43 mostram os Diagramas Estruturais para o BE, EX e para o BD da vala 2.

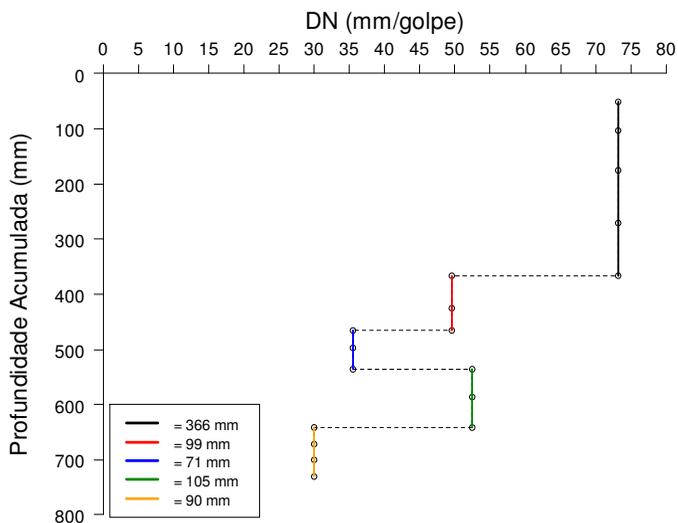


FIGURA 4.41 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 2.

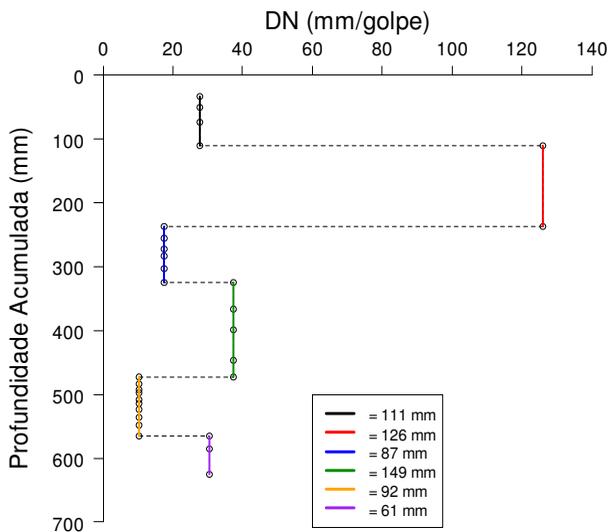


FIGURA 4.42 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 2.

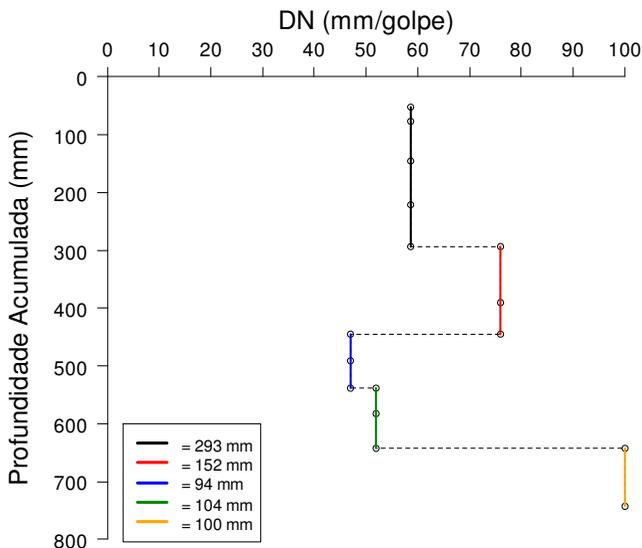


FIGURA 4.43 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 2.

4.5.2.4 Análise dos resultados obtidos na vala 2

O Quadro 4.14 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro da vala 2.

QUADRO 4.14 – Resultados de laboratório e de campo da vala 2

Resultados de Laboratório					Resultados de Campo							
CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>6t</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC	
10,2	17,1	7,0	36,0	16,7	53,6	52,2	25,0	61,9	46,4	21,9	83,4	

Em relação aos resultados obtidos podem-se tecer os seguintes comentários:

- Observando-se a Figura 4.40 nota-se que a partir da penúltima camada compactada (32 cm), tanto o BE quanto o BD, tiveram uma semelhança na baixa compactação em relação ao eixo que foi mais bem compactado, principalmente nas últimas camadas intermediárias entre 45,0 cm. e 60,0

cm. Isso é comprovado pelos valores do  $DN_{BE}$ ,  $DN_{EX}$  e  $DN_{BD}$  apresentados no Quadro 4.14;

- Nota-se nas Figuras 4.41 a 4.43 que não houve uma regularidade nas espessuras das camadas compactadas, bem como camadas mais compactadas que as outras, inclusive diferença de compactação na mesma camada;

- De acordo com o Quadro 4.14 o valor do  $DN_{CF}$  é maior do que  $DN_{95}$  indicando uma deficiência na compactação e que o CBR estimado para esta camada é de apenas 5,6 %, ou seja, próximo de 50% ao  $CBR_{100}$ . Por outro lado o  $DN_M$  é superior ao  $DN_{95}$  e, portanto, o serviço não poderia ser aceito, de acordo com a Figura 4.12, apresenta um valor de CBR de apenas 6,2 %;

- Com relação à umidade o Quadro 4.14 apresenta uma  $W_{campo}$  bem acima da  $W_{ót.}$ , portanto não aceitável. Em relação ao grau de compactação da última camada de reaterro, o mesmo ficou abaixo da especificação da SUDECAP, concordando com o valor do  $DN_{CF}$  para esta camada, que também indicaria uma falta de compactação.

### 4.5.3 Resultados obtidos para vala 3

#### 4.5.3.1 Reaterro da vala

Essa vala foi aberta para reparo da rede de esgoto. O reaterro da vala foi realizado com aproveitamento do próprio material escavado. As Figuras 4.44 e 4.45 mostram a execução do reaterro e o posicionamento onde foram realizados os ensaios de DCP e Frasco de Areia.

#### 4.5.3.2 Curvas DCP

Na vala 3 as Figuras 4.46 a 4.48 mostram as curvas DCP para o BE, EX e para o BD e a Figura 4.49 mostra um comparativo entre as três curvas.



FIGURA 4.44 – Primeira passada na compactação da camada – Vala 3.



**Ensaio com o  
Frasco de Areia**

FIGURA 4.45 – Ensaio do Frasco de Areia – Vala 3.

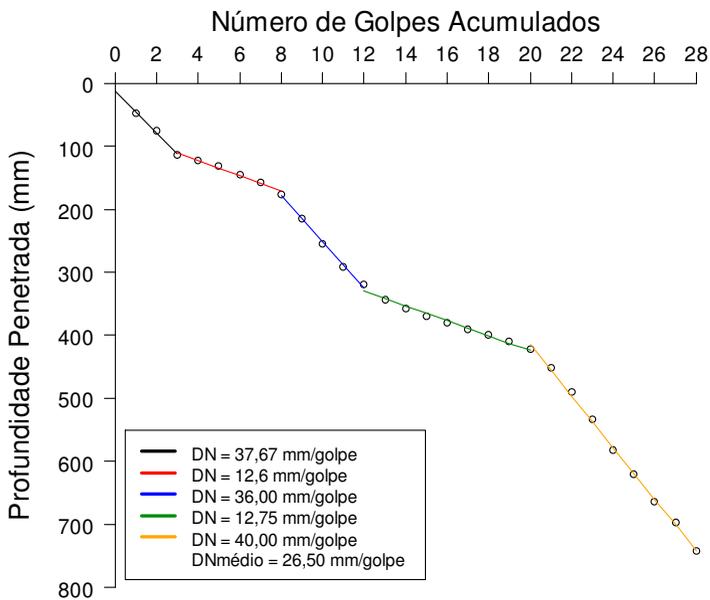


FIGURA 4.46 – Curva DCP do BE – Vala 3

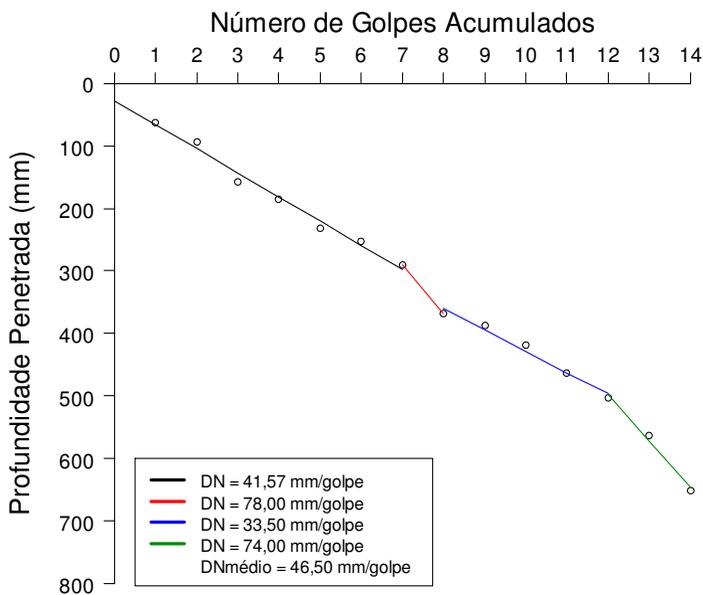


FIGURA 4.47 – Curva DCP do EX – Vala 3

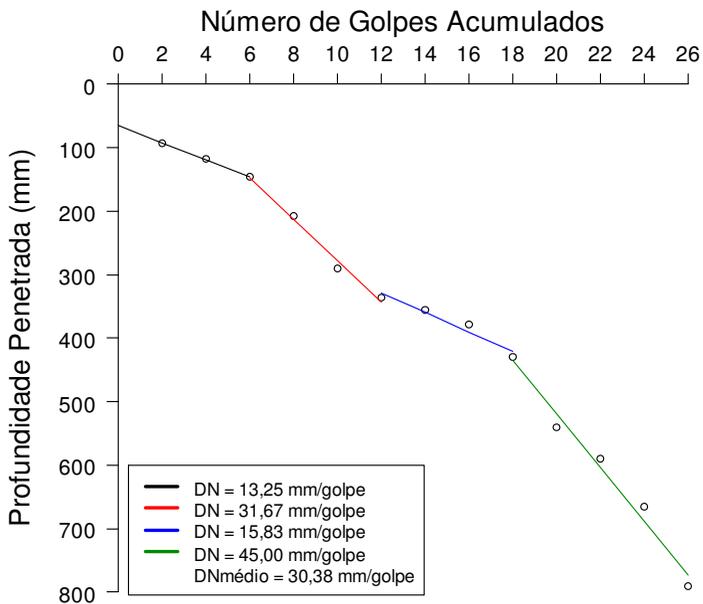


FIGURA 4.48 – Curva DCP do BD – Vala 3

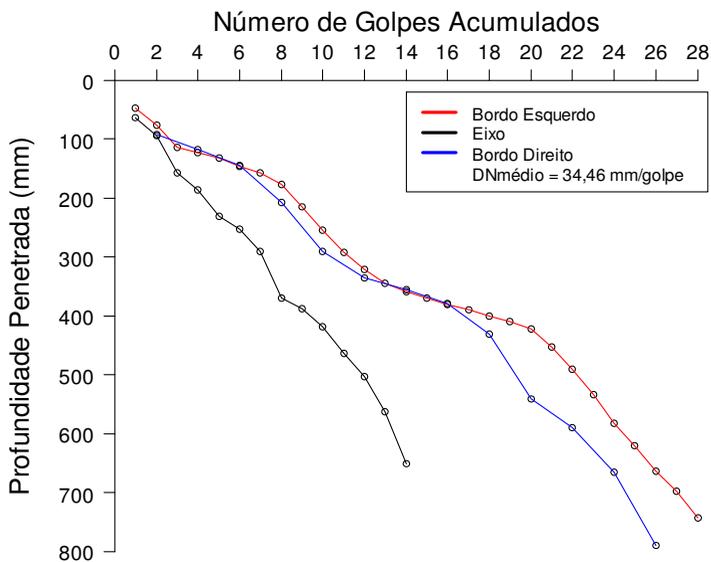


FIGURA 4.49 – Curva DCP do BE, EX e BD – Vala 3

### 4.5.3.3 Diagrama estrutural

As Figuras de 4.50 a 4.52 mostram os Diagramas Estruturais para o BE, EX e para o BD da vala 3.

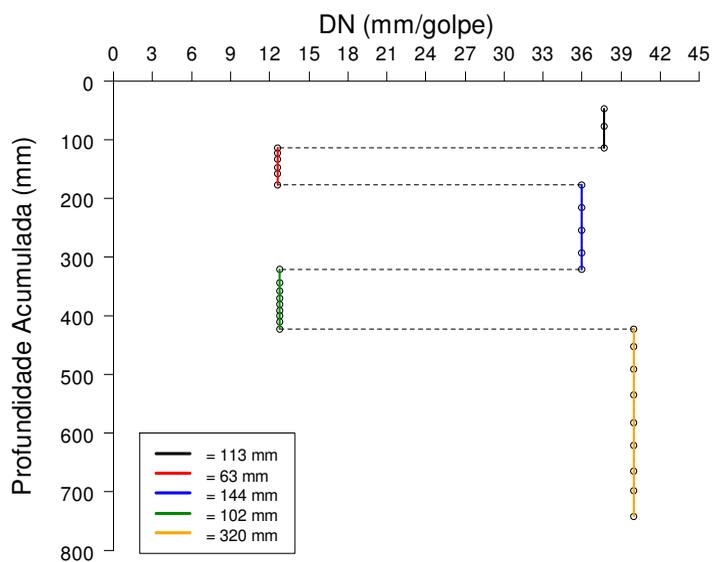


FIGURA 4.50 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 3.

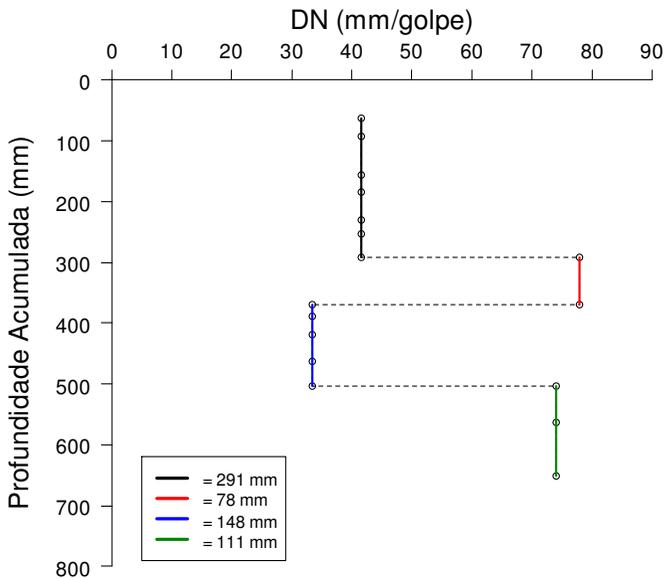


FIGURA 4.51 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 3.

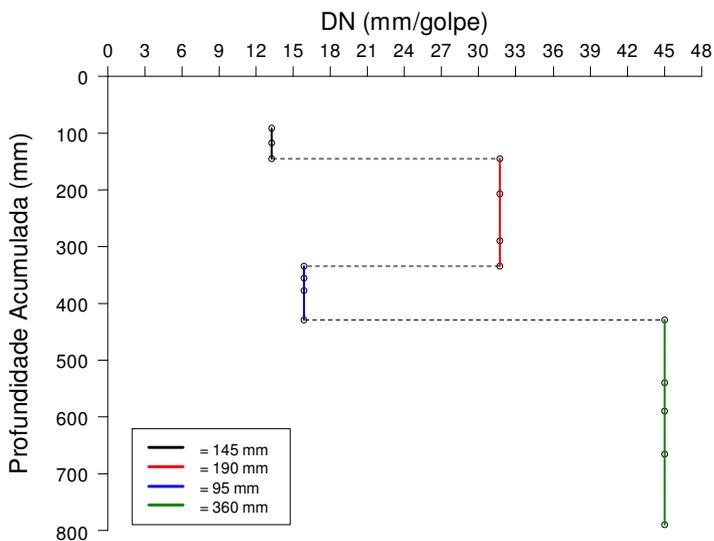


FIGURA 4.52 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 3.

#### 4.5.3.4 Análise dos resultados obtidos na vala 3

O Quadro 4.15 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro da vala 3.

QUADRO 4.15 – Resultados de laboratório e de campo da vala 3

Resultados de Laboratório					Resultados de Campo						
CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>ót.</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
15,1	12,1	4,0	44,0	13,1	26,5	26,5	46,5	30,4	34,5	15,2	96,5

Em relação aos resultados obtidos podem-se tecer os seguintes comentários:

- Observando-se a Figura 4.49 nota-se que a partir da última camada compactada, tanto o BE quanto o BD, tiveram uma semelhança e foram mais compactados em relação ao eixo que teve uma compactação inferior em todas as camadas. Isso é comprovado pelos valores do DN<sub>BE</sub>, DN<sub>EX</sub> e DN<sub>BD</sub> apresentados no Quadro 4.15;

- Nota-se nas Figuras de 4.50 a 4.52 que não houve uma regularidade nas espessuras das camadas compactadas, bem como camadas mais compactadas que as outras, inclusive diferença de compactação na mesma camada;

- De acordo com o Quadro 4.15 o valor do DN<sub>CF</sub> é menor do que DN<sub>95</sub> indicando uma compactação melhor e com um CBR estimado para esta camada de 4,8 %, ou seja, próximo de 30 % ao CBR<sub>100</sub>. Por outro lado o DN<sub>M</sub> é menor ao DN<sub>95</sub> e, portanto, o serviço poderia ser aceito, pois de acordo com a Figura 4.14 apresenta um valor de CBR de apenas 5,0 %;

- Com relação à umidade o Quadro 4.15 apresenta uma W<sub>campo</sub> é um pouco acima da W<sub>ót.</sub>, portanto aceitável. Em relação ao grau de compactação da última camada de reaterro, o mesmo ficou dentro da especificação da SUDECAP, concordando com o valor do DN<sub>CF</sub> para esta camada, que também indicaria uma boa compactação.

#### 4.5.4 Resultados obtidos para vala 4

##### 4.5.4.1 Reaterro da vala

Essa vala foi aberta para reparo da rede de esgoto. O reaterro da vala foi realizado com aproveitamento do próprio material escavado a partir da altura final de 1,3 m, nas primeiras camadas foi colocado reciclado de construção civil em substituição ao material da vala que estava com excesso de umidade, conforme Figura 4.53. As Figuras 4.54 a 4.55 mostram a restauração da rede de esgoto, a compactação da camada final com o reciclado de construção civil e a compactação da última camada com o mesmo material da vala.



FIGURA 4.53 – Reparo da rede de esgoto, fundo da vala com material saturado – Vala 4.



FIGURA 4.54 – Reparo da rede de esgoto após colocação de reciclado de construção civil – Vala 4.



FIGURA 4.55 – Compactação da última camada com reciclado de construção civil – Vala 4.



FIGURA 4.56 – Compactação da última camada (subleito) com o mesmo material retirado da vala – Vala 4.

#### 4.5.4.2 Curvas DCP

Na vala 4 as Figuras de 4.57 a 4.59 mostram as curvas DCP para o BE, EX e para o BD e a Figura 4.60 mostra um comparativo entre as três curvas.

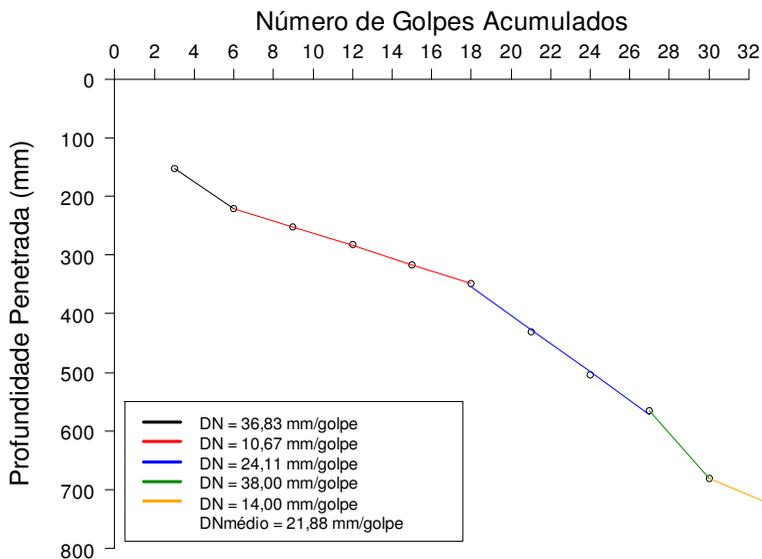


FIGURA 4.57 – Curva DCP do BE – Vala 4

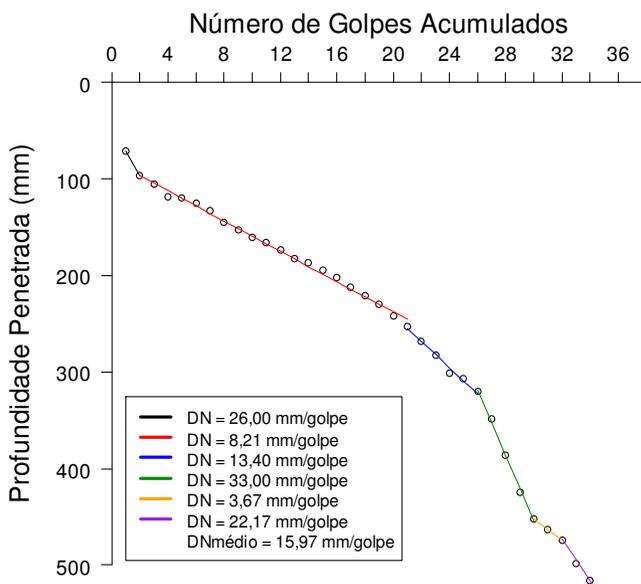


FIGURA 4.58 – Curva DCP do EX – Vala 4

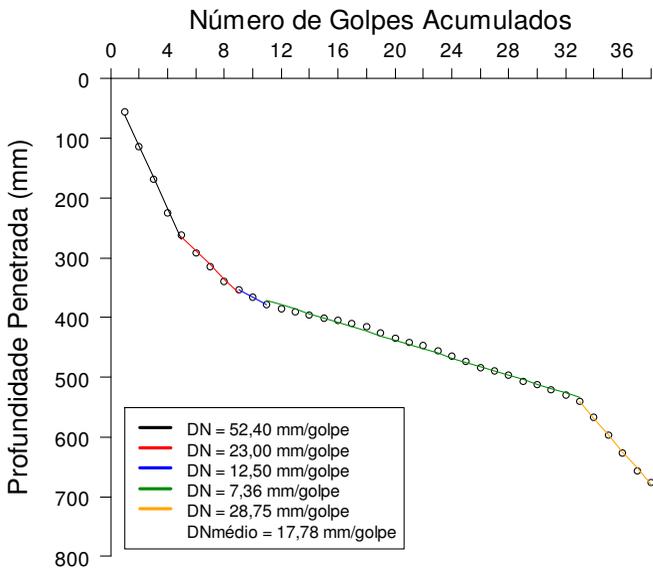


FIGURA 4.59 – Curva DCP do BD – Vala 4

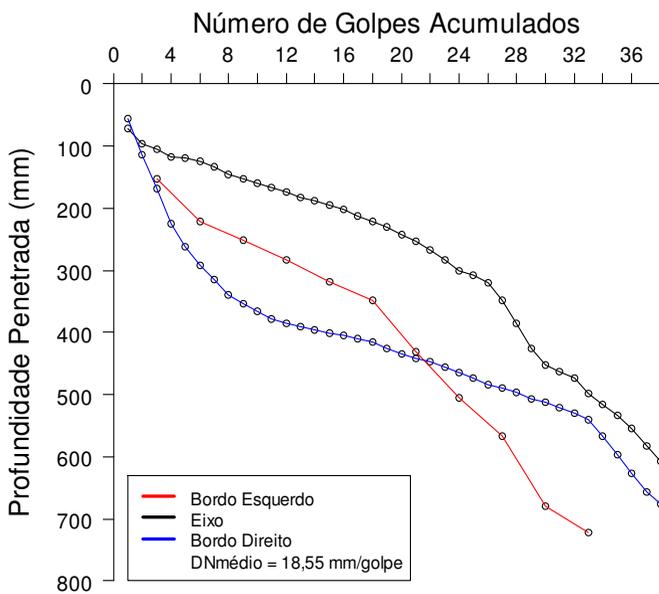


FIGURA 4.60 – Curva DCP do BE, EX e BD – Vala 4

#### 4.5.4.3 Diagrama estrutural

As Figuras de 4.61 a 4.63 mostram os Diagramas Estruturais para o BE, EX e para o BD da vala 4.

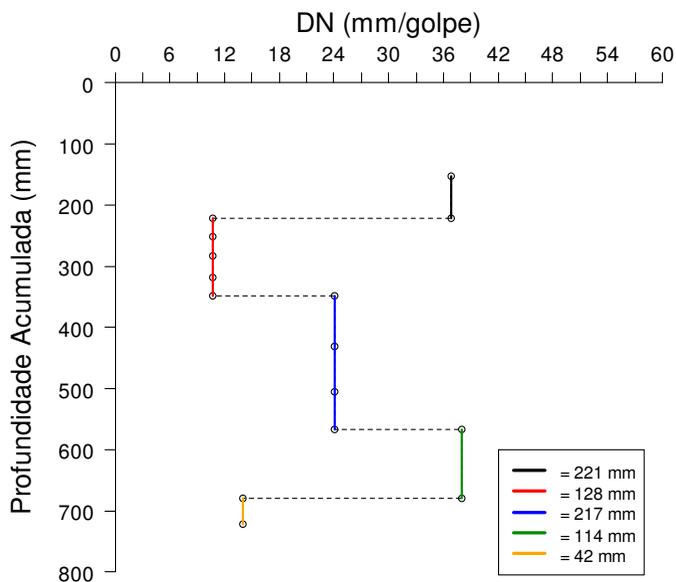


FIGURA 4.61 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 4.

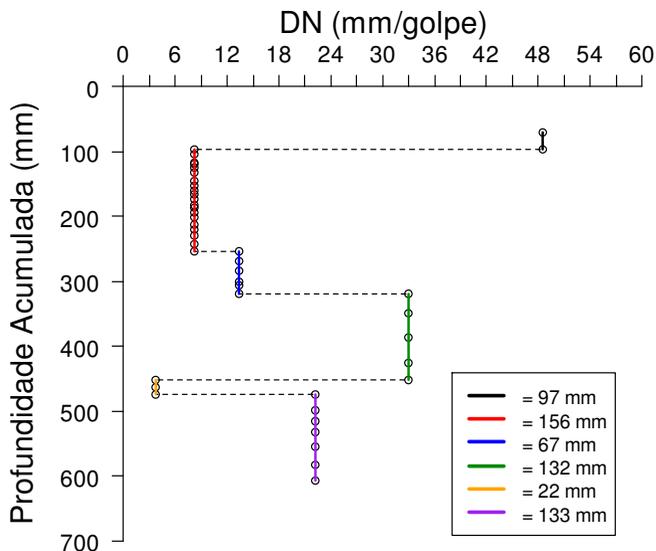


FIGURA 4.62 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 4.

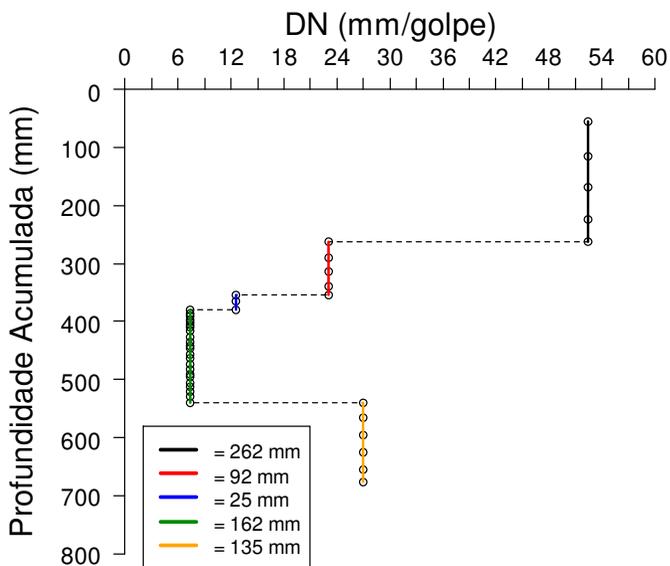


FIGURA 4.63 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 4.

#### 4.5.4.4 Análise dos resultados obtidos na vala 4

O Quadro 4.16 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro da vala 4.

QUADRO 4.16 – Resultados de laboratório e de campo da vala 4

Resultados de Laboratório					Resultados de Campo						
CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>6t.</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
8,4	36,2	4,0	44,0	16,6	14,5	21,9	16,0	17,8	18,6	14,1	95,3

Em relação aos resultados obtidos podem-se tecer os seguintes comentários:

- Observando-se a Figura 4.60, nota-se que tanto os bordo quanto o eixo tiveram uma heterogeneidade na compactação, sendo o BD menos compactado nas últimas camada e mais compactado nas camadas intermediárias, o BE um pouco mais compactado nas camadas intermediárias (entre 32 cm e 60 cm) e menos nas primeiras camadas, e o EX foi o mais bem compactado nas camadas finais. Isso é comprovado pelos valores do DN<sub>BE</sub>, DN<sub>EX</sub> e DN<sub>BD</sub> apresentados no Quadro 4.16;

- Nota-se nas Figuras de 4.61 a 4.63 que não houve uma regularidade nas espessuras das camadas compactadas, bem como camadas mais compactadas que as outras, inclusive diferença de compactação na mesma camada;

- De acordo com o Quadro 4.16 o valor do DN<sub>CF</sub> é menor do que DN<sub>95</sub> indicando uma compactação melhor e com um CBR estimado para esta camada de 10,0 %, ou seja, melhor que o CBR<sub>100</sub>. Como o DN<sub>M</sub> é menor que o DN<sub>95</sub> o serviço é aceito, pois de acordo com a Figura 4.16 apresenta um valor de CBR de apenas 8,4 %;

- Com relação à umidade o Quadro 4.16 apresenta uma W<sub>campo</sub> menor que da W<sub>6t.</sub>, interferindo bastante na diminuição do DN<sub>M</sub> em relação ao DN<sub>95</sub>, portanto não aceitável. Em relação ao grau de compactação da última camada de reaterro, o mesmo ficou dentro da especificação da SUDECAP, concordando com o valor do DN<sub>CF</sub> para esta camada, que também indicaria uma boa compactação, apesar da influência direta da umidade no grau de compactação.

## 4.5.5 Resultados obtidos para vala 5

### 4.5.5.1 Reaterro da vala

Essa vala foi aberta para reparo da rede de esgoto. O reaterro da vala foi realizado com aproveitamento do próprio material escavado. As Figuras de 4.64 a 4.66 mostram a restauração da rede de esgoto e a compactação da última camada com o mesmo material da vala.



FIGURA 4.64 – Escoramento da vala para reparo da rede de esgoto - Vala 5.



FIGURA 4.65 – Compactação da última camada (subleito) - Vala 5.



FIGURA 4.66 – Ensaio do Frasco de Areia e a localização da penetração do DCP - Vala 5.

## 4.5.5.2 Curvas DCP

Na vala 5 as Figuras de 4.67 a 4.69 mostram as curvas DCP para o BE, EX e para o BD e a Figura 4.70 mostra um comparativo entre as três curvas.

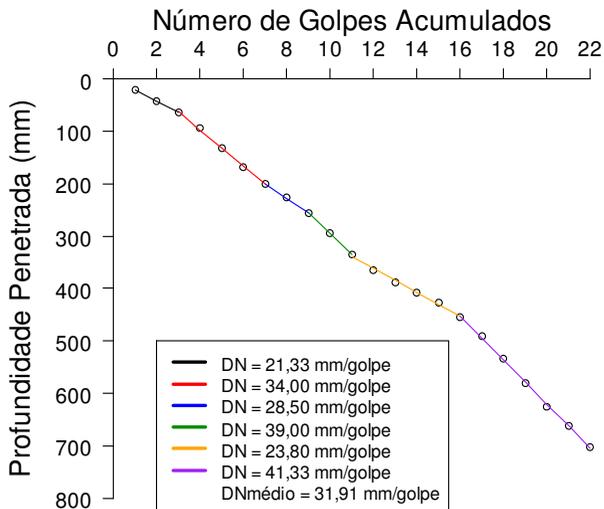


FIGURA 4.67 – Curva DCP do BE – Vala 5

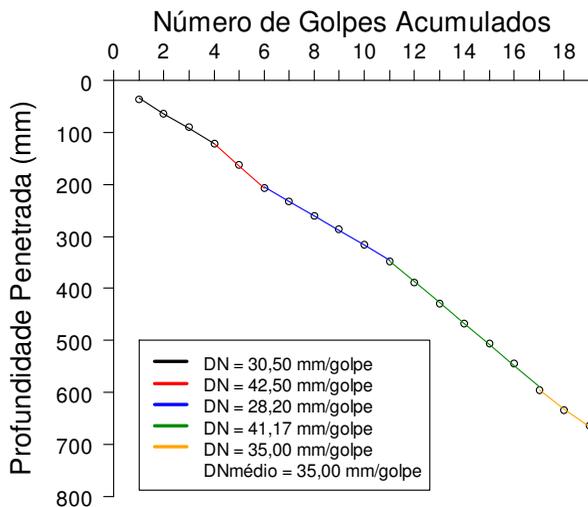


FIGURA 4.68 – Curva DCP do EX – Vala 5

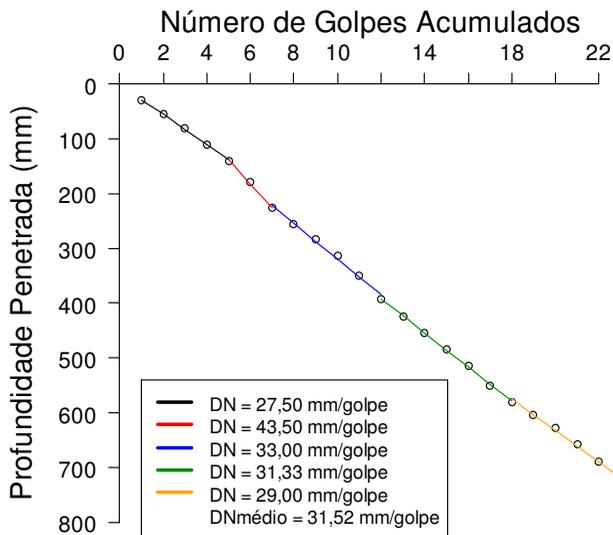


FIGURA 4.69 – Curva DCP do BD – Vala 5

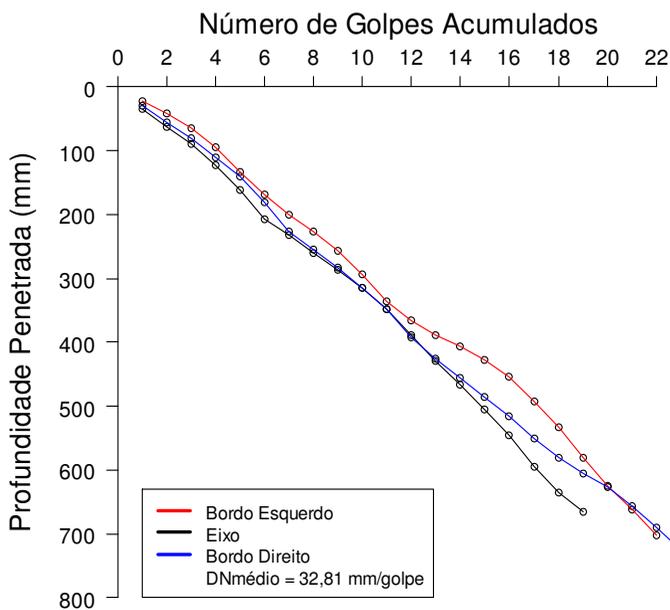


FIGURA 4.70 – Curva DCP do BE, EX E BD – Vala 5

### 4.5.5.3 Diagrama estrutural

As Figuras 4.71 a 4.73 mostram os Diagramas Estruturais para o BE, EX e para o BD da vala 5.

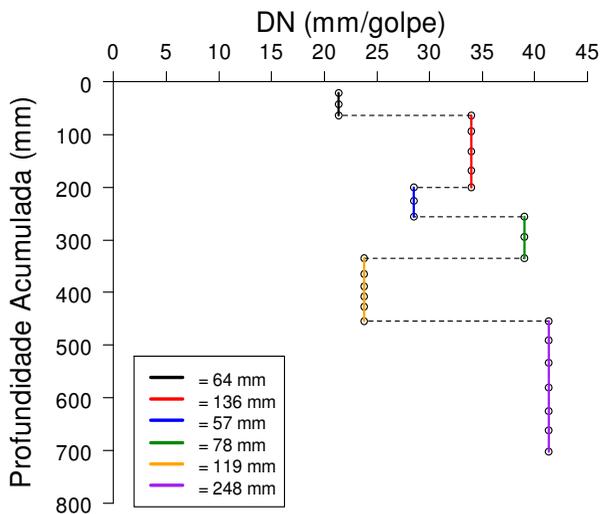


FIGURA 4.71 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 5.

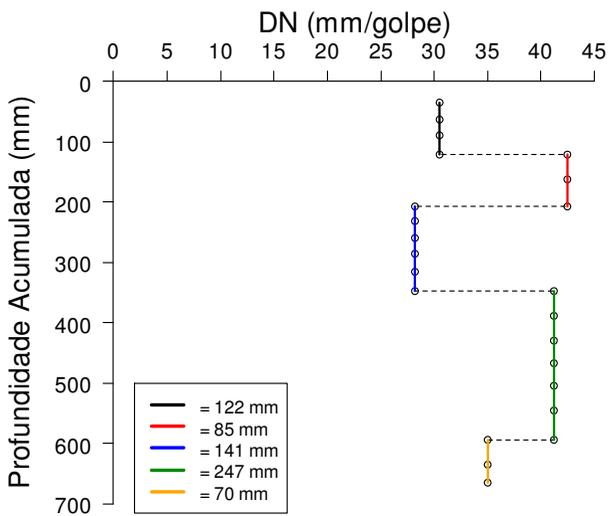


FIGURA 4.72 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 5.

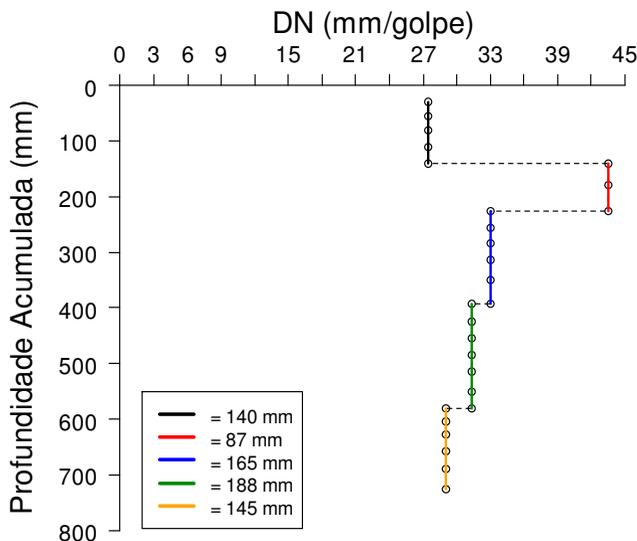


FIGURA 4.73 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 5.

#### 4.5.5.4 Análise dos resultados obtidos na vala 5

O Quadro 4.17 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro da vala 5.

QUADRO 4.17 – Resultados de laboratório e de campo da vala 5

Resultados de Laboratório					Resultados de Campo						
CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>ót.</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
7,8	20,3	3,0	32,0	21,1	31,7	31,9	35,0	31,5	32,8	20,3	94,6

Em relação aos resultados obtidos podem-se tecer os seguintes comentários:

- Observando-se a Figura 4.70, nota-se que tanto os bordos quanto o eixo tiveram uma homogeneidade na compactação. Isso é comprovado pelos valores do DN<sub>BE</sub>, DN<sub>EX</sub> e DN<sub>BD</sub> apresentados no Quadro 4.17;
- Nota-se nas Figuras de 4.71 a 4.73 que houve uma certa regularidade nas espessuras e na compactação das camadas;

- De acordo com o Quadro 4.17 o valor do  $DN_{CF}$  é próximo do  $DN_{95}$  indicando uma compactação melhor e com um CBR estimado para esta camada de 3,0 %, ou seja, próximo de 50 % ao  $CBR_{100}$ . Como o  $DN_M$  é próximo ao  $DN_{95}$  o serviço é aceito, pois de acordo com a Figura 4.16 apresenta um valor de CBR de apenas 3,2 %;

- Com relação à umidade o Quadro 4.17 apresenta uma  $W_{campo}$  próximo da  $W_{ót.}$ , portanto aceitável. Em relação ao grau de compactação da última camada de reaterro, o mesmo ficou próximo da especificação da SUDECAP, concordando com o valor do  $DN_{CF}$  para esta camada, que também indicaria uma boa compactação.

#### 4.5.6 Resultados obtidos para vala 6

##### 4.5.6.1 Reaterro da vala

Essa vala foi aberta para reparo da rede de água. O reaterro da vala foi realizado com aproveitamento do próprio material escavado. As Figuras 4.74 e 4.75 mostram a restauração da rede de água já com acabamento final da base para colocação de revestimento.



FIGURA 4.74 – Reparo de rede de água, fundo de vala -Vala 6.



FIGURA 4.75 – Acabamento final com base com canga de ninério de ferro -Vala 6.

#### 4.5.6.2 Curvas DCP

Na vala 6 as de Figuras 4.76 a 4.78 mostram as curvas DCP para o BE, EX e para o BD e a Figura 4.79 mostra um comparativo entre as três curvas.

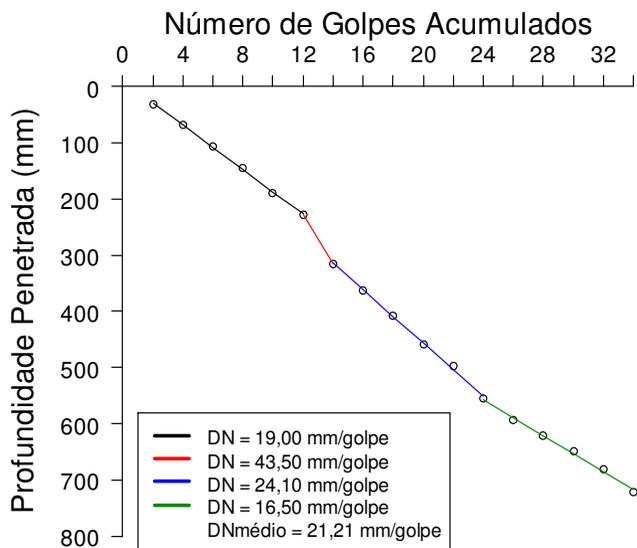
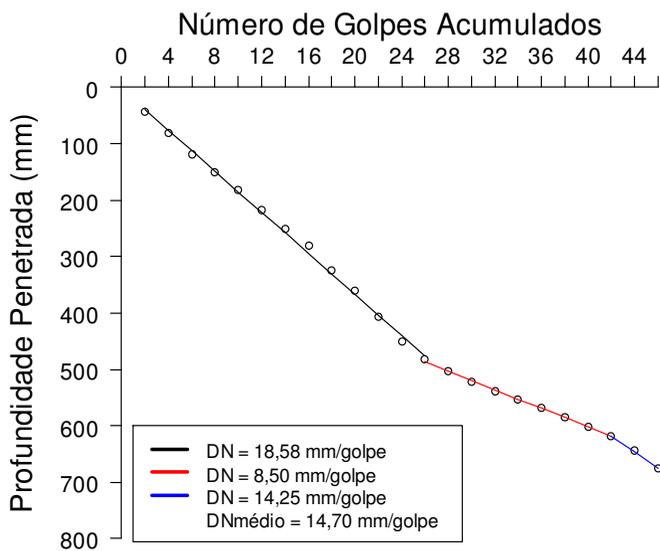


FIGURA 4.76 – Curva DCP do BE – Vala 6



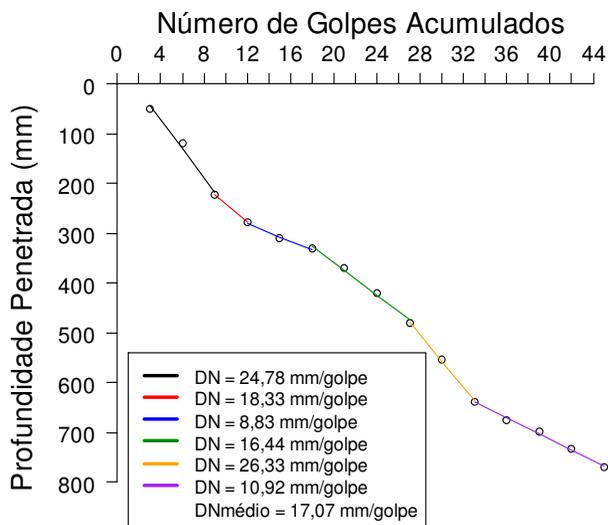


FIGURA 4.78 – Curva DCP do BD – Vala 6

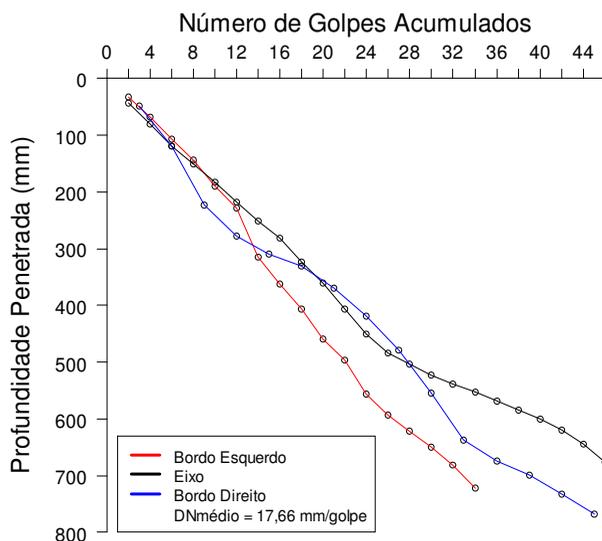


FIGURA 4.79 – Curva DCP do BE, EX e BD – Vala 6

## 4.5.6.3 Diagrama estrutural

As Figuras de 4.80 a 4.82 mostram os Diagramas Estruturais para o BE, EX e para o BD da vala 6.

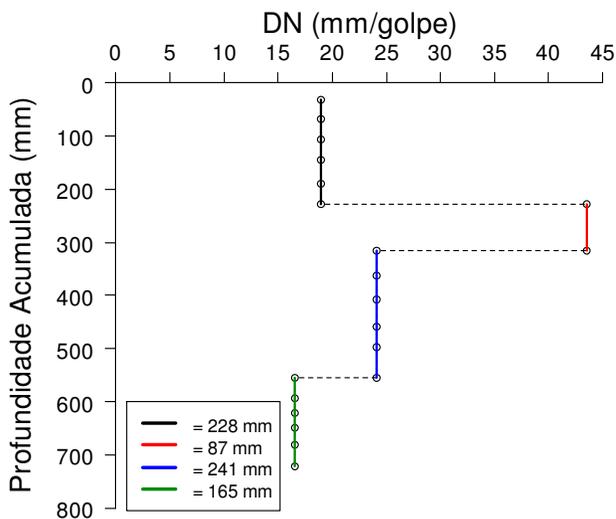


FIGURA 4.80 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 6.

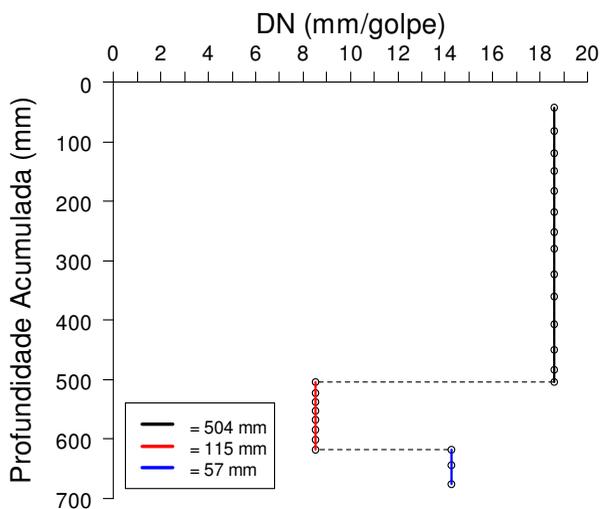


FIGURA 4.81 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 6.

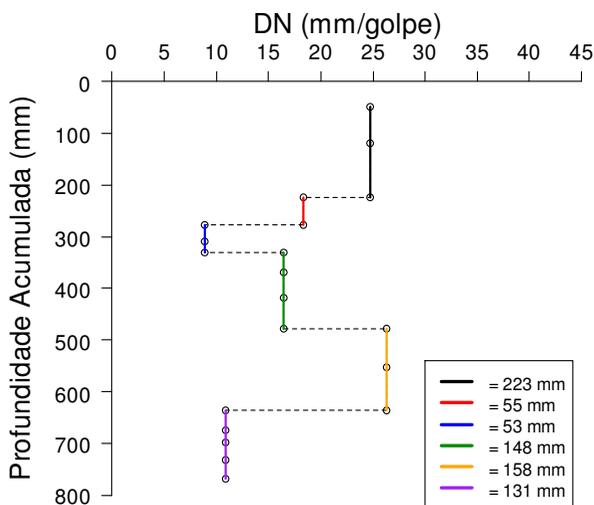


FIGURA 4.82 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 6.

#### 4.5.6.4 Análise dos resultados obtidos na vala 6

O Quadro 4.18 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro da vala 6.

QUADRO 4.18 – Resultados de laboratório e de campo da vala 6

Resultados de Laboratório					Resultados de Campo						
CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>6t</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
8,7	18,7	7,0	24,0	20,7	21,2	21,2	14,7	17,1	17,7	19,4	97,8

Em relação aos resultados obtidos podem-se tecer os seguintes comentários:

- Observando-se a Figura 4.79 nota-se que o eixo, obteve uma compactação melhor em relação aos bordos. Isso é comprovado pelos valores do DN<sub>BE</sub>, DN<sub>EX</sub> e DN<sub>BD</sub> apresentados no Quadro 4.18;
- Nota-se nas Figuras de 4.80 a 4.82 que houve uma variação nas espessuras e na compactação das camadas;
- De acordo com o Quadro 4.18 o valor do DN<sub>CF</sub> é menor do que o DN<sub>95</sub> indicando uma compactação melhor e com um CBR estimado para esta

camada de 8,0 %, ou seja, próximo ao  $CBR_{100}$ . Como o  $DN_M$  é menor que o  $DN_{95}$  o serviço é aceito, pois de acordo com a Figura 4.18 apresenta um valor de CBR de 9,0 %;

- Com relação à umidade o Quadro 4.18 apresenta uma  $W_{campo}$  menor, mas bem próximo da  $W_{ót.}$ , portanto aceitável. Em relação ao grau de compactação da última camada de reaterro, o mesmo ficou próximo da especificação da SUDECAP, concordando com o valor do  $DN_{CF}$  para esta camada, que também indicaria uma boa compactação.

#### 4.5.7 Resultados obtidos para vala 7

##### 4.5.7.1 Reaterro da vala

Essa vala foi aberta para reparo da rede de esgoto. O reaterro da vala foi realizado com aproveitamento do próprio material escavado. As Figuras 4.83 e 4.84 mostram o reparo da rede de esgoto e a compactação da camada final do reaterro com a realização do ensaio de Frasco de Areia.



FIGURA 4.83 – Reparo de rede de esgoto -Vala 6.



FIGURA 4.84 – Compactação da última camada e ensaio do Frasco de Areia - Vala 7.

#### 4.5.7.2 Curvas DCP

Na vala 7, as Figuras de 4.85 a 4.87 mostram as curvas DCP para o BE, EX e para o BD e a Figura 4.88 mostra um comparativo entre as três curvas.

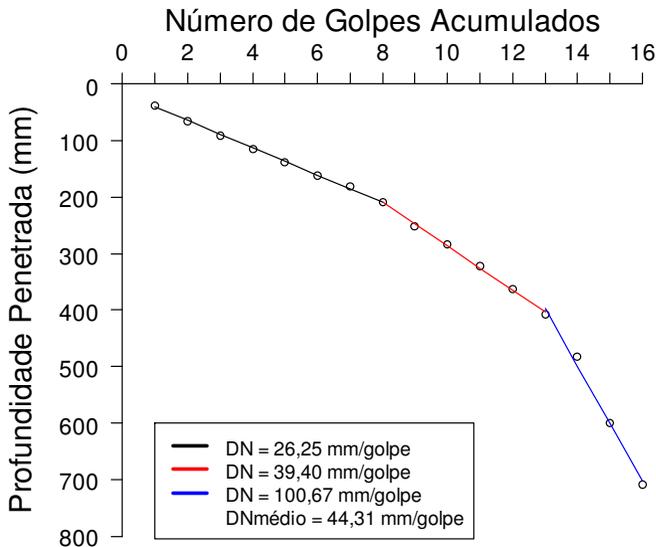


FIGURA 4.85 – Curva DCP do BE – Vala 7

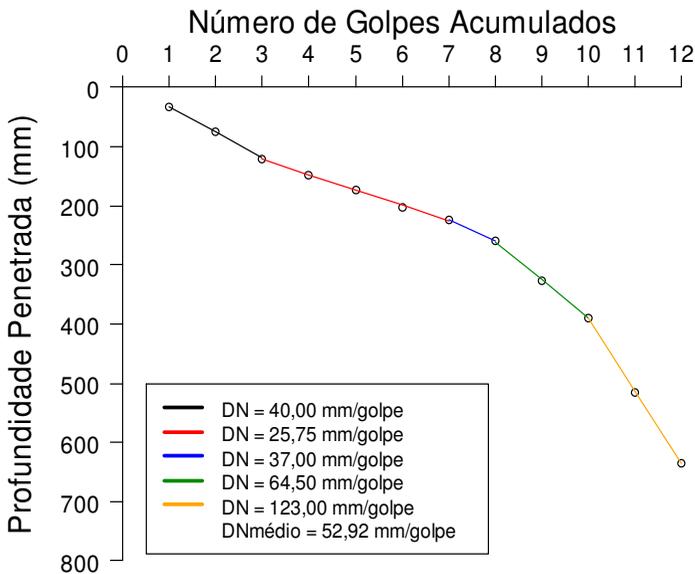


FIGURA 4.86 – Curva DCP do EX – Vala 7

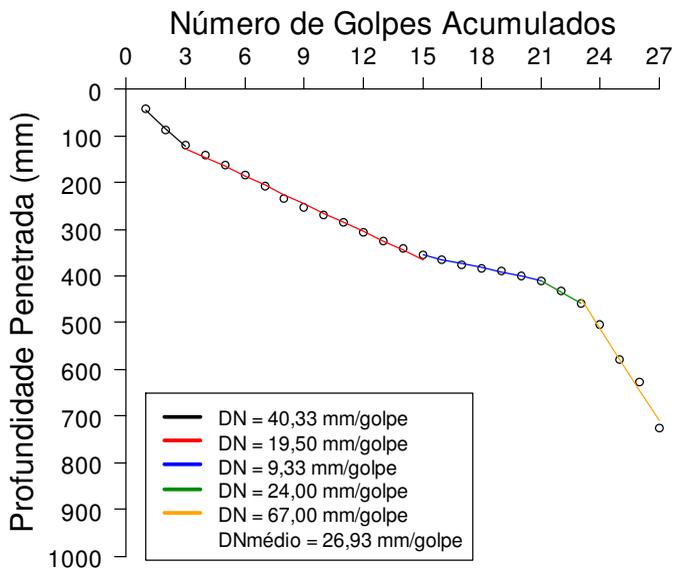


FIGURA 4.87 – Curva DCP do BD – Vala 7.

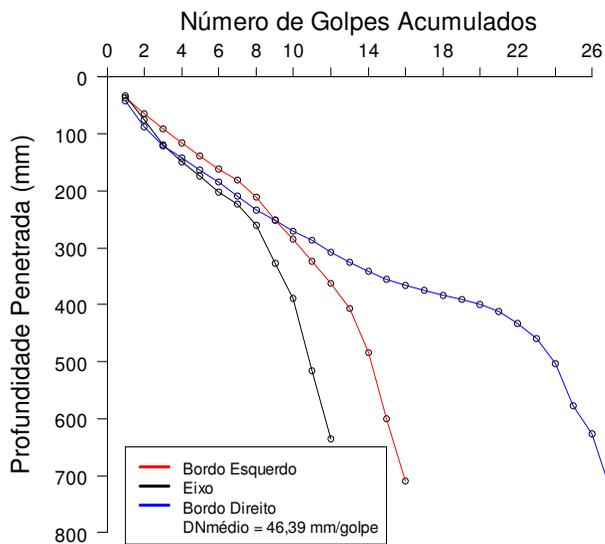


FIGURA 4.88 – Curva DCP do BE, EX E BD – Vala 7.

4.5.7.3 Diagrama estrutural

As Figuras de 4.89 a 4.91 mostram os Diagramas Estruturais para o BE, EX e para o BD da vala 7.

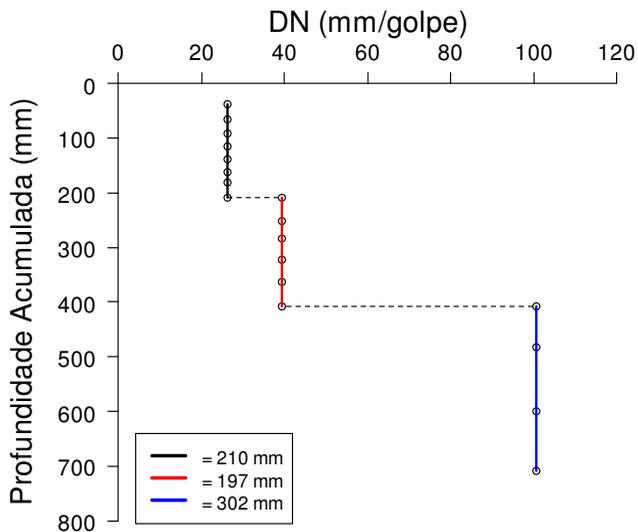


FIGURA 4.89 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 7.

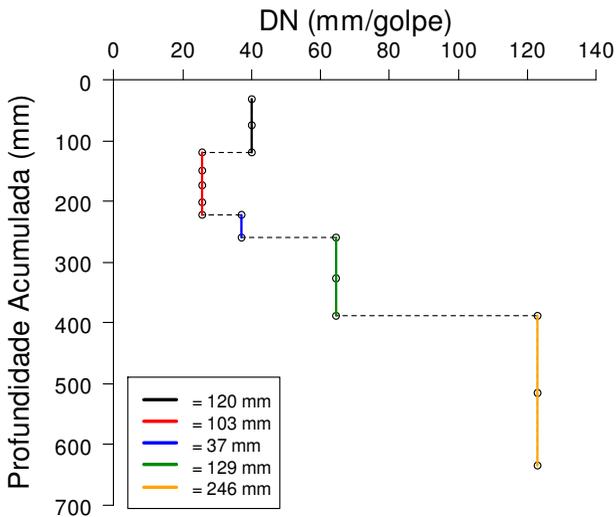


FIGURA 4.90 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 7.

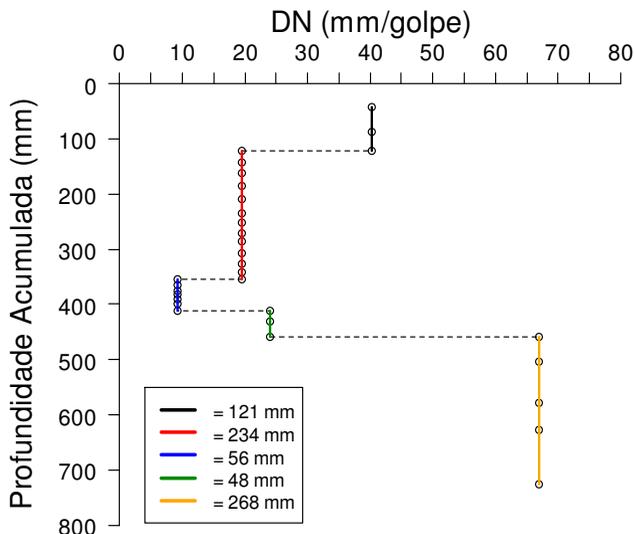


FIGURA 4.91 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 7.

#### 4.5.7.4 Análise dos resultados obtidos na vala 7

O Quadro 4.19 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro da vala 7.

QUADRO 4.19 – Resultados de laboratório e de campo da vala 7

Resultados de Laboratório					Resultados de Campo							
CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>ót.</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC	
12,9	14,2	4,0	34,0	11,0	35,1	44,3	52,9	26,9	41,4	14,1	93,2	

Em relação aos resultados obtidos podem-se tecer os seguintes comentários:

- Observando-se a Figura 4.88, nota-se que houve uma certa regularidade na compactação da última camada, para as primeiras camadas nota-se uma discrepância de compactação entre eixo e bordos. Isso é comprovado pelos valores do DN<sub>BE</sub>, DN<sub>EX</sub> e DN<sub>BD</sub> apresentados no Quadro 4.19;

- Nota-se nas Figuras de 4.89 a 4.91 que houve uma variação na espessura e na compactação das camadas;
- De acordo com o Quadro 4.19 o valor do  $DN_{CF}$  é próximo do  $DN_{95}$  indicando uma compactação um pouco menor e com um CBR estimado para esta camada de 3,6 %, ou seja, próximo de 20 % ao  $CBR_{100}$ . Como o  $DN_M$  é maior que o  $DN_{95}$  o serviço não é aceito, pois de acordo com a Figura 4.20 apresenta um valor de CBR de 3,4 %;
- Com relação à umidade o Quadro 4.19 apresenta uma  $W_{campo}$  maior que a  $W_{ót.}$ , portanto não aceitável. Em relação ao grau de compactação da última camada de reaterro, o mesmo ficou abaixo da especificação da SUDECAP, concordando com o valor do  $DN_{CF}$  para esta camada, que também indicaria uma compactação deficiente.

### 4.5.8 Resultados obtidos para vala 8

#### 4.5.8.1 Reaterro da vala

Essa vala foi aberta para reparo da rede de água. O reaterro da vala foi realizado com aproveitamento do próprio material escavado. A Figura 4.92 mostra a compactação da camada final do reaterro (subleito) com a regularização da camada.



FIGURA 4.92 – Compactação da penúltima camada do subleito sem acerto da camada - Vala 8.

#### 4.5.8.2 Curvas DCP

Na vala 8, as Figuras de 4.93 a 4.95 mostram as curvas DCP para o BE, EX e para o BD e a Figura 4.96 mostra um comparativo entre as três curvas.

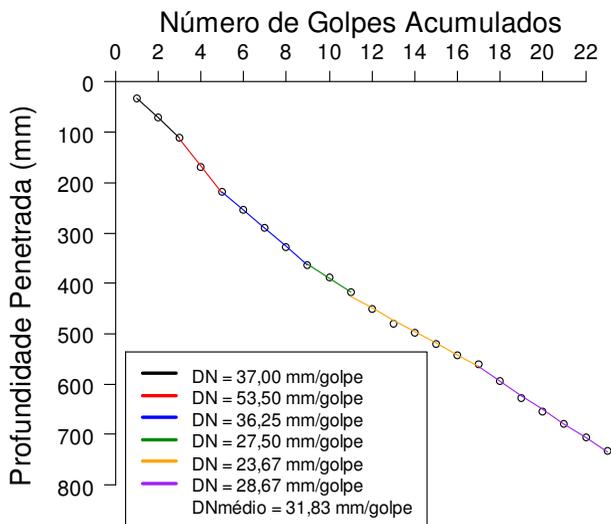


FIGURA 4.93 – Curva DCP do BE – Vala 8

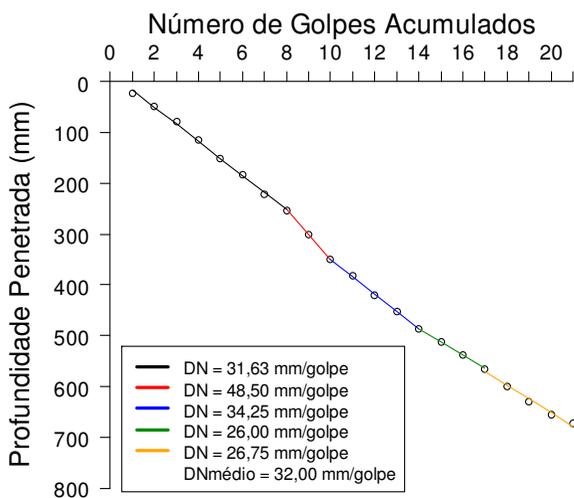


FIGURA 4.94 – Curva DCP do EX – Vala 8

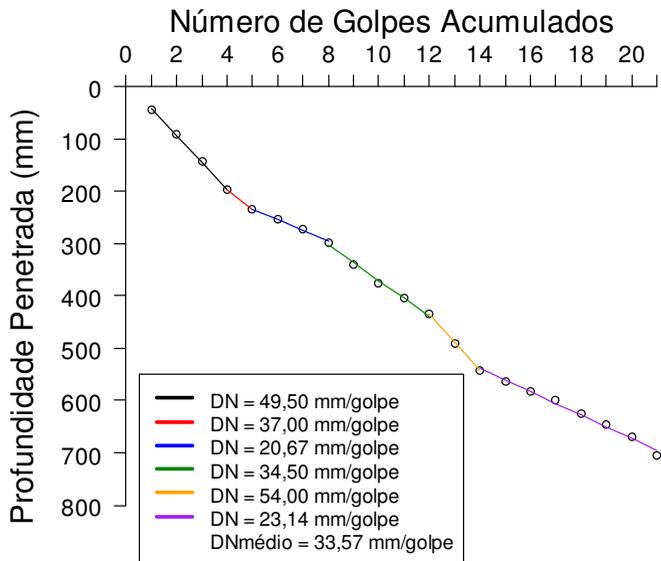


FIGURA 4.95 – Curva DCP do BD – Vala 8

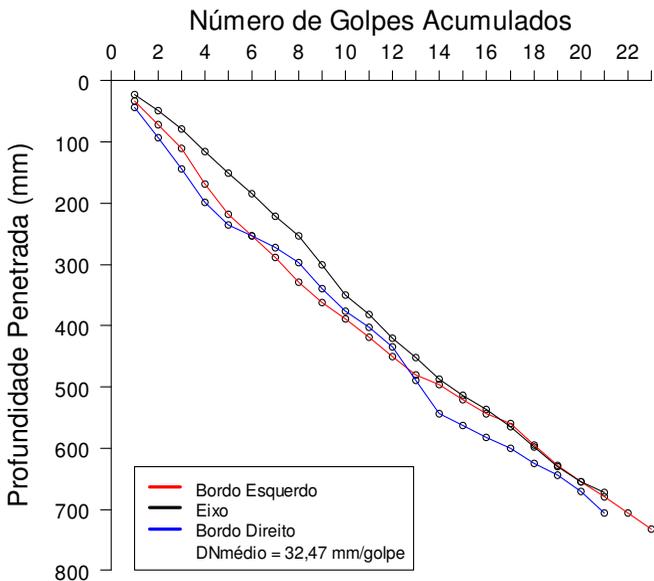


FIGURA 4.96 – Curva DCP do BE, EX e BD – Vala 8

### 4.5.8.3 Diagrama estrutural

As Figuras de 4.97 a 4.99 mostram os Diagramas Estruturais para o BE, EX e para o BD da vala 8.

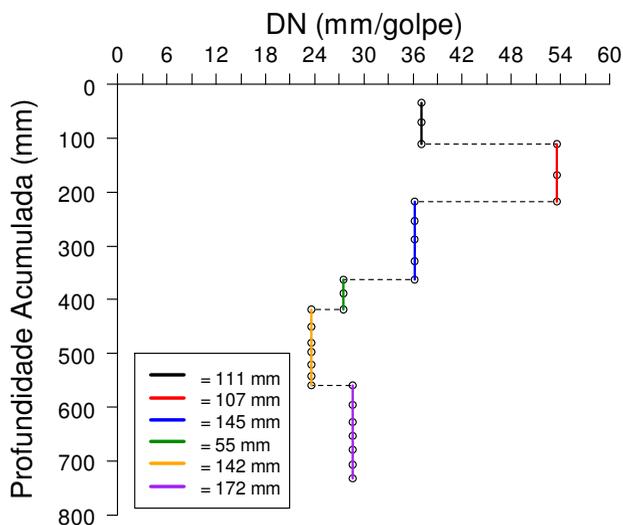


FIGURA 4.97 – Diagrama Estrutural do BE – Vala 8.

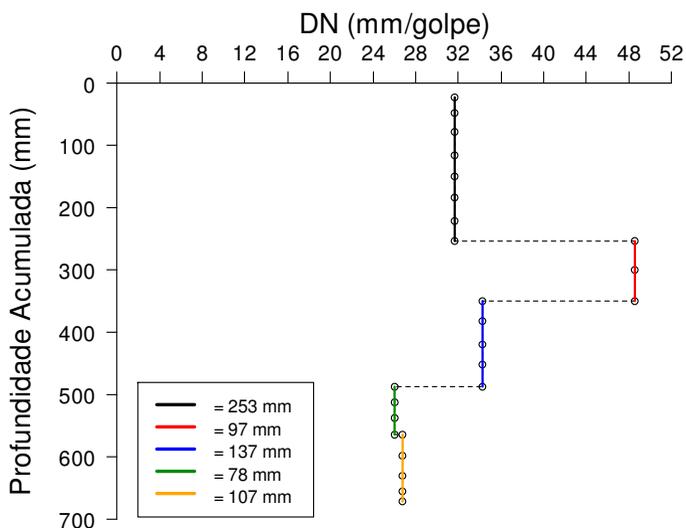


FIGURA 4.98 – Diagrama Estrutural do EX – Vala 8.

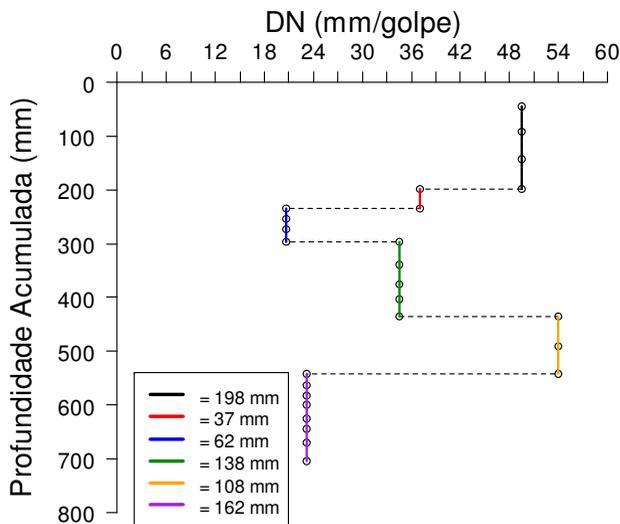


FIGURA 4.99 – Diagrama Estrutural do BD – Vala 8.

#### 4.5.8.4 Análise dos resultados obtidos na vala 8

O Quadro 4.20 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro da vala 8.

QUADRO 4.20 – Resultados de laboratório e de campo da vala 8

Resultados de Laboratório					Resultados de Campo						
CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>óL</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
8,5	15,9	4,5	46,0	17,5	41,6	31,8	32,0	33,6	32,5	20,7	95,0

Em relação aos resultados obtidos podem-se tecer os seguintes comentários:

- Observando-se a Figura 4.96, nota-se que tanto os bordos quanto o eixo tiveram uma homogeneidade na compactação. Isso é comprovado pelos valores do DN<sub>BE</sub>, DN<sub>EX</sub> e DN<sub>BD</sub> apresentados no Quadro 4.20;
- Nota-se nas Figuras de 4.97 a 4.99 que houve uma variação na espessura e na compactação das camadas;

- De acordo com o Quadro 4.20 o valor do  $DN_{CF}$  é menor do que  $DN_{95}$  indicando uma compactação maior e com um CBR estimado para esta camada de 5,2 %, ou seja, um pouco menor com relação ao  $CBR_{100}$ . Como o  $DN_M$  é menor que o  $DN_{95}$  o serviço pode ser aceito, pois de acordo com a Figura 4.22 apresenta um valor de CBR de 6,0%;
- Com relação à umidade o Quadro 4.20 apresenta uma  $W_{campo}$  maior que a  $W_{ót.}$ , portanto não aceitável. Em relação ao grau de compactação da última camada de reaterro, o mesmo ficou de acordo com a especificação da SUDECAP, concordando com o valor do  $DN_{CF}$  para esta camada, que também indicaria uma boa compactação.

#### **4.5.9 Análise dos resultados obtidos com todas as valas**

O Quadro 4.21 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro de todas as oito valas.

Em relação aos resultados obtidos nas oito valas podem-se tecer os seguintes comentários:

- De acordo com o Quadro 4.21, considerando as camadas finais de reaterro das valas ( $DN_{CF}$ ) apenas 63 % delas seriam aceitas, e considerando a média ( $DN_M$ ) de compactação de todas as camadas por vala, 75 % poderia ser aceito. É um índice baixo mesmo tanto para camada final quanto para a média por camadas, mesmo tendo a considerar que alguns índices tiveram influência direta da umidade, principalmente abaixo da ótima (ramo seco). Analisando todas as oito valas, na maioria delas faltou desde o controle de espessura das camadas, manutenção da umidade próximo da ótima, regularidade na Amplitude (movimento de deslocamento do compactador de percussão em uma determinada direção) e do número de passadas de forma homogênea tanto no BE, EX e BD.

QUADRO 4.21 – Resultados de laboratório e de campo de todas as oito valas.

Vala	Resultados de Laboratório					Resultados de Campo						
	CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>ót.</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
1	14,2	17,3	7,0	30,0	16,0	33,7	27,8	20,3	-	24,1	18,5	92,1
2	10,2	17,1	7,0	36,0	16,7	53,6	52,2	25,0	61,9	46,4	21,9	83,4
3	15,1	12,1	4,0	44,0	13,1	26,5	26,5	46,5	30,4	34,5	15,2	96,5
4	8,4	36,2	4,0	44,0	16,6	14,5	21,9	16,0	17,8	18,6	14,1	95,3
5	7,8	20,3	3,0	32,0	21,1	31,7	31,9	35,0	31,5	32,8	20,3	94,6
6	8,7	18,7	7,0	24,0	20,7	21,2	21,2	14,7	17,1	17,7	19,4	97,8
7	12,9	14,2	4,0	34,0	11,0	35,1	44,31	52,9	26,9	41,4	14,1	93,2
8	8,5	15,9	4,5	46,0	17,5	41,6	31,8	32,0	33,6	32,5	20,7	95,0

#### 4.5.10 Análise dos resultados obtidos com as valas do grupo A-6

O Quadro 4.22 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro das valas do Grupo A-6.

Em relação aos resultados obtidos nas valas do Grupo A-6 pode-se tecer os seguintes comentários:

- De acordo com o Quadro 4.22 considerando as camadas finais de reaterro das valas (DN<sub>CF</sub>) apenas 50 % delas seriam aceitas e considerando a média (DN<sub>M</sub>) de compactação de todas as camadas por vala, somente 67 % poderia ser aceito. É um índice baixo mesmo tanto para camada final quanto para a média por camadas, mesmo tendo a considerar que alguns índices tiveram influência direta da umidade, principalmente abaixo da ótima (ramo seco). Analisando as valas do Grupo A-6, na maioria delas faltou desde o controle de espessura das camadas, manutenção da umidade próximo da ótima, regularidade na regularidade na Amplitude e do número de passadas de forma homogênea tanto no BE, EX e BD.

QUADRO 4.22 – Resultados de laboratório e de campo das valas do Grupo A-6.

Vala	Resultados de Laboratório					Resultados de Campo						
	CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>ót.</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
1	14,2	17,3	7,0	30,0	16,0	33,7	27,8	20,3	-	24,1	18,5	92,1
2	10,2	17,1	7,0	36,0	16,7	53,6	52,2	25,0	61,9	46,4	21,9	83,4
3	15,1	12,1	4,0	44,0	13,1	26,5	26,5	46,5	30,4	34,5	15,2	96,5
4	8,4	36,2	4,0	44,0	16,6	14,5	21,9	16,0	17,8	18,6	14,1	95,3
7	12,9	14,2	4,0	34,0	11,0	35,1	44,3	52,9	26,9	41,4	14,1	93,2
8	8,5	15,9	4,5	46,0	17,5	41,6	31,8	32,0	33,6	32,5	22,7	95,0

#### 4.5.11 Análise dos resultados obtidos com as valas do grupo A-7-5

O Quadro 4.23 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro das valas do Grupo A-7-5.

QUADRO 4.23 – Resultados de laboratório e de campo das valas do Grupo A-7-5.

Vala	Resultados de Laboratório					Resultados de Campo						
	CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>ót.</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
5	7,8	20,3	3,0	32,0	21,1	31,7	31,9	35,0	31,5	32,8	20,3	94,6
6	8,7	18,7	7,0	24,0	20,7	21,2	21,2	14,7	17,1	17,7	19,4	97,8

Em relação aos resultados obtidos nas valas do Grupo A-7-5 podem-se tecer os seguintes comentários:

- De acordo com o Quadro 4.23 considerando as camadas finais de reaterro das valas (DN<sub>CF</sub>) todas elas seriam aceitas mesmo considerando a média (DN<sub>M</sub>) de compactação de todas as camadas por vala;
- Analisando as valas do Grupo A-7-5, em todas elas faltou o controle de espessura das camadas, contudo houve uma certa regularidade na Amplitude ou seja movimento de deslocamento do Compactador de Percussão em direção as extremidades, bem como do número de passadas no BE, EX e BD.

#### **4.5.12 Considerações gerais sobre os resultados obtidos em todas as oito valas e grupos**

Apesar de não ter qualquer tipo de interferência de minha parte no reaterro das valas, observou-se que em nenhuma delas foi deixado uma sobre espessura na última camada para que em um eventual recalque por falta de suporte da estrutura reaterrada, a mesma ficasse nivelada com o revestimento existente, como era praxe nesse tipo de serviço, facilitando assim o aparecimento de trincas e deformações não só no local da vala recomposta, mas também em torno do perfil longitudinal.

Em todas as valas apesar da presença da fiscalização por parte do mandante do serviço, faltou um pouco mais de observação com relação ao controle de espessura e de um critério para o número mínimo de passadas do Compactador de Percussão e de sua Amplitude. Em todas as valas foi utilizado Compactador de Percussão com peso de 58 kg.

Observou-se falta de critério por parte dos operadores de Compactadores de Percussão, com relação aos procedimentos de compactação de valas (regularidade na faixa de cobertura da camada e na amplitude) na troca de operadores durante a execução do reaterro das valas.

#### **4.6 Avaliação das Oito Valas Após Dez Meses**

Todas as oito valas reaterradas foram avaliadas dez meses após seu fechamento final com revestimento em CBUQ e aberto ao tráfego.

A Figura 4.100 mostra a situação atual da vala 1 após dez meses de tráfego.

Nota-se na Figura 4.100 que não houve abatimento ou trincas após o fechamento da vala 1. Apesar do  $DN_{CF}$  ter ficado um pouco acima do  $DN_{95}$  o  $DN_M$  ficou abaixo do  $DN_{95}$ , conforme Quadro 4.21. A Av. Nossa Senhora de Fátima é uma avenida com tráfego leve.

As Figuras 4.101 e 4.102 mostram a situação atual da vala 2 após dez meses de tráfego.

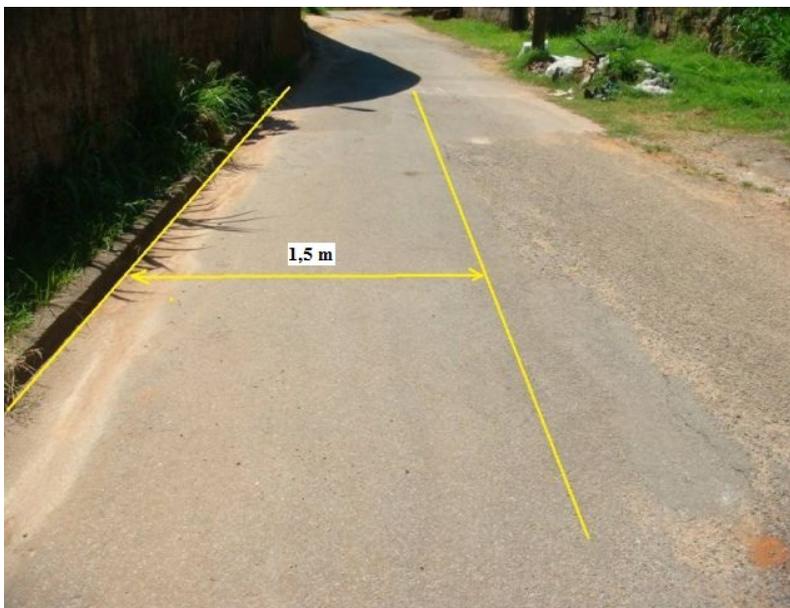


FIGURA 4.100 – Situação atual da vala 1 após dez meses de tráfego.

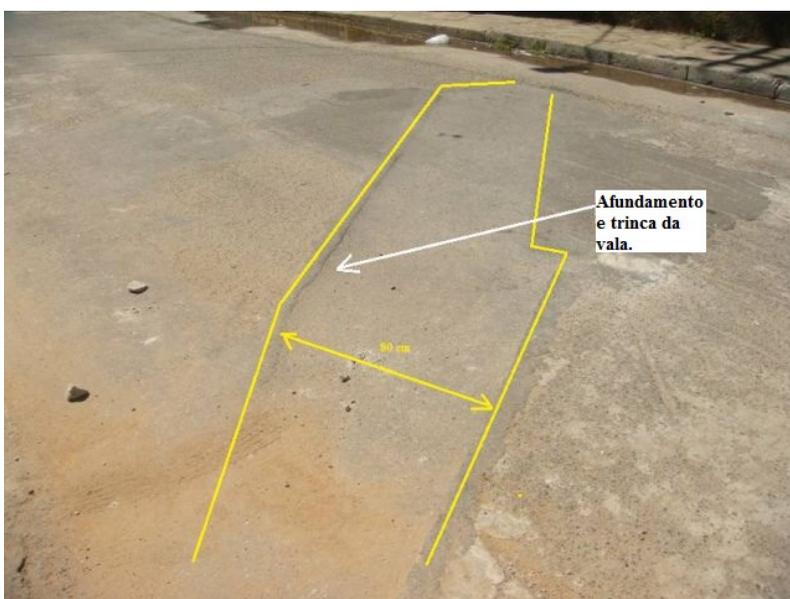


FIGURA 4.101 – Situação atual da vala 2 após dez meses de tráfego.

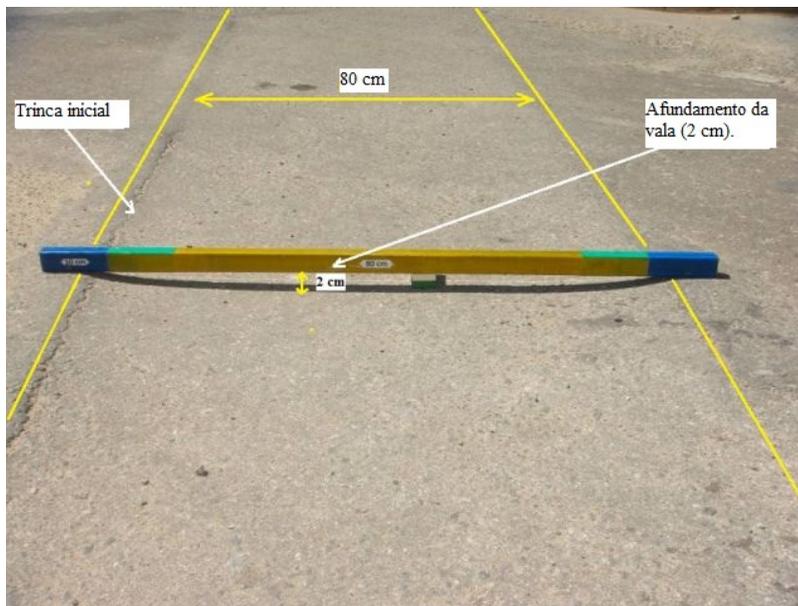


FIGURA 4.102 – Situação atual da vala 2 após dez meses de tráfego.

Nota-se nas Figuras 4.101 e 4.102 que houve um abatimento de dois centímetros do pavimento devido à má compactação da vala, já comprovado anteriormente através do  $DN_{CF}$ ,  $DN_M$  e GC e mostrado no Quadro 4.21. Além do abatimento da vala, verificam-se trincas no sentido longitudinal também surgidas devido ao abatimento. A Rua Santa Cecília é uma rua com tráfego médio.

A Figura 4.103 mostra a situação atual da vala 3 após dez meses de tráfego.

Nota-se na Figura 4.103 que não houve abatimento ou trincas devido boa compactação da vala, já comprovado anteriormente através do  $DN_{CF}$ ,  $DN_M$  e GC e mostrado no Quadro 4.21. A Av. Guaratan com Rua Tombos é uma rua com tráfego leve.

A Figura 4.104 mostra a situação atual da vala 4 após dez meses de tráfego.

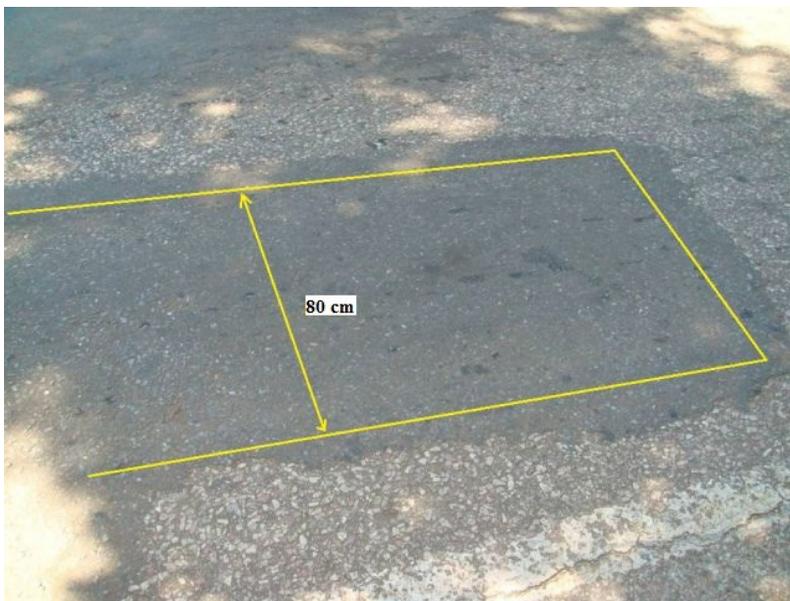


FIGURA 4.103 – Situação atual da vala 3 após dez meses de tráfego.



FIGURA 4.104 – Situação atual da vala 4 após dez meses de tráfego.

Nota-se na Figura 4.104 que não houve abatimento e trincas devido à boa compactação da vala, já comprovado anteriormente através do  $DN_{CF}$ ,  $DN_M$  e GC e mostrado no Quadro 4.21. A Rua Crispim Jaques é uma rua com tráfego médio.

As Figuras 4.105 e 106 mostram a situação atual da vala 5 após dez meses de tráfego.



FIGURA 4.105 – Situação atual da vala 5 após 10 meses.

Nota-se nas Figuras 4.104 que não houve abatimento ou a existência de trincas devido à boa compactação da vala, já comprovado anteriormente através do  $DN_{CF}$ ,  $DN_M$  e GC e mostrado no Quadro 4.21. A Rua Lindolfo de Azevedo é uma rua com tráfego meio pesado. Observa-se que apesar do pavimento antigo em entorno da vala já estava comprometido (trincas) e não foi restaurado quando do fechamento da vala o mesmo não comprometeu o serviço executado na vala.

A Figura 4.107 mostra a situação atual da vala 6 após dez meses de tráfego.

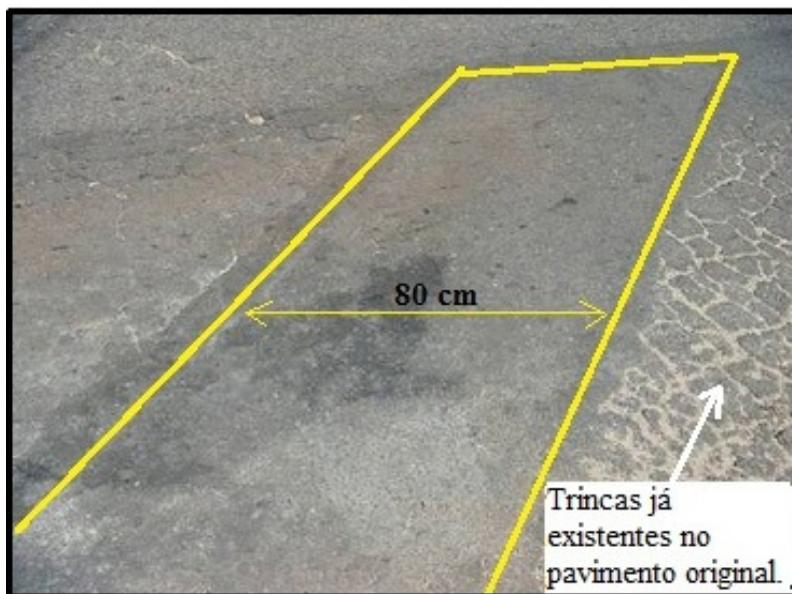


FIGURA 4.106 – Situação atual da vala 5 após 10 meses.

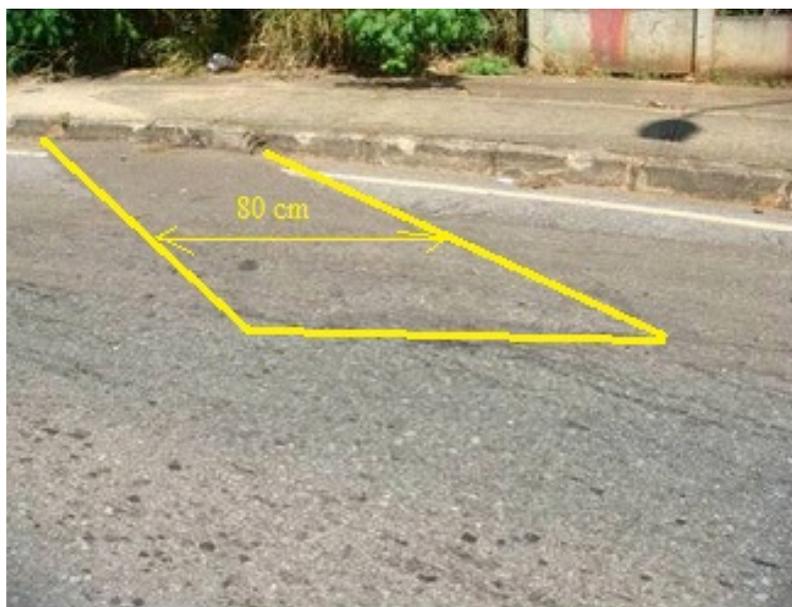


FIGURA 4.107 – Situação atual da vala 6 após dez meses de tráfego.

Nota-se na Figura 4.107 que não houve abatimento ou a existência de trincas devido à boa compactação da vala, conforme já comprovado anteriormente através do  $DN_{CF}$ ,  $DN_M$  e GC e mostrado no Quadro 4.21. A Marginal da Av. Tereza Cristina com Av. Amazonas é uma via com tráfego meio pesado.

As Figuras 4.108 e 109 mostram a situação atual da vala 7 após dez meses de tráfego.

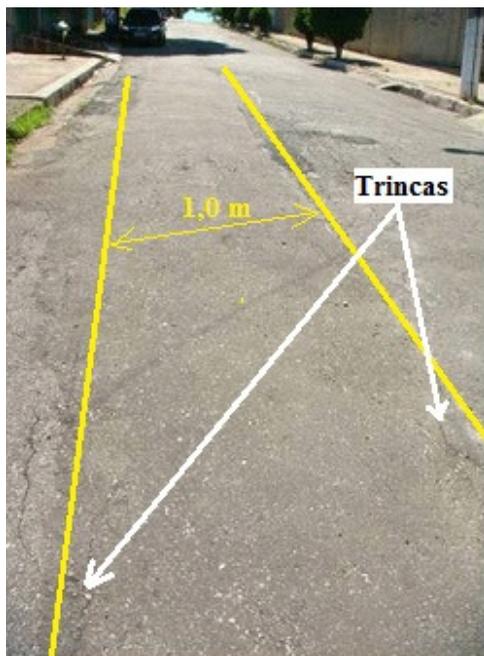


FIGURA 4.108 – Situação atual da vala 7 após 10 meses.

Nota-se nas Figuras 4.108 e 4.109 que houve abatimento e trincas longitudinais devido à má compactação da vala, já comprovado anteriormente através do  $DN_{CF}$ ,  $DN_M$  e GC e mostrado no Quadro 4.21. A Rua Maria Antônia Fragolia é uma rua com tráfego leve. Observa-se que apesar do pavimento do entorno da vala já estava comprometido (trincas) e não foi restaurado quando do fechamento da vala o mesmo não comprometeu o serviço executado na vala.

A Figura 4.110 mostra a situação atual da vala 8 após dez meses de tráfego.

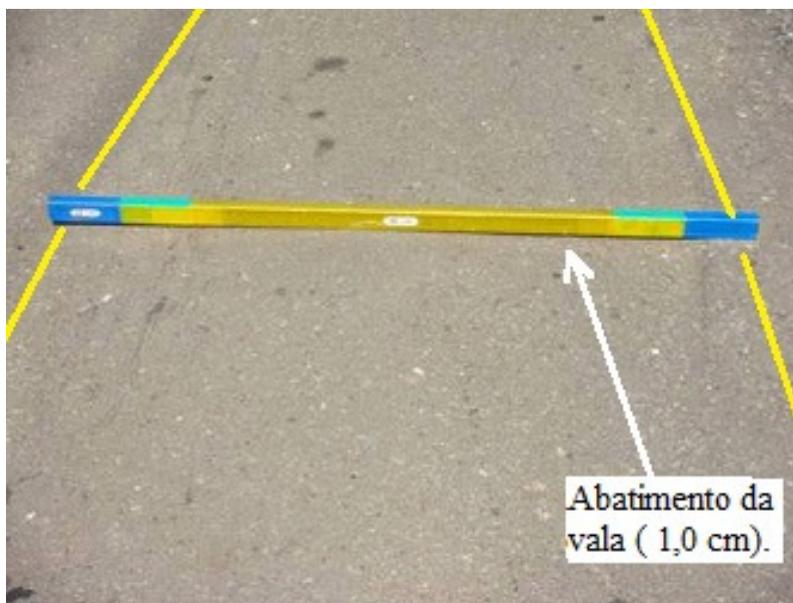


FIGURA 4.109 – Situação atual da vala 7 após 10 meses.

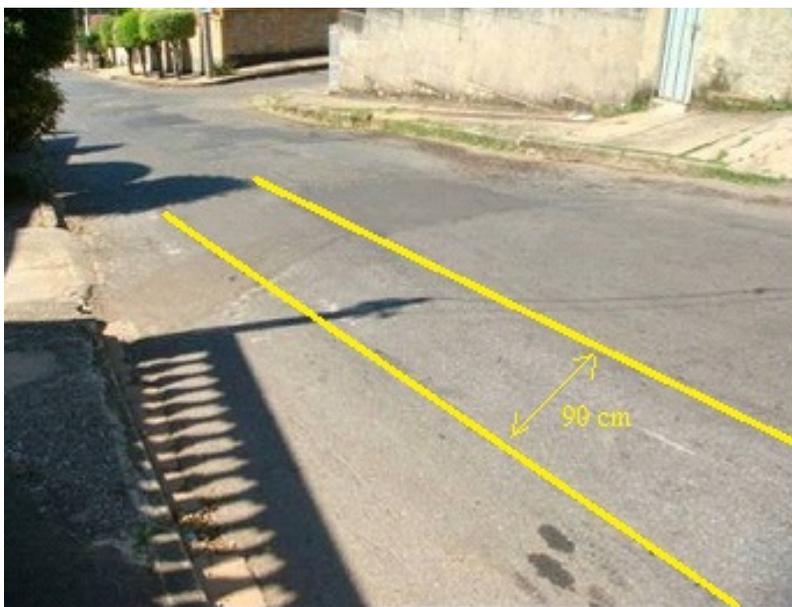


FIGURA 4.110 – Situação atual da vala 8 após dez meses de tráfego.

Nota-se na Figura 4.110 que não houve abatimento ou trincas devido boa compactação da vala, já comprovado anteriormente através do  $DN_{CF}$ ,  $DN_M$  e GC e mostrado no Quadro 4.21. A Rua Cândida Ferraz Garcia é uma rua com tráfego médio.

## **CAPÍTULO 5 – VALAS EXPERIMENTAIS**

### **5.1 Vala Experimental 1 – COPASA**

Para o estabelecimento de um procedimento prático para o controle de qualidade do reaterro de valas empregando-se o DCP, foi executada uma vala experimental nas dependências da regional oeste da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA). Na execução dessa vala, todos os procedimentos foram acompanhados por funcionários da COPASA, CEFET/MG e SUDECAP. A Figura 5.1 mostra a abertura da vala experimental de onde foi coletado material para realização de ensaios de caracterização, compactação, CBR e DCP. As dimensões da vala foram de 4,00 m x 0,80 m x 1,00m (comprimento, largura e profundidade).



FIGURA 5.1 – Escavação para coleta de material - Vala Experimental 1.

#### **5.1.1 Caracterização Geotécnica e Obtenção da Correlação CBR x DCP do Solo**

Para a caracterização geotécnica do solo da vala experimental, foram realizados ensaios de granulometria, limites de liquidez e

plasticidade e compactação. Posteriormente foram realizados ensaios de CBR com e medida de expansão e ensaio de DCP para obtenção da correlação CBR x DN deste solo. O Quadro 5.1 apresenta os resultados de granulometria e o Quadro 5.2 os demais resultados dos ensaios de caracterização geotécnica.

QUADRO 5.1 – Resultado do ensaio granulometria por peneiramento - Vala experimental 1

Peneiras	3/4"	3/8"	1/4"	Nº 4	Nº 10	Nº 16	Nº30	Nº 40	Nº 50	Nº 100	Nº 200
Porcentagem	100	98	92	87	72	68	57	51	45	30	24

QUADRO 5.2 – Características geotécnicas

Descrição do solo		Areia argilosa
Unidade Geotécnica		PVA
Granulometria	Areia grossa (%)	16
	Areia média (%)	21
	Areia fina (%)	27
	Silte (%)	10
	Argila (%)	14
Limite liquidez - LL (%)		28
Limite plasticidade - LP (%)		20,9
Índice de plasticidade - IP (%)		7,1
Índice de grupo - IG		1
Classificação HRB		A-2-4
Classificação SUCS		SC

O Quadro 5.3 apresenta os resultados dos ensaios de CBR e DCP e as Figura 5.2 e 5.3 mostram a curva de compactação e CBR e a correlação entre CBR e DCP, respectivamente.

QUADRO 5.3 – Resumo dos ensaios de CBR e DCP - Vala experimental 1

Tipo	Corpo de Prova	Umidade (%)	MEAS (kg/m <sup>3</sup> )	DN (mm/golpe)	GC (%)
Sem imersão	1	17,5	1.559	10,1	93,7
	12	19,8	1.619	11,2	97,3
	14	22,0	1.664	14,9	100,0
	9	24,3	1.602	15,9	96,3
	3	26,5	1.478	25,5	88,8
				CBR (%)	
Com imersão	7	17,5	1.574	7,6	93,4
	10	19,8	1.633	18,0	96,9
	20	22,0	1.675	22,1	99,4
	18	24,3	1.590	17,7	94,4
	5	26,5	1.504	7,4	89,3
MEAS (kg/m <sup>3</sup> ) = 1.685		Wót (%) = 21,6	Expansão (%) = 0,3		CBR (%) = 22,2

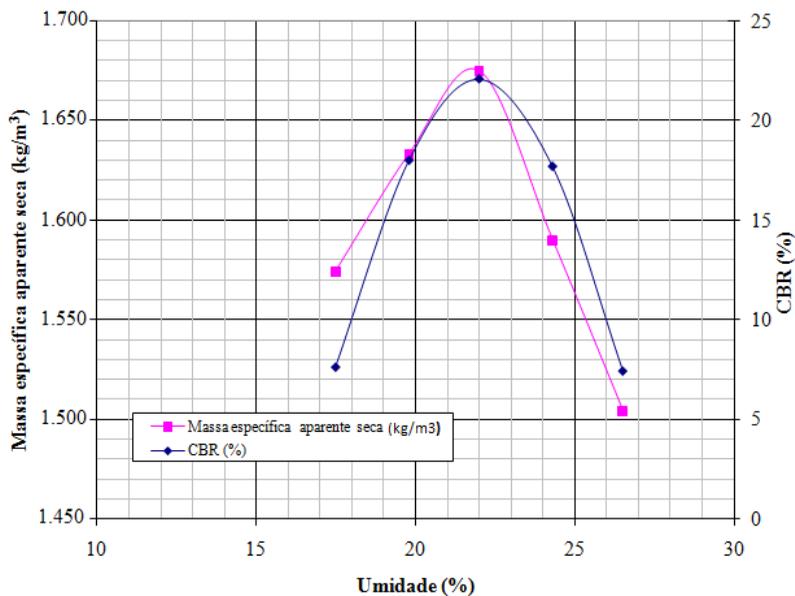


FIGURA 5.2 – Curva de compactação e de variação do CBR – Vala Exp. 1.

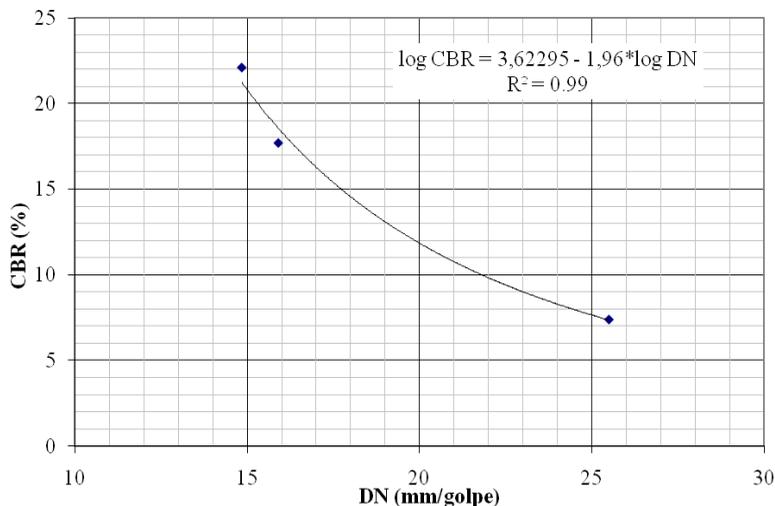


FIGURA 5.3 – Correlação CBR x DN para a vala experimental 1.

De acordo com os resultados obtidos para este solo, os parâmetros de controle de compactação seriam os seguintes:

- Para GC de 100% CBR = 22% e DN = 14,8 mm/golpe;
- Para GC de 95% CBR = 18% e DN = 16,4 mm/golpe.

## 5.1.2 Procedimento Adotado para do Reaterro da Vala Experimental

O procedimento adotado para o reaterro da vala com vista ao estabelecimento de uma especificação para a execução deste serviço é descrita na sequência.

### 5.1.2.1 Compactação das camadas

A vala foi reaterrada com aproveitamento do próprio material, através de quatro camadas compactadas com altura individual de 30 cm de solo fofo. Cada camada foi compactada com quatro passadas completas, empregando-se um compactador manual de percussão (sapo mecânico) modelo Dinapac – LT 52, observando a regularidade de frequência de compactação com o tempo médio por camada de doze minutos (atuação média aproximada do equipamento por 4 minutos em cada metro quadrado de vala). A Figura 5.4 ilustra o início da compactação da primeira camada e a Figura 5.5 ilustra o aspecto da

superfície da quarta camada após a segunda passagem do equipamento de compactação.



FIGURA 5.4 – Início da compactação da primeira camada (primeira passada) - Vala Exp. 1.



FIGURA 5.5 – Segunda passada para compactação da quarta camada - Vala Exp. 1.

### 5.1.2.2 Realização do ensaio de DCP

Após o espalhamento e compactação de cada camada, foram realizados três ensaios com o DCP. Os ensaios com o DCP foram realizados no bordo esquerdo (BE), eixo (EX) e bordo direito (BD), com distâncias de 30 cm dos locais onde foram realizados os ensaios com os frascos de areia e 15 cm de distância dos bordos. A Figura 5.6 ilustra a execução do ensaio de DCP na quarta camada de compactação.



FIGURA 5.6 – Ensaio com o DCP realizado na quarta camada - Vala Experimental 1.

Na quarta camada o ensaio com o DCP foi realizado penetrando a haste do DCP em todas as camadas, permitindo uma análise global de camadas após a compactação individualizada.

O Quadro 5.4 apresenta os resultados dos ensaios com o DCP por camada e o Quadro 5.5 apresenta os resultados dos ensaios com o DCP com todas as camadas.

QUADRO 5.4 – Resultados do DN por camada - Vala Exp. 1

Ensaio com DCP (DN) por camada			
Camada	Bordo esq. (mm/golpe)	Eixo (mm/golpe)	Bordo dir. (mm/golpe)
1	19,1	19,8	16,8
2	14,6	17,4	16,3
3	19,0	20,6	20,5
4 (última camada)	17,9	19,6	20,1

QUADRO 5.5 – Resultados do DN com todas as camadas – Vala Exp. 1

Ensaio com DCP (DN) com todas as camadas			
Camada	Bordo esq. (mm/golpe)	Eixo (mm/golpe)	Bordo dir. (mm/golpe)
1	10,7	10,8	13,2
2	9,4	10,0	11,5
3	13,4	15,9	15,9
4 (última camada)	17,9	19,6	20,1

### 5.1.2.3 Determinação da massa específica aparente “in situ”

Em cada camada foram realizados dois ensaios de frasco de areia para a determinação da massa específica aparente seca “in situ”. A umidade de compactação foi controlada através do Speedy e de coleta em cápsulas para checagem através de secagem do material em estufa. A Figura 5.7 ilustra a execução do ensaio de frasco de areia na quarta camada.

O Quadro 5.6 mostra os resultados e o posicionamento dos ensaios com o frasco em todas as camadas.



FIGURA 5.7 – Ensaio com o frasco de areia da quarta camada - Vala Experimental 1.

QUADRO 5.6 – Resultados dos ensaios com o frasco de areia

Ensaio com o frasco de areia por camada			
Camada	Bordo esq. GC (%)	Eixo GC (%)	Bordo dir. GC (%)
1	-	97,3	98,9
2	96,6	-	95,6
3	-	98,5	97,0
4 (última camada)	97,1	95,1	-

### 5.1.3 Curvas DCP considerando todas as camadas

As Figuras de 5.8 a 5.10 mostram as curvas DCP de todas as camadas para o BE, EX e para o BD e a Figura 5.11 mostra um comparativo entre as três curvas.

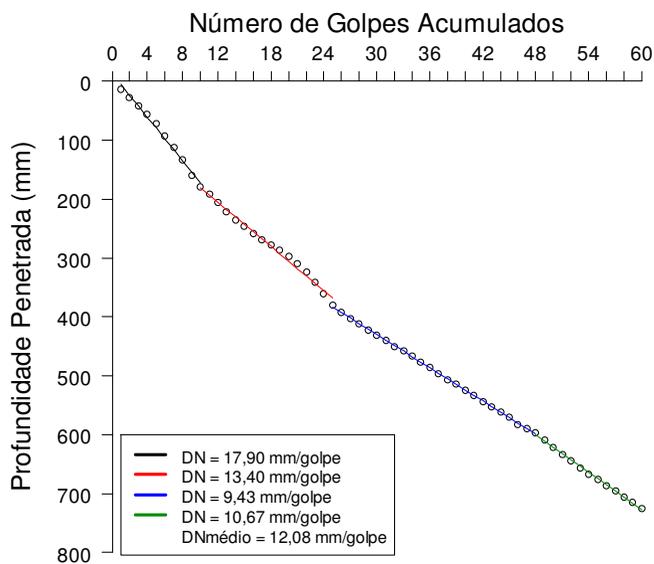


FIGURA 5.8 – Curva DCP com todas as camadas do BE - Vala Experimental 1

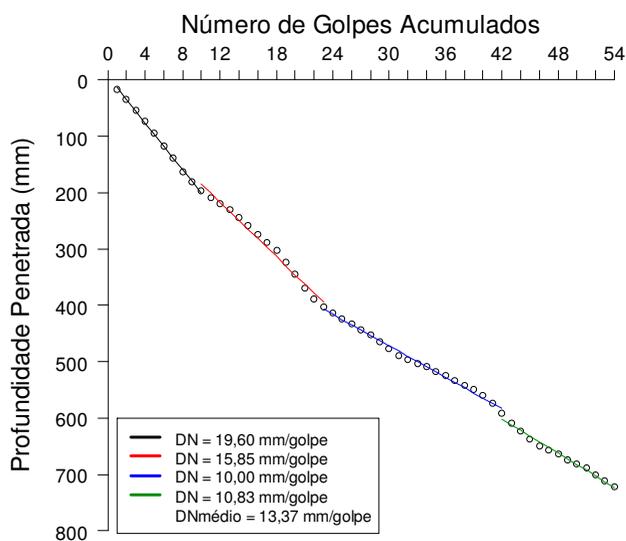


FIGURA 5.9 – Curva DCP com todas as camadas do EX - Vala Experimental 1

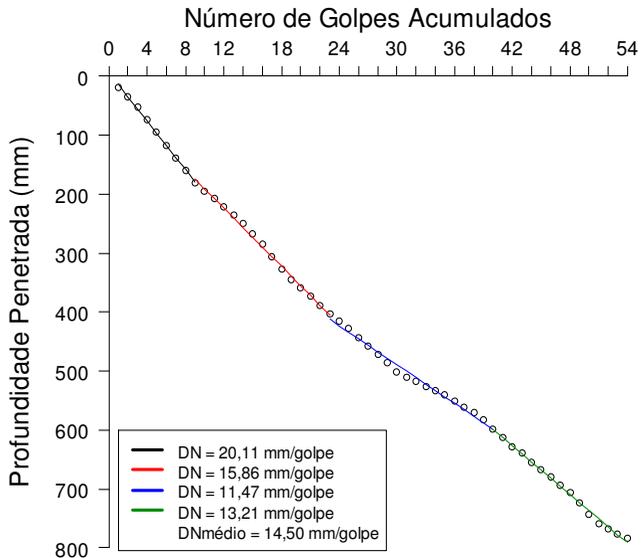


FIGURA 5.10 – Curva DCP com todas as camadas do BD - Vala Experimental 1

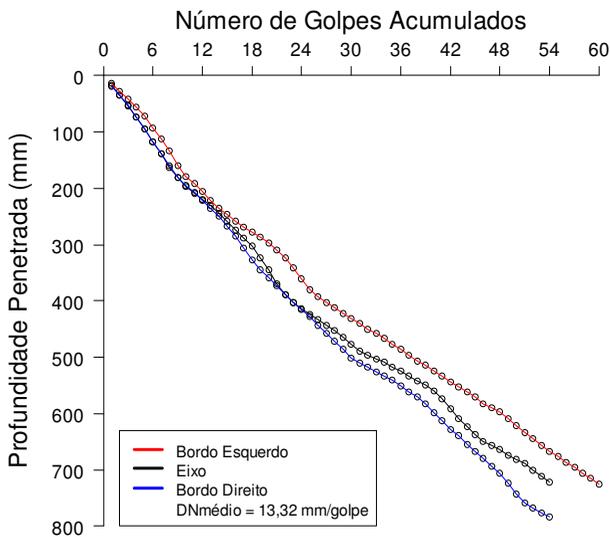


FIGURA 5.11 – Curvas DCP com todas as camadas do BE, EX e BD - Vala Experimental 1.

### 5.1.4 Diagrama estrutural por camada compactada

As Figuras de 5.12 a 5.14 mostram os Diagramas Estruturais por camada da Vala Experimental 1 para o BE, EX e para o BD. A Figura 5.15 mostra um comparativo entre os três perfis estruturais.

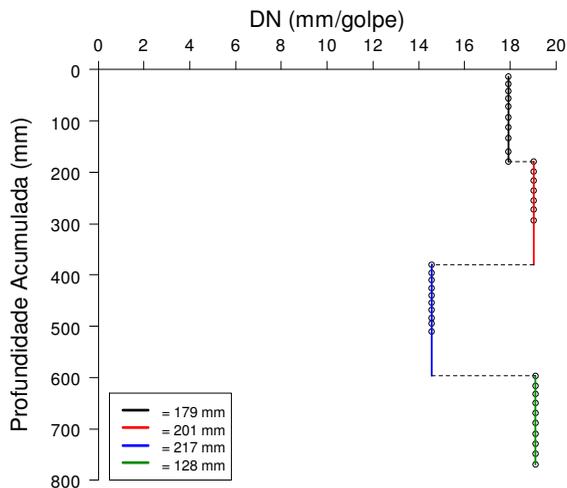


FIGURA 5.12 – Diagrama Estrutural por camada do BE – Vala Experimental 1

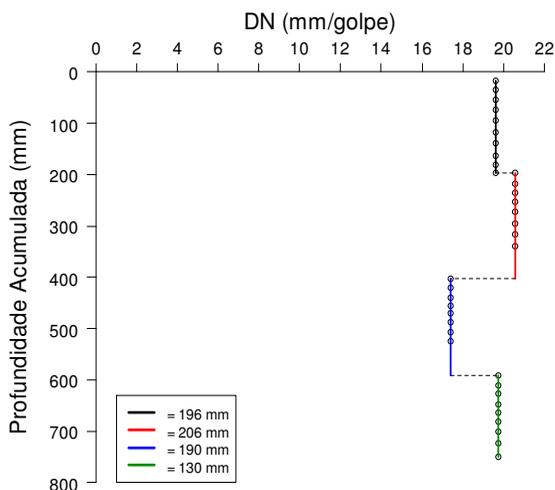


FIGURA 5.13 – Diagrama Estrutural por camada do EX – Vala Experimental 1

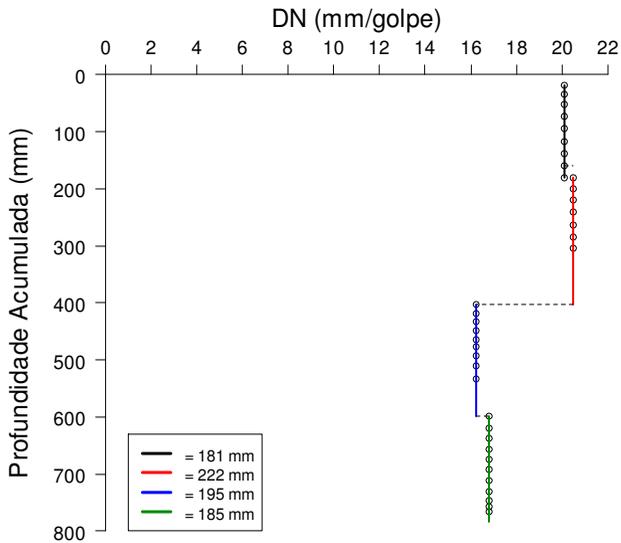


FIGURA 5.14 – Diagrama Estrutural por camada do BD – Vala Experimental 1

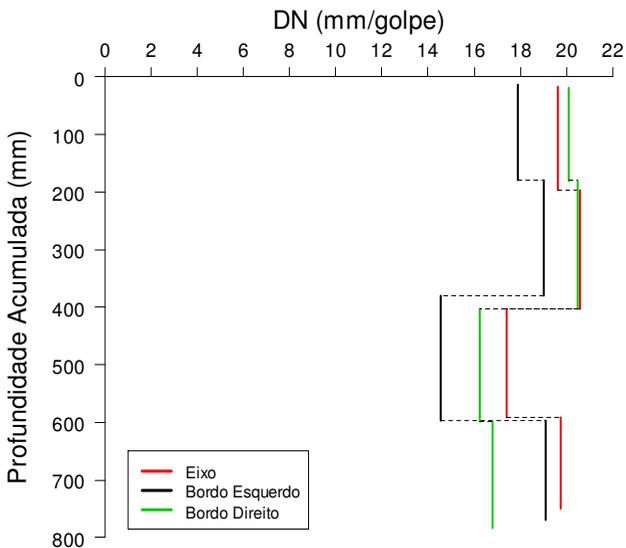


FIGURA 5.15 – Diagrama Estrutural por camada do BE, EX e BD – Vala Experimental 1.

### 5.1.5 Diagrama estrutural considerando todas as camadas compactadas

As Figuras 5.16 a 5.18 mostram os Diagramas Estruturais com todas as camadas compactadas da Vala Experimental 1 para o BE, EX e para o BD. A Figura 5.19 mostra um comparativo entre os três Diagramas Estruturais.

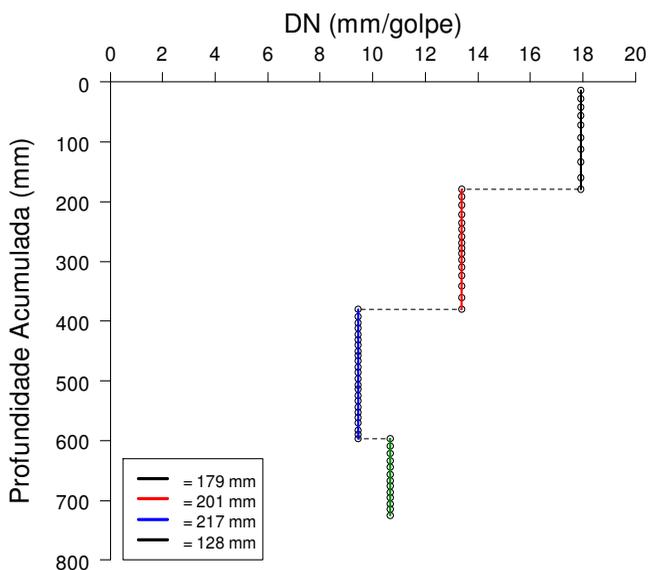


FIGURA 5.16 – Diagrama Estrutural com todas as camadas do BE – Vala Experimental 1.

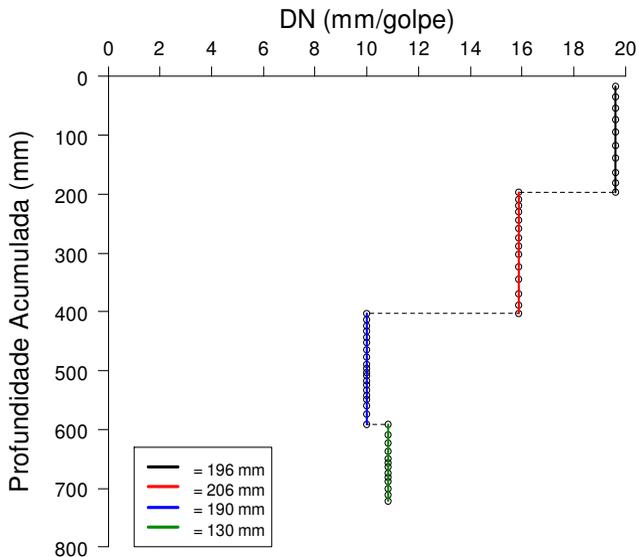


FIGURA 5.17 – Diagrama Estrutural com todas as camadas do EX – Vala Experimental 1.

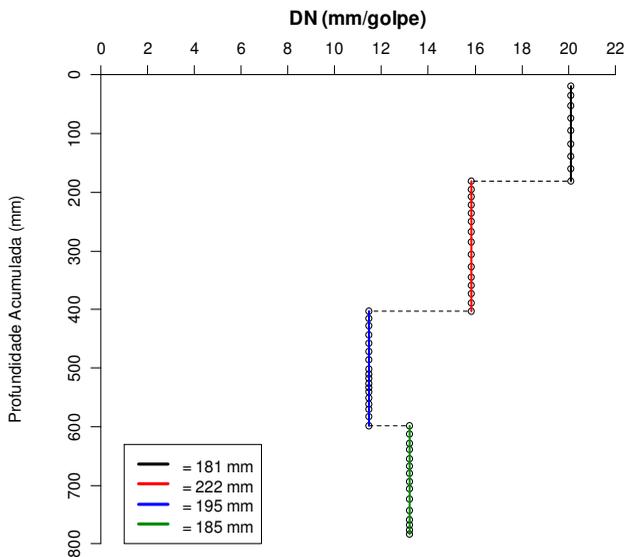


FIGURA 5.18 – Diagrama Estrutural com todas as camadas do BD – Vala Experimental 1.

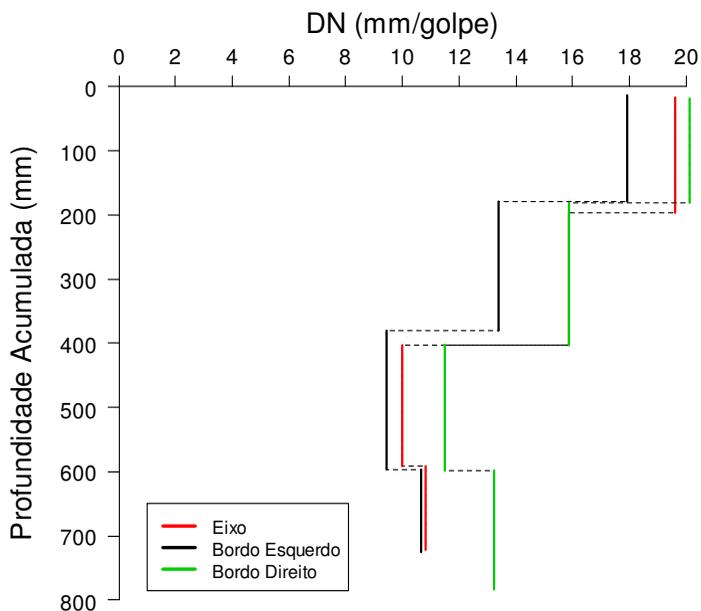


FIGURA 5.19 – Diagrama Estrutural com todas as camadas do BE, EX e BD – Vala Exp. 1.

### 5.1.6 Diagrama estrutural do conjunto por camada e com todas as camadas

As Figuras de 5.20 a 5.22 mostram os Diagramas Estruturais por camada e com todas as camadas da Vala Experimental 1 para o BE, EX e para o BD.

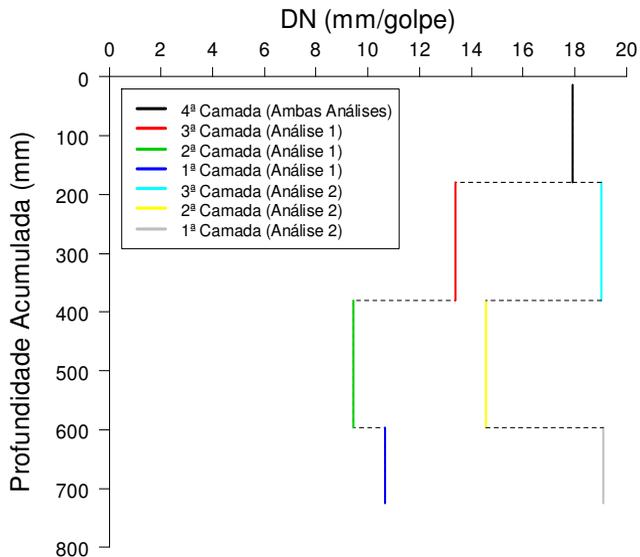


FIGURA 5.20 – Diagrama Estrutural por camada e com todas as camadas do BE – Vala Exp. 1.

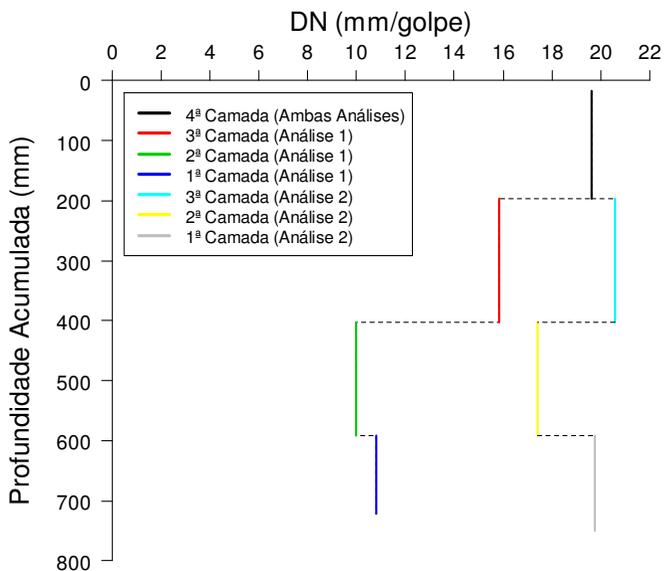


FIGURA 5.21 – Diagrama Estrutural por camada e com todas as camadas do EX – Vala Exp. 1.

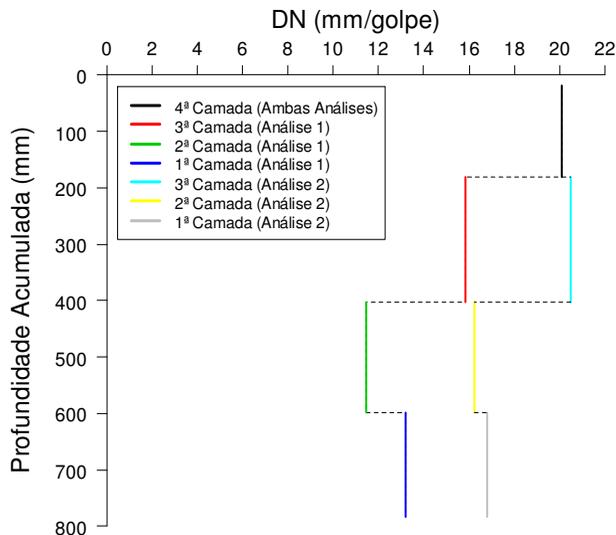


FIGURA 5.22 – Diagrama Estrutural por camada e com todas as camadas do BD – V. Exp. 1.

### 5.1.7 Verificação do grau de compactação através do DN

Para facilitar a verificação do Grau de Compactação “in situ” através do DN da Vala Experimental 1, foi elaborada uma tabela prática mostrada na Tabela 5.1. A elaboração do Tabela 5.1 foi através da equação:

$$GC = 109,0870 - 0,7862 \times DN, \text{ tendo o } R^2 = 0.83.$$

Essa equação foi obtida através de regressão das correlações dos DN (sem imersão) x GC (com imersão).

TABELA 5.1 – Tabela prática de verificação do grau de compactação através do DN

Equação: $GC = 109,0870 - 0,7862 \times DN$	
DN	GC
12,5	99,3
13,0	98,9
13,5	98,5
14,0	98,1
14,5	97,7
15,0	97,3
15,5	96,9
16,0	96,5
16,5	96,1
17,0	95,7
17,5	95,3
18,0	94,9
18,5	94,5
19,0	94,1
19,5	93,8
20,0	93,4
20,5	93,0
21,0	92,6
21,5	92,2
22,0	91,8
22,5	91,4
23,0	91,0
23,5	90,6
24,0	90,2
24,5	89,8
25,0	89,4

### 5.1.8 Análise dos resultados obtidos na vala experimental 1

O Quadro 5.7 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro da Vala Experimental 1.

QUADRO 5.7 – Resultados de laboratório e de campo da Vala Experimental 1.

Resultados de Laboratório					Resultados de Campo com todas as camadas						
CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>ót.</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
22,1	14,8	18,0	16,4	21,6	18,6	12,9	14,1	15,6	14,0	22,7	95,1

CBR<sub>100</sub> - Capacidade de suporte correspondente ao Grau de Compactação de 100%;

DN<sub>100</sub> - Índice de Penetração correspondente ao Grau de Compactação de 100% (mm/golpe);

CBR<sub>95</sub> - Capacidade de suporte correspondente ao Grau de Compactação de 95%;

DN<sub>95</sub> - Índice de Penetração correspondente ao Grau de Compactação de 95% (mm/golpe);

W<sub>ót.</sub> - Umidade Ótima de compactação (%);

DN<sub>CF</sub> - Índice de Penetração medido na camada final do reaterro (mm/golpe);

DN<sub>BE</sub> - Índice de Penetração médio de todas as camadas medido no bordo esquerdo (mm/golpe);

DN<sub>EX</sub> - Índice de Penetração médio de todas as camadas medido no eixo (mm/golpe);

DN<sub>BD</sub> - Índice de Penetração médio de todas as camadas medido no bordo direito (mm/golpe);

DN<sub>M</sub> - Índice de Penetração médio correspondente a todas as camadas do reaterro (mm/golpe);

W<sub>campo</sub> - Umidade de campo medida na penúltima camada do reaterro (%);

GC - Grau de Compactação da última camada do reaterro (%).

Em relação aos resultados obtidos podem-se tecer os seguintes comentários:

- Observando-se a Figura 5.11, nota-se que a partir da penúltima camada compactada houve uma homogeneidade na compactação, considerando todas as camadas tanto do BE, EX e BD. Nas demais camadas houve uma variação mínima desprezível. Isso é comprovado pelos valores do DN<sub>BE</sub>, DN<sub>EX</sub> e DN<sub>BD</sub>, apresentados no Quadro 5.7;

- Nota-se nas Figuras 5.12 a 5.15 que houve uma regularidade nas espessuras das camadas compactadas, bem como camadas mais

compactadas que as outras, inclusive diferença mínima de compactação na mesma camada;

- De acordo com o Quadro 5.7 o valor do  $DN_{CF}$  é maior do que  $DN_{95}$  indicando uma provável deficiência na compactação e que o CBR estimado para esta camada é de 18,0 %, ou seja, bem próximo do  $CBR_{100}$ . Por outro lado o  $DN_M$  é inferior ao  $DN_{95}$  e, portanto, o serviço foi aceito e de acordo com a Figura 5.3 se teria um CBR de 24,0 %;

- Com relação à umidade o Quadro 5.7 apresenta uma  $W_{campo}$  maior, mas bem próxima da  $W_{ót.}$ , portanto aceitável. Em relação ao grau de compactação da última camada de reaterro, o mesmo ficou dentro da especificação da SUDECAP, apesar do valor do  $DN_{CF}$  para esta camada indicasse uma falta de compactação;

- Observando-se no Quadro 5.6 nota-se que nas quatro camadas compactadas, independente de ser no BE, EX ou no BD o grau de compactação aferido pelo ensaio do Frasco de Areia, ficou dentro da especificação da SUDECAP;

- De acordo com os Quadros 5.4 e 5.5 e as Figuras de 5.20 a 5.22 os  $DN_M$  por camada sofreram alteração, através da recompactação das camadas. A variação da redução do  $DN_M$  através da recompactação das camadas é de 38 %, 36 % e 25% para a primeira, segunda e terceira camadas respectivamente. Na quarta camada como já observado anteriormente, poderia ter essa redução através de mais uma passada com o compactador de percussão, podendo ter uma redução do  $DN_M$  de pelo menos 15 %, ficando com o  $DN_M = 16,32$ , portanto abaixo do  $DN_{95}$ , entendendo não ser necessário porque ficou dentro da especificação da SUDECAP, aferido pelo Ensaio com o Frasco de Areia;

- Optou-se em manter somente quatro passadas porque o resultado dos ensaios com o Frasco de Areia conforme Quadro 5.6 demonstrava que o GC já tinha atendido o mínimo, conforme especificação SUDECAP e como os  $DN_M$  por camada, no Quadro 5.4, estavam próximo do  $DN_{95}$  e reforçado pela recompactação das camadas conforme Quadro 5.5;

- A Tabela 5.1 mostra também a facilidade em se obter a correlação dos DN com o GC e mostra que o percentual do GC variou entre as camadas do Quadro 5.4 sem recompactação de 93 % a 97,7 % e com a recompactação do Quadro 5.5 de 96,5 % a 100,0 %.

## 5.2 Vala Experimental 2 - Reciclado de Construção Civil

Para verificação do reaterro de vala com Reciclado de Construção Civil, foi executado uma vala para reparo da rede de esgoto, localizada na rua Platina, esquina com Campos Sales, bairro Calafete / BH. A vala teve todo o seu material escavado e substituído por Reciclado de Construção Civil, devido ao excesso de umidade do material escavado. A Figura 5.23 mostra abertura e escoramento da vala. As dimensões da vala foram 3,80 m x 0,80 m x 1,90m (comprimento, largura e profundidade).



FIGURA 5.23 – Abertura e escoramento da vala - Vala Experimental 2.

### 5.2.1 Caracterização geotécnica e obtenção da correlação CBR x DCP do solo

Para a caracterização geotécnica do Reciclado de Construção Civil foram realizados ensaios de granulometria, limites de liquidez e

plasticidade e compactação. Posteriormente foram realizados ensaios de CBR com e medida de expansão e ensaio de DCP para obtenção da correlação CBR x DN deste solo. A Figura 5.23 mostra o Reciclado de Construção Civil, antes de ser colocado na vala. O Quadro 5.8 apresenta os resultados de granulometria e o Quadro 5.9 os demais resultados dos ensaios de caracterização geotécnica.



FIGURA 5.23: Reciclado de construção Civil antes de ser colocado na vala - Vala Exp. 2.

QUADRO 5.8 – Resultado do ensaio granulometria por peneiramento - Vala Experimental 2

Peneiras	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	1/4"	Nº 4	Nº 10	Nº 16	Nº 30	Nº 40	Nº 50	Nº 100	Nº 200
Porcentagem	100	97	89	67	53	49	42	37	29	23	19	12	8

QUADRO 5.9 – Características geotécnicas da Vala Experimental 2.

Descrição do solo		Pedregulho arenoso
Granulometria	Areia grossa (%)	10
	Areia média (%)	7,2
	Areia fina (%)	23,8
	Silte (%)	6
	Argila (%)	5
Limite liquidez - LL (%)		NP
Limite plasticidade - LP (%)		NP
Índice de plasticidade - IP (%)		NP
Índice de grupo - IG		0
Classificação HRB		A-1-A
Classificação SUCS		GW

O Quadro 5.10 apresenta os resultados dos ensaios de CBR e DCP e as Figura 5.24 e 5.25 mostram a curva de compactação e CBR e a correlação entre CBR e DCP, respectivamente.

QUADRO 5.10 – Resumo dos ensaios de CBR e DCP - Vala experimental 2.

Tipo	Corpo de Prova	Umidade (%)	MEAS (kg/m <sup>3</sup> )	DN (mm/golpe)	GC (%)
Sem imersão	10	13,1	1.585	10,4	93,8
	15	14,2	1.640	8,7	97,0
	2	15,3	1.690	7,5	100,0
	12	16,4	1.650	8,7	97,6
	18	17,5	1.600	12,7	94,7
				CBR (%)	
Com imersão	13	13,1	1.545	36,4	92,8
	16	14,2	1.600	54,1	96,1
	1	15,3	1.665	73,9	100,0
	20	16,4	1.632	64,5	98,0
	19	17,5	1.599	51,2	96,0
MEAS (kg/m <sup>3</sup> ) = 1.665		Wót. (%) = 15,3	Expansão (%) = 0		CBR (%) = 74,0

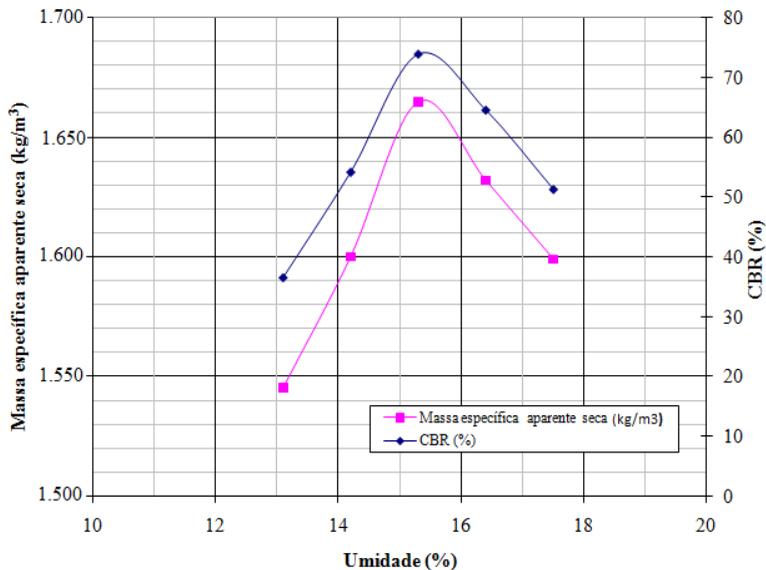


FIGURA 5.24 – Curva de compactação e de variação do CBR – Vala Exp. 2.

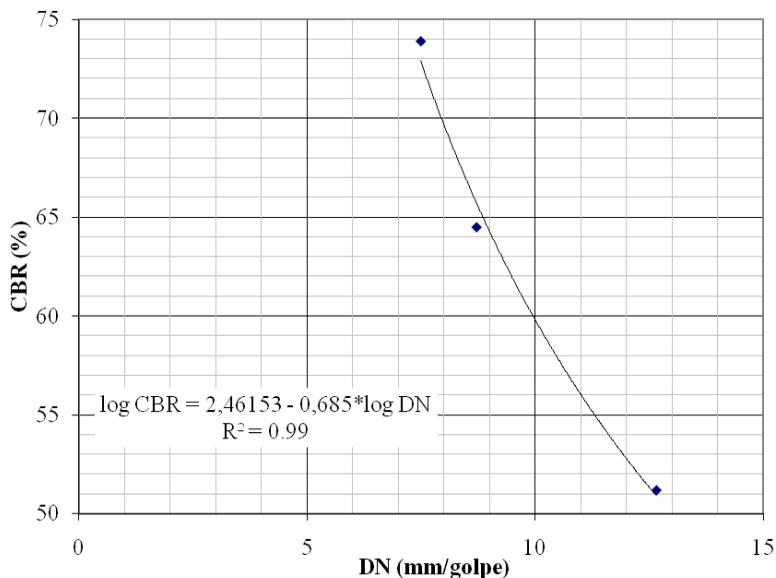


FIGURA 5.25 – Correlação CBR x DN para a vala experimental 2.

De acordo com os resultados obtidos para este solo, os parâmetros de controle de compactação seriam os seguintes:

- Para GC de 100 %    CBR = 74 %    e    DN = 7,5 mm/golpe;
- Para GC de 95 %    CBR = 51 %    e    DN = 12,5 mm/golpe.

### 5.2.2 Procedimento adotado para do reaterro da vala experimental 2

O procedimento adotado para o reaterro da vala foi o mesmo adotado para as oito valas iniciais, ou seja, não houve qualquer interferência de minha parte. O objetivo foi fazer uma comparação com as demais valas que foram reaterradas com o mesmo material escavado. As Figuras de 5.26 a 5.28 mostram a execução do reaterro e o posicionamento onde foram realizados os ensaios de DCP e Frasco de Areia.

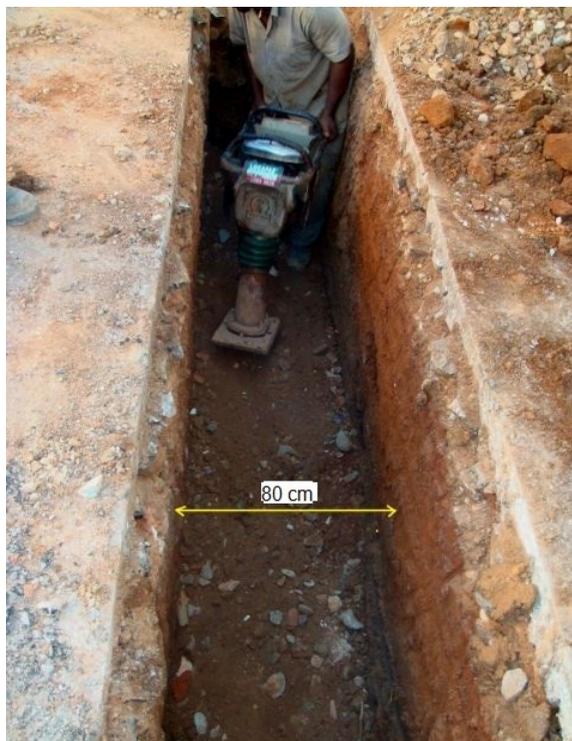


FIGURA 5.26 – Compactação da segunda camada com Reciclado de Cont. civil - Vala Exp. 2.



FIGURA 5.27 – Ensaio com o frasco de areia na última camada - Vala Exp. 2.



FIGURA 5.28 – Segundo ensaio com o DCP, com distância de 1m do primeiro furo e afastamento de 15 cm do bordo - Vala Exp. 2.

### 5.2.3 Curvas DCP

Na vala Experimental 2 as de Figuras 5.29 a 5.31 mostram as curvas DCP para o BE, EX e para o BD e a Figura 5.32 mostra um comparativo entre as três curvas.

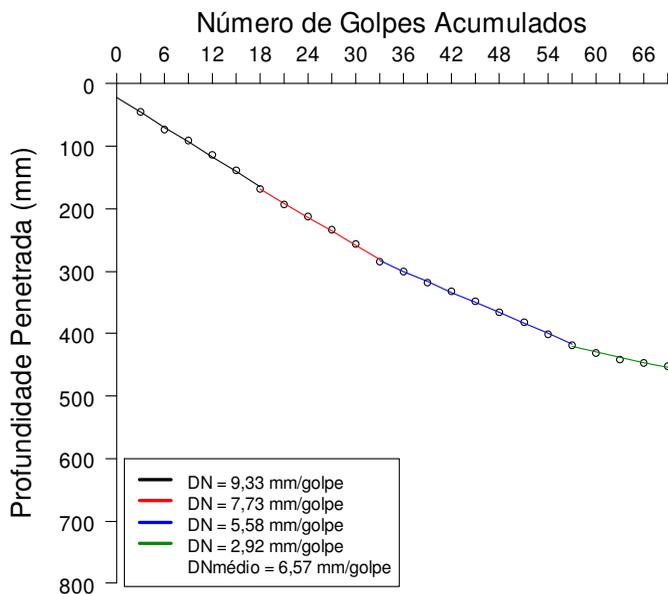


FIGURA 5.29 – Curva DCP do BE - Vala Exp. 2.

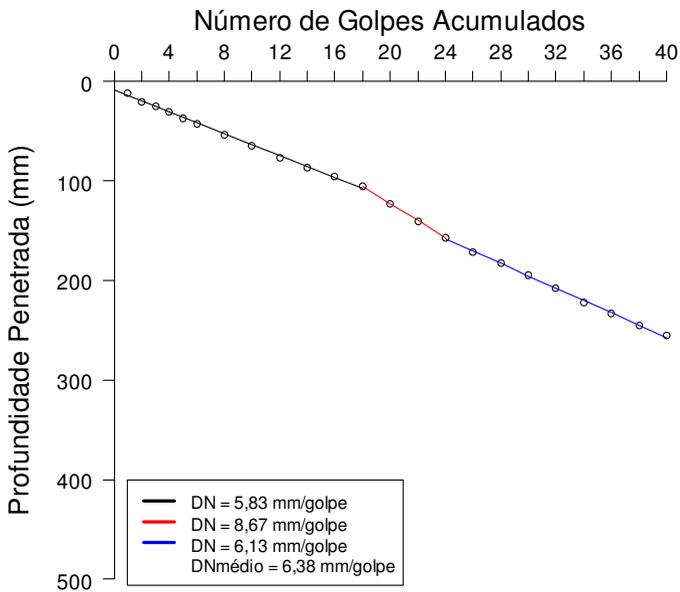


FIGURA 5.30 – Curva DCP do EX - Vala Exp. 2.

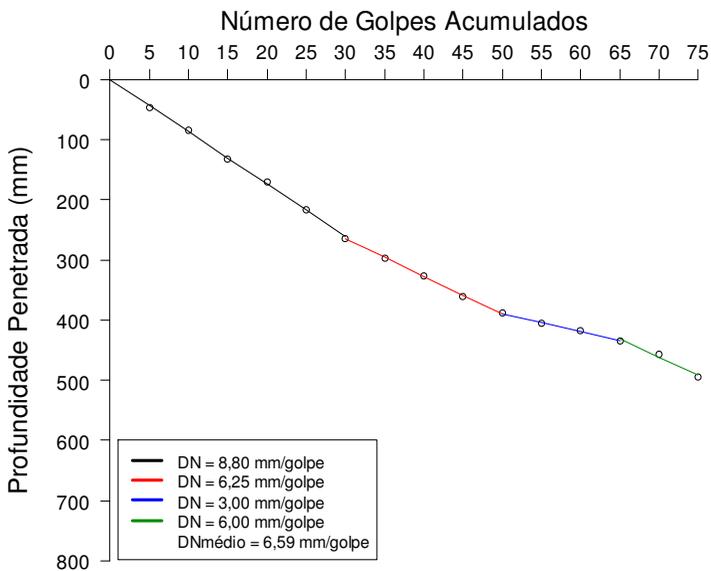


FIGURA 5.31 – Curva DCP do BD - Vala Exp. 2.

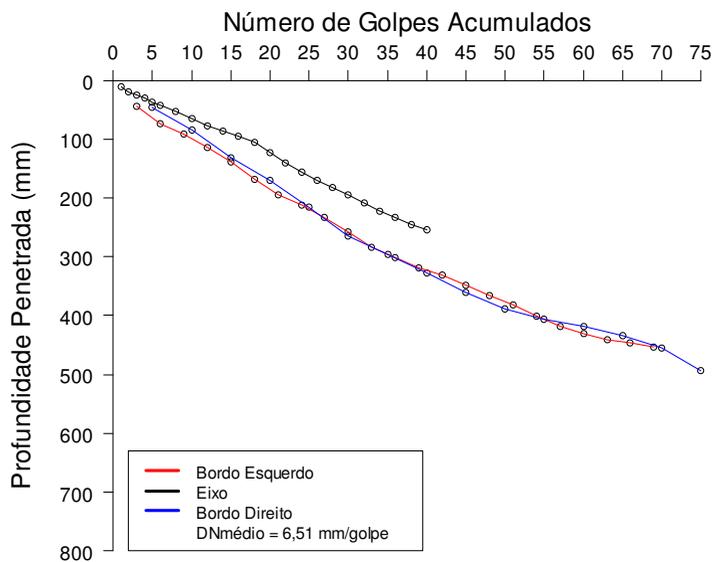


FIGURA 5.32 – Curva DCP do BE, EX e do BD - Vala Exp. 2.

## 5.2.4 Diagrama estrutural

As Figuras de 5.33 a 5.35 mostram os Diagramas Estruturais para o BE, EX e para o BD da Vala Experimental 2.

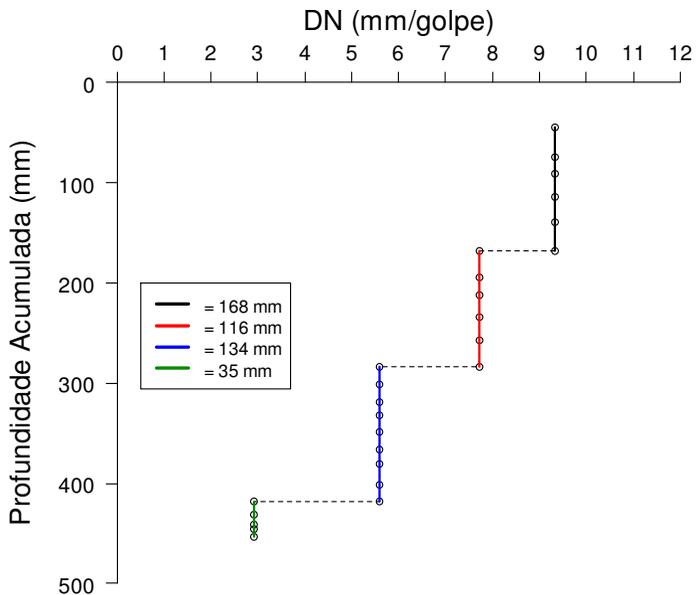


FIGURA 5.33 – Diagrama Estrutural do BE - Vala Exp. 2.

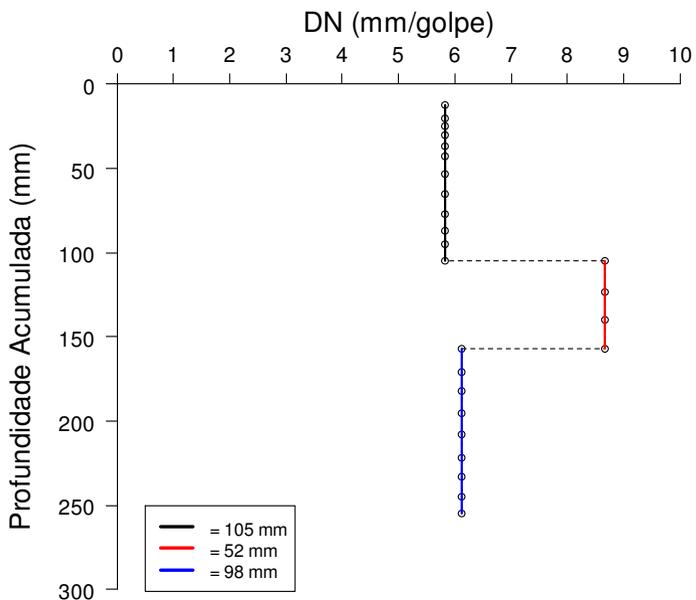


FIGURA 5.34 – Diagrama Estrutural do EX - Vala Exp. 2.

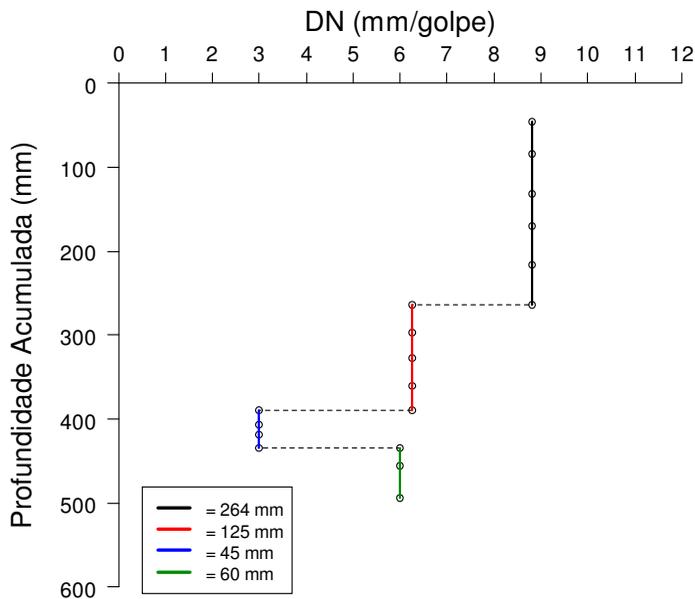


FIGURA 5.35 – Diagrama Estrutural do BD - Vala Exp. 2.

### 5.2.5 Análise dos resultados obtidos na vala experimental 2

O Quadro 5.11 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro da Vala Experimental 2.

QUADRO 5.11 – Resultados de laboratório e de campo da Vala Experimental 2

Resultados de Laboratório					Resultados de Campo							
CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>6t</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC	
74,0	7,5	51,0	12,5	15,3	8,1	6,7	6,4	6,6	6,5	13,7	96,8	

O Quadro 5.12 apresenta os resultados obtidos em laboratório e no campo durante o reaterro das oito valas e da Vala Experimental 2.

QUADRO 5.12 – Resultados de laboratório e de campo das oito valas e da Vala Exp. 2

Vala	Resultados de Laboratório					Resultados de Campo						
	CBR <sub>100</sub>	DN <sub>100</sub>	CBR <sub>95</sub>	DN <sub>95</sub>	W <sub>ót.</sub>	DN <sub>CF</sub>	DN <sub>BE</sub>	DN <sub>EX</sub>	DN <sub>BD</sub>	DN <sub>M</sub>	W <sub>campo</sub>	GC
1	14,2	17,3	7,0	30,0	16,0	33,7	27,8	20,3	-	24,1	18,5	92,1
2	10,2	17,1	7,0	36,0	16,7	53,6	52,2	25,0	61,9	46,4	21,9	83,4
3	15,1	12,1	4,0	44,0	13,1	26,5	26,5	46,5	30,4	34,5	15,2	96,5
4	8,4	36,2	4,0	44,0	16,6	14,5	21,9	16,0	17,8	18,6	14,1	95,3
5	7,8	20,3	3,0	32,0	21,1	31,7	31,9	35,0	31,5	32,8	20,3	94,6
6	8,7	18,7	7,0	24,0	20,7	21,2	21,2	14,7	17,1	17,7	19,4	97,8
7	12,9	14,2	4,0	34,0	11,0	35,1	44,3	52,9	26,9	41,4	14,1	93,2
8	8,5	15,9	4,5	46,0	17,5	41,6	31,8	32,0	33,6	32,5	22,7	95,0
V. Exp.2	74,0	7,5	51,0	12,5	15,3	8,1	6,7	6,4	6,6	6,5	13,7	96,8

Em relação aos resultados obtidos podem-se tecer os seguintes comentários:

- Observando-se a Figura 5.32, nota-se que houve uma homogeneidade na compactação tanto do BE e BD quanto no EX. Nas demais camadas houve uma variação mínima desprezível. Isso é comprovado pelos valores do DN<sub>BE</sub>, DN<sub>EX</sub> e DN<sub>BD</sub>, apresentados no Quadro 5.11;
- Nota-se nas Figuras de 5.33 a 5.35 que não houve uma regularidade nas espessuras das camadas compactadas;
- De acordo com o Quadro 5.11 o valor do DN<sub>CF</sub> é menor do que DN<sub>95</sub> indicando uma boa compactação e que o CBR estimado para esta camada é de 51,0 %, ou seja, um bom CBR e próximo do CBR<sub>100</sub>. Por outro lado o DN<sub>M</sub> é inferior ao DN<sub>95</sub> e, portanto, o serviço foi aceito e de acordo com a Figura 5.11 se teria um CBR de 51,0 %;
- Com relação à umidade o Quadro 5.11 apresenta uma W<sub>campo</sub> menor, mas bem próxima da W<sub>ót.</sub>, portanto aceitável. Em relação ao grau de compactação da última camada de reaterro, o mesmo ficou dentro da especificação da SUDECAP, concordando com o valor do DN<sub>CF</sub> para esta camada, indicando uma boa compactação;

- No Quadro 5.12 observa-se que apesar dos procedimentos de execução de reaterro da Vala Experimental 2 ter sido semelhante aos das oito valas apresentadas nesse trabalho, ou seja, sem o controle efetivo de altura de camada compactada, umidade de compactação e do número de passadas do compactador, nota-se um equilíbrio entre o  $DN_{BE}$ ,  $DN_{EX}$  e  $DN_{BD}$  e com o grau de compactação que atende a especificação da SUDECAP.

### 5.2.6 Avaliação da vala experimental 2 dez meses após abertura para o tráfego

As Figuras 5.36 e 5.37 mostram a situação atual da vala Experimental 2 após dez meses de tráfego.

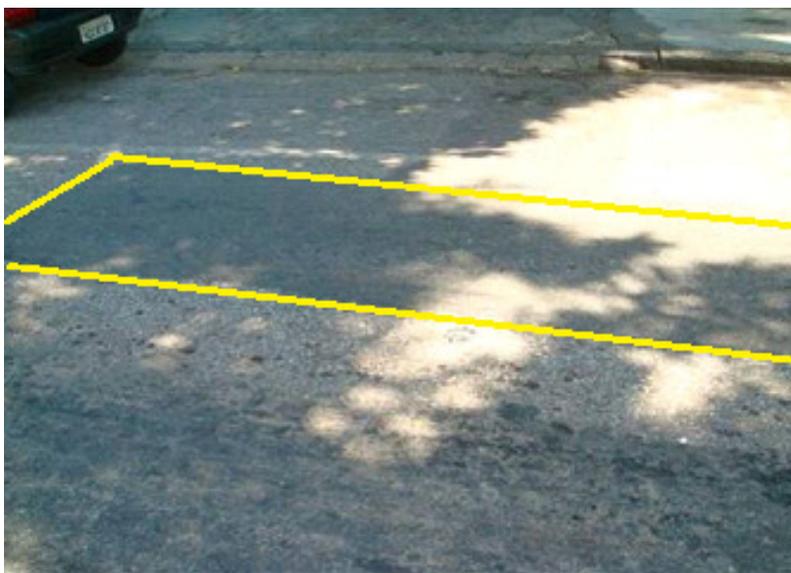


FIGURA 5.36 – Situação atual da vala 6 após dez meses de tráfego.

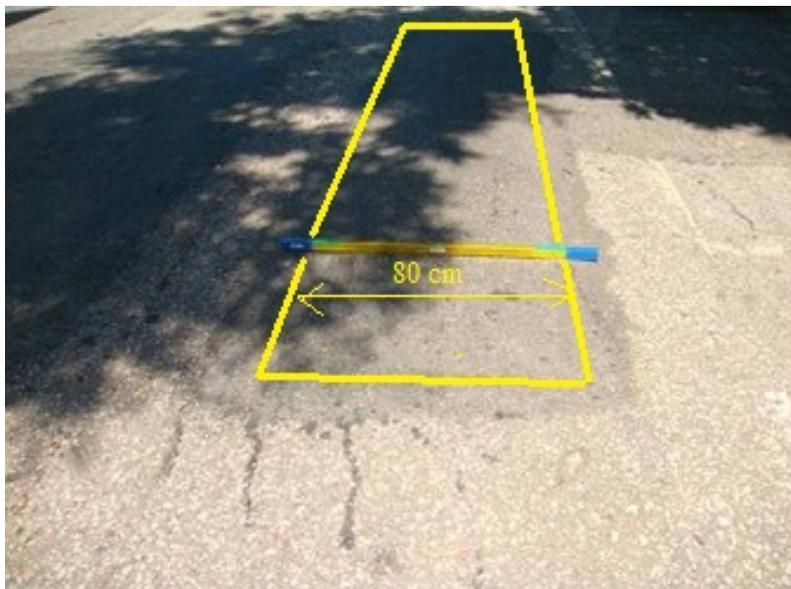


FIGURA 5.37 – Situação atual da vala 6 após dez meses de tráfego (sem abatimento).

Nota-se nas Figuras 5.36 e 5.37 que não houve abatimento ou a existência de trincas devido à boa compactação da vala, conforme já comprovado anteriormente através do  $DN_{CF}$ ,  $DN_M$  e GC e mostrado no Quadro 5.11. A Marginal da Av. Tereza Cristina com Av. Amazonas é uma via com tráfego meio pesado.

### **5.2.7 Análise dos procedimentos empregados entre as oito valas e as valas experimentais.**

Não houve discrepância nos procedimentos utilizados para abertura tanto das oito valas quanto para as valas experimentais. Em todas as valas foram utilizadas uma retroescavadeira com pá carregadeira com largura da caçamba de 80 cm. O material era escavado e colocado na lateral da vala sendo separado o material de base do material de subleito, com exceção do material de base da vala experimental 1, por não existir, devido a mesma ter sido realizada no local destinado ao passeio (calçada). Quando necessário e para valas com altura maiores de 1,5 m as mesmas eram escoradas.

Após os reparos das redes de água ou esgoto era verificado o excesso de umidade e se necessário era colocado reciclado de construção civil que foi o caso da vala 4 onde foi colocado o reciclado até altura de 1,30 do calçamento poliédrico, tipo “pé de moleque” e da vala Experimental 2 que teve todo o material retirado da vala e substituído pelo reciclado.

Para o fechamento ou reaterro tanto das oito valas quanto para as valas experimentais, foram observados critérios e procedimentos diferenciados com algumas discrepâncias. Nos procedimentos de reaterro das oito valas e da vala experimental 2 (reciclado de Construção Civil) o fundo das valas era acertado e colocado material com altura variando de 50 a 80 cm acima da rede reparada, em seguida sendo compactada. As demais camadas eram colocadas com altura variáveis de até 50 sem qualquer controle de altura e de umidade do material. A compactação das camadas executada com um compactador de percussão de 52 kg foi feita sem uniformidade na qualidade da compactação e do número de passadas por camada, variando de 3 a 5 passadas tanto no eixo quanto nos bordos com tempo médio 4 minutos. O controle tecnológico da compactação foi realizado através de três ensaios com o DCP em todas as camadas compactadas com tempo médio de 8 minutos por ensaio e de um ensaio com o Frasco de Areia somente na última camada do subleito com tempo médio de 20 minutos. A umidade de compactação só foi obtida em laboratório após o reaterro das valas.

Na vala experimental 1 os procedimentos de reaterro da vala começou com o acerto e a compactação do fundo de vala. Após a compactação do fundo de vala foram colocadas quatro camadas compactadas, cada camada com altura solta de 30 cm. Cada camada foi compactada de forma regular e homogênea cada uma com quatro passadas com um compactador de percussão com 52 kg e tempo médio de compactação de 12 minutos. O controle tecnológico da compactação foi realizado através de três ensaios com o DCP por camada com tempo médio de 3 minutos por ensaio e com todas as camadas compactadas com tempo médio de 8 minutos por ensaio e através de dois ensaios com o Frasco de Areia por camada com tempo médio de 20 minutos por ensaio. A umidade de compactação foi controlada através do Speedy.

Observa-se que é possível melhorar a compactação de reaterro de valas utilizando-se o compactador de forma correta, ou seja, com 4 passadas regulares por camada com média de 4 minutos por metro quadrado, em camadas soltas no máxima de 30 cm e com umidade próximo da ótima.

Através do DCP foi possível avaliar de forma prática e simples a homogeneidade e regularidade de compactação do eixo e dos bordos das valas reaterradas em função das Curvas do DCP. Conhecendo-se o DN do DCP sem imersão e o GC do CBR com imersão foi possível verificar o Grau de Compactação por camada com o ensaio com o DCP através do índice de penetração do DCP na camada, com tempo médio de 3 minutos enquanto que o ensaio realizado com o Frasco de Areia durou 20 minutos por camada.

## **CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA PARA EXECUÇÃO DE VALAS**

A metodologia proposta tem por objetivo estabelecer os procedimentos necessários a serem adotados na execução e fiscalização dos serviços de abertura e fechamento de valas de vias urbanas pavimentadas. Ela foi estabelecida com base nos resultados obtidos com as valas e os materiais de utilizados na pesquisa.

### **6.1 Abertura e Fechamento de Valas**

#### **6.1.1 Condições gerais**

Como premissa inicial, tanto quanto possível, a abertura de uma vala para a instalação de serviços concessionados deve ser locada fora da trilha de roda dos veículos pesados. A locação da vala é facilitada a partir da observação da demarcação deixada na superfície do revestimento pelos ônibus e caminhões que trafegam na via.

A execução dos serviços cobertos por esta proposição de metodologia deverá atender às exigências da ABNT – Associação Brasileira de normas Técnicas.

A execução de todos os serviços de abertura e fechamento de valas deve ser regida, protegida e sinalizada contra riscos de acidentes, segundo as prescrições contidas nas Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. Tanto quanto possível, deve-se evitar a interrupção do tráfego. Caso seja inevitável, fazê-lo com a sinalização adequada e de acordo com a legislação vigente.

Além das recomendações dessa pesquisa, a execução dos serviços de abertura e fechamento de valas deverá atender as normas e especificações técnicas das respectivas Prefeituras Municipais.

#### **6.1.2 Abertura da vala**

Na área de abertura da vala, demarcam-se duas linhas equidistantes e paralelas ao eixo da vala, cuja distância corresponde a largura da vala.

Cortar o pavimento com serra Clipper (Figura 6.1), e escavar com retroescavadeira em forma de caixão (talude vertical). Na remoção do pavimento, manter o corte uniforme, evitando assim danos no pavimento além da largura da vala.

Caso seja prevista a reutilização de materiais, os materiais granulares da base (e sub-base se houver) devem ser separados do material do subleito (solo) e acondicionados, sempre que possível, de um só lado da vala, afastado 1,0 m do bordo da vala. O material de subleito deve ser acondicionado no outro lado da vala. Quando necessário o material a ser reutilizado no reaterro da vala deverá ser coberto com uma lona para manter a umidade de compactação (próximo da ótima).

Quando não houver o reaproveitamento dos materiais, os mesmos deverão ser removidos e substituídos por reciclado de construção civil, parcial ou total para a camada final de terraplenagem, e por materiais equivalentes aos da estrutura do pavimento existente nas demais camadas.

Os taludes das escavações com profundidade superior a 1,50 m, quando realizados na vertical, devem ser escorados com peças de madeira ou perfis metálicos, assegurando estabilidade de acordo com a natureza do solo. A não utilização de escoramento não isenta a obrigatoriedade do uso de proteções mínimas.



FIGURA 6.1 – Serra Clipper.

### 6.1.3 Fechamento de vala

O acerto do fundo de vala deverá ser regularizado, compactado e nivelado nas cotas indicadas da rede. Qualquer excesso de escavação ou depressão no fundo da vala deve ser preenchido com material granular fino, preferencialmente com reciclado de construção civil, e compactado. Caso o fundo de vala apresente acúmulo de água, que dificulte o assentamento de tubos, esta deve ser esgotada e, em seguida, deve ser executado um lastro de brita com no mínimo 10 cm de espessura.

As valas só poderão ser reaterradas depois que o assentamento da tubulação for aprovado pela fiscalização. O recobrimento deverá ser feito simultaneamente de ambos os lados do tubo, evitando-se o deslocamento do mesmo e danos nas juntas. O material a ser utilizado no reaterro, até 40 cm acima da geratriz superior do tubo, não deverá conter pedras, detritos vegetais e ser de textura homogênea. Quando o material escavado for inconveniente ao reaterro, a critério da fiscalização, deverá ser substituído por material de boa qualidade. Conforme o item 5.2, a utilização de Reciclado de Construção Civil em substituição ao material retirado da vala apresentou um bom resultado.

Na seqüência do trabalho, o material será lançado e espalhado e regularizado com ferramentas manuais, procurando-se obter uma camada solta de no máximo de 30 cm de espessura para que se possa atingir um grau de compactação entre 95 a 100%. Esta espessura deve ser controlada com o auxílio de um gabarito.

## **6.2 Controle da Umidade do Solo**

No reaterro da vala é necessária a verificação expedita da umidade do solo. Caso não se disponha da curva de compactação do solo, um método empírico e rápido para se estimar o teor de umidade adequado para a compactação das camadas de solo é o conhecido “Teste da Mão”, descrito no Anexo A1.

Durante a pesquisa, uma comparação entre as umidades obtidas através do Speedy e com a secagem em estufa, mostrou que o teste da mão foi considerado satisfatório para fins de estimativa da umidade de compactação do material de reaterro das valas.

## **6.3 Equipamentos de Compactação**

Compactadores manuais de percussão acima de 52 kg, como o ilustrado na Figura 6.12, fornecem uma alta força de impacto (amplitude alta) fazendo deles uma escolha apropriada para compactação de valas devido à redução de espaço, grande mobilidade e facilidade de operação. Compactadores têm sua força a partir de um pequeno motor a gasolina ou diesel que aciona um pistão grande preso a dois jogos de molas. O compactador de percussão tem uma inclinação para frente que lhe permite deslocar-se adiante à medida que a máquina salta. A faixa de frequência dos golpes é de 500 a 750 por minuto.



FIGURA 6.12 – Compactador manual de percussão.

A compactação de camadas através do compactador de percussão tem que ser feita de forma criteriosa e com velocidade de passadas regulares através de pessoas treinadas para obtenção máxima de desempenho do equipamento. No caso específico desta pesquisa, quatro passadas foram suficientes para atingir o grau de compactação de 95%. A reconstituição do corpo do reaterro atingirá a cota da camada de sub-base ou da base do pavimento existente.

#### **6.4 Controle Tecnológico do Reaterro da Vala**

Observado que a umidade do solo está em condições adequadas de compactação (Teste da mão); as camadas devem ser espalhadas ao longo da vala com gabaritos de forma que a espessura da camada fofa não seja superior a 30 cm.

A compactação mecânica feita através do compactador de percussão LT52 – Dynapac, mostrou-se satisfatória. A regularidade de frequência dos golpes e o número de passadas entre quatro a cinco são fundamentais para se atingir um grau de compactação entre 95% a 100% do Proctor Normal. Para a Vala Experimental 1, com extensão de 4,00m e largura de 0,80 m, foi obtido um tempo médio de 12 minutos para a compactação de cada camada.

Após a compactação da camada, realiza-se o ensaio de DCP, tanto nos bordos quanto no eixo da vala. O primeiro golpe é desprezado. Em seguida, anota-se a primeira leitura e aplicam-se de 7 a 10 golpes de forma contínua na camada compactada (penetração de 15 a 20 cm da haste). O resultado da penetração, em milímetro, é dividido pelo número de golpes aplicado, obtendo-se assim a média de penetração ou o DN. Como o DCP é mais indicado para solos finos, em caso de dificuldade de penetração do DCP em solos mais granulares ou pela resistência de penetração do cone em determinados lugares, o mesmo deverá ser retirado, com novas tentativas em locais próximo ao furo anterior.

Para facilitar o controle de compactação em campo, para cada unidade geotécnica ou tipo de solo do município, deve ser feita uma tabela que relaciona o Grau de Compactação com o DN, como mostra o Quadro 6.1, o qual foi estabelecido para o solo da vala experimental 1 (vide capítulo 5, item 5.1.7). De acordo com os dados da Tabela 6.1, toda a vez que o DN obtido em campo for superior a 18 mm/golpe, significa que a camada não atingiu um GC de 95%, devendo-se aumentar, então, o número de passadas do equipamento de compactação.

TABELA 6.1 – Tabela prática de verificação do Grau de Compactação para o solo da Vala Experimental 1.

Equação: $GC = 109,0870 - 0,7862 \times DN$	
DN (mm/golpe)	GC (%)
12,5	99,3
13,0	98,9
13,5	98,5
14,0	98,1
14,5	97,7
15,0	97,3
15,5	96,9
16,0	96,5
16,5	96,1
17,0	95,7
17,5	95,3
18,0	94,9
18,5	94,5
19,0	94,1

Para verificar se uma vala foi compactada de forma homogênea em todas as camadas e com grau de compactação satisfatório, tanto no eixo quanto nos bordo, pode-se realizar o ensaio de DCP em toda a profundidade da vala, limitando-se, todavia, ao alcance da haste (de 80 a 100 cm). Inicialmente, aplica-se e o primeiro golpe e despreza-se, em seguida anota-se a primeira leitura e aplica-se golpes, anotando-se a cada 3 golpes a penetração em milímetros, até a penetração total da haste.

A partir destes resultados, traça-se a Curva DCP, conforme as Figuras de 5.8 a 5.10 (vide item 5.1.3). A inclinação desta representa o Índice de Penetração DN em mm/golpe, o qual é obtido através da razão entre a profundidade e o número de golpes necessários para penetrar até a respectiva profundidade. O DN representa a resistência que o solo apresenta à penetração do cone que é correlacionável com o Grau de Compactação da camada.

As curvas DCP podem assumir os formatos ilustrados na Figura 6.13. A forma das curvas DCP tem a seguinte interpretação:

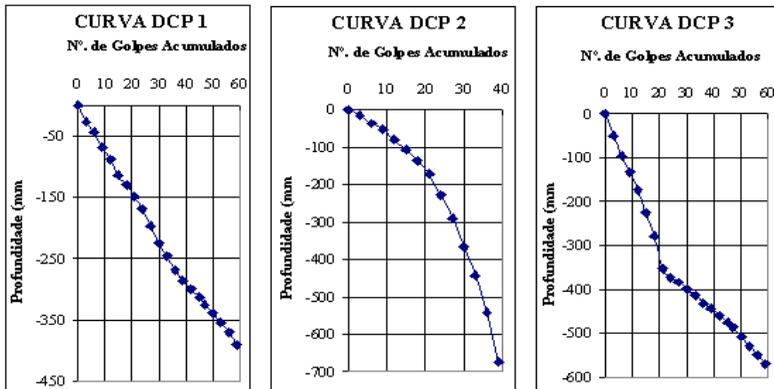


FIGURA 6.13 – Forma das curvas DCP (Trichês e Cardoso, 2001).

- **Curva 1:** É uma curva típica quando se tem uma homogeneidade de compactação em toda a profundidade da vala. Neste caso, se o DN médio de toda a espessura penetrada pela haste for igual ao DN de referência significaria que o material foi compactado de forma homogênea em toda a profundidade e com GC superior a 95%;
- **Curva 2:** Este tipo de curva indica que a parte superior da camada está compactada com um Grau de Compactação maior que a parte

inferior. Teria que se avaliem as consequências de se ter um grau de compactação inferior ao especificado na parte inferior da vala;

- **Curva 3:** Este tipo de curva indica que a parte superior da camada apresenta um Grau de Compactação menor que a parte inferior da camada. Neste caso, estando o grau de compactação da parte inferior da vala atendido, seria necessário um número maior de passadas para se atingir o grau de compactação da parte superior da vala.

### **6.5 Recomposição da Camada de Base**

A recomposição da base será, sempre que possível, de forma idêntica à da base original (espessura e tipo de material), não sendo, entretanto, admitida espessura inferior a 20 cm. A execução deste serviço deverá atender a especificação vigente no município ou no Estado. No mínimo, deverá atender aos seguintes requisitos:

- A base deve ficar nivelada e abaixo do revestimento primitivo o suficiente para permitir o perfeito acabamento quando da recomposição do revestimento em média de 4 a 5 cm;

- Os materiais para recomposição de bases devem apresentar-se livres de pedras, de vegetação e qualquer corpo estranho. As camadas da base devem ser bem compactadas com grau de compactação de, no mínimo, 100% do Proctor Intermediário, e apresentar CBR, superior a 60%.

Logo após a finalização da compactação, a camada de base deverá ser imprimada (com emulsão específica para imprimação) para se evitar a infiltração de água pluvial na vala. A taxa de emulsão a ser aplicada deverá possibilitar a penetração de cerca de 1,0 cm de ligante e formar um recobrimento uniforme sobre a superfície. Previamente, a superfície da camada de base deverá ser limpa e varrida para eliminação de material solto e pulverulento.

### **6.6 Recomposição do Revestimento**

A execução deste serviço deverá atender a especificação vigente no município ou no Estado. No mínimo, deverá atender aos seguintes requisitos:

- Para a recomposição do revestimento deve contemplar a espessura do pavimento original, porém, não ficar aquém da mínima de 4,0 cm

quando acabada;

- Espalhar a massa asfáltica, utilizando o rastelo e preencher todo o espaço formado pelo recorte. A espessura da camada de massa solta deve ficar pelo menos 1,5 cm acima do nível do revestimento existente para compensar a diminuição de volume com a compactação. Caso a espessura do revestimento existente seja maior que 8,0 cm, a recomposição deverá se feita em duas etapas;

- A compactação deve ser efetuada com rolo liso propulsor de pequeno porte. A compactação deve se iniciar das bordas para a parte interna da área a ser recomposta. Para tanto, o rolo compactador deverá permanecer com cerca de 60% da sua geratriz apoiada sobre o revestimento existente;

- O número de passadas do rolo deverá propiciar um grau de compactação de pelo menos 97%. O controle tecnológico para verificação do grau de compactação será feito de forma aleatória, considerando o tamanho e o número de valas executadas, devendo ser feito pelo menos 1 ensaio a cada 10 valas com até 10,0 m de comprimento ou a cada 200,0 m para valas contínuas;

- Caso a reposição do revestimento não seja executada no mesmo dia de abertura da vala, será necessário avaliar as condições da camada de base imprimada. Neste caso, a recomposição do revestimento do pavimento asfáltico deve ser executada somente após a pintura de ligação, inclusive nas bordas laterais e faces verticais dos cortes no revestimento existente.

## **6.7 Considerações Finais**

As valas deverão ser abertas e fechadas no mesmo dia, principalmente nos locais de grande movimento, travessias de ruas e acessos, de modo a garantir condições de segurança ao tráfego de veículos e pedestres. Em casos extremos, quando as valas ficarem abertas por mais de um dia, deverão ser feitos passadiços provisórios nos acessos de veículos e pedestres. Neste caso, toda a extensão da vala deverá ser convenientemente sinalizada e protegida.

Os defeitos surgidos na pavimentação executada sobre o reaterro, causados por compactação inadequada do mesmo, serão de total responsabilidade da empresa concessionada e deverão ser refeitos às suas expensas.

## CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma metodologia para o controle de execução de reaterro de valas decorrentes de reparos em redes de água, esgoto, energia, telefonia, dados e gás de vias urbanas pavimentadas, utilizando o Cone de Penetração Dinâmica – DCP, através de correlações entre os valores obtidos no ensaio com o DCP e o grau de compactação.

No sentido de proceder-se a um teste de eficiência nos procedimentos de execução de reaterro de vala e controle tecnológico do grau de compactação, foi aberta uma vala (Experimental 1) em uma rua interna de acesso a regional oeste da COPASA/BH. Para a compactação do reaterro do material utilizou-se um compactador manual de percussão, Dinapac LT52. Para tanto, à medida que se procedia à compactação, para cada uma das quatro camadas lançadas de 30 cm, era cravado o DCP, com tempo médio por ensaio de camada de três minutos e realizado o ensaio com o frasco de areia, com tempo médio por ensaio de 20 minutos. Os diferentes graus de compactação de cada camada foram obtidos através de quatro passadas com tempo médio de doze minutos por camada do compactador manual de percussão de 52 kg. Após a compactação da última camada (quarta), realizaram-se ensaios com o DCP, com penetração em todas as camadas, podendo-se observar a homogeneidade de compactação e a recompactação das camadas já compactadas. Apesar do  $DN_{CF}$  ter ficado um pouco maior em relação ao  $DN_{95}$  após a colocação e compactação da camada de base, através do processo de recompactação o  $DN_{CF}$  ficaria menor que o  $DN_{95}$ .

Nos procedimentos empregados pelas concessionárias de serviços de rede de água e esgoto de Belo Horizonte, não foi verificada a utilização de qualquer equipamento ou método para o controle tecnológico do grau de compactação, homogeneidade de compactação das camadas, umidade de compactação e altura solta da camada a ser compactada. O emprego do ensaio com o DCP mostrou-se eficaz na avaliação estrutural do pavimento em reaterro de valas abertas por concessionárias de serviços públicos, além de possibilitar o controle do grau de compactação na fase construtiva de reaterro. Desta forma, torna-se recomendável o uso do DCP, para controle tecnológico de reaterro de valas.

O Cone de Penetração Dinâmica é um equipamento que possui várias vantagens, dentre elas: é um ensaio rápido, fácil de manusear e baixo custo; necessita de apenas duas pessoas para realização dos

ensaios e com variação mínima dos resultados; é um ensaio que não afeta a estrutura do pavimento. Acredita-se que o procedimento desenvolvido para o controle execução de valas é de aplicação simples e prática, de baixo custo, contribuindo desta forma para que as Prefeituras Municipais e Empresas Concessionadas possam utilizá-lo adequadamente no controle da uniformidade de compactação de reaterro de valas, aumentando a vida útil de suas vias urbanas pavimentadas, reduzindo o custo de reparos (tapa buracos) e reconstrução de vias pavimentadas.

Os resultados alcançados contribuirão para novos conhecimentos empregados no controle tecnológico de reaterro de valas em vias urbanas pavimentadas. A falta do controle tecnológico aliado aos procedimentos da metodologia de abertura e fechamento de valas tem sido responsáveis pela geração de ônus para as prefeituras municipais em função da crescente recuperação de ruas e avenidas pavimentadas, através de serviços de tapa buracos ou de reconstrução das mesmas. O emprego correto dos procedimentos de reaterro de valas permitiria uma diminuição dos gastos públicos e o desconforto e danos materiais de pedestres e motoristas, além de priorizar a segurança do trânsito.

### **Recomendação para futuras pesquisas**

Como recomendação final, diante dos resultados obtidos nesta pesquisa que tem como objetivo final, a utilização confiável do equipamento DCP para a avaliação da homogeneidade de compactação e do grau de compactação, sugere-se a realização de novas pesquisas visando à complementação e extensão do ciclo de estudos já iniciado. Entre elas destaca-se:

- Realizar estudos para cada tipo de solo ou grupo nas demais regiões de Belo Horizonte e obter novas correlações CBR com imersão x DN sem imersão;

- Realizar estudos para cada tipo de solo ou grupo nas demais regiões de Belo Horizonte e obter novas correlações do DN sem imersão x GC com imersão;

- Realizar estudos comparativos entre a umidade de solos obtido através da curva de compactação e do “teste da mão”;

- Realizar estudos comparativos entre equipamentos de compactação utilizados em reaterro de valas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABITANTE, E.; TRICHÊS, G.; STRIANI, C. S. **Controle de compactação de solos com uso do DCP**. UFSC - Florianópolis. 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-6457. **Amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-6459. **Solo: determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-7180. **Solo: determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-7181. **Solo: análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-7185/84 **Solo: determinação da massa específica aparente, “in situ” com emprego do frasco de areia**. Rio de Janeiro 1986.

ALVES, A.B.C. **Avaliação da capacidade de suporte e controle tecnológico de execução da camada final de terraplenagem utilizando o penetrômetro dinâmico de cone**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

ALVES, A.B.C. e TRICHÊS, G. **Metodologia de controle tecnológico de execução da camada final de terraplenagem utilizando o penetrômetro dinâmico de cone**. In: III SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, Geosul’2002. Joinville/SC. *Anais...* 2002.

AMINI, F. **Potencial applications of dynamic and static cone penetrometers in pavement design and construction.** Final Report. Department of Civil Engineering Jackson State University in Cooperation with Mississippi Department of Transportation and the U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. 2003. Disponível em: <http://www.mdot.state.ms.us/research/pdf/DynConPn.pdf>

ANGELONE, S., TOSTICARELLI, J. e MARTINEZ, F. **El penetrometro dinamico, su aplicacion al control y diseño estructural de pavimentos.** In: 6° CONGRESO IBERO LATINOAMERICANO DEL ASFALTO. T3-13, 1991.

ASTM – American Society for Testing and Materials. D-6951. **Standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications.** ASTM International. 2003. 7p.

AUGUSTO Jr.; Giampaglia; Cunha. **Manual de pavimentação urbana.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 1992.

BALBO, J. T. **Pavimentos asfálticos: patologias e manutenção.** 1ª ed. São Paulo: Plêiade, 1997.

BALBO, José Tadeu. **Especificações técnicas para restauração de pavimentos de vias públicas em valas abertas para instalação de dutos.** Apostila de Treinamento Técnico. COMGÁS – São Paulo, 2003.

BERTI, C. **Avaliação da capacidade de suporte de solos “in situ” em obras viárias através do cone de penetração dinâmica: estudo experimental”.** 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas, 2005.

CARDOSO, A.B. e TRICHÊS, G. **Avaliação da capacidade de suporte e subleito de rodovias utilizando o penetrômetro dinâmico de cone.** In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, COBRAMSEG, Brasília, 1998. *Anais...* vol.1. Brasília, 1998.

CARDOSO, A.B.; TRICHÊS, G. **Proposição de uma metodologia para utilização do penetrômetro dinâmico de cone no controle da execução da camada final de terraplenagem.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 32, 2000, Brasília. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPv, 2000.

CARDOSO, A.B.; TRICHÊS, G. **Utilização do penetrômetro dinâmico de cone no controle tecnológico de camadas finais de aterros rodoviários e na avaliação da sua capacidade de suporte.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 31, 1998, São Paulo. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPv, 1998.

CARDOSO, A.C.; TRICHÊS, G. **Avaliação da capacidade de suporte de aterros e subleito de rodovias utilizando o penetrômetro dinâmico de cone.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, XI, 1998, Brasília. *Anais...* Brasília, 1998.

CARVALHO, R. G. **Correlações entre os ensaios DCP e CBR para solos saprolíticos de textura fina.** 2005. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Bernardo do Campo/ SP, 2005.

CHUA, K.M. **Determination of CBR and elastic modulus of soils using a portable pavement dynamic cone penetrometer.** Proceedings, Ist. Int. Symp. On Penetration Testing. ISOPT 1. Orlando, USA, Oct. 1987. p. 407-413.

COPASA – COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. Norma Técnica T.176/1. **Demolição e Recomposição de Pavimentos, Escavação e Reaterro de Valas** – SINORTE – Belo Horizonte, 2001.

DAL PAI, C. M. **Investigação geotécnica de vias urbanas empregando o método das pastilhas e o penetrômetro dinâmico de cone.** 2005. 253 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

DARONCHO, C.; LOPES, H. N. **Análise dos serviços de recomposição de pavimentos das vias urbanas de São Paulo em decorrência da abertura de valas.** In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, 14, Ribeirão Preto, 2007.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – MÉTODO DE ENSAIO. DNER-ME 213/94. **Solos: determinação do teor de umidade.** Rio de Janeiro. 3p.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – MÉTODO DE ENSAIO. DNER-ME 93/94. **Solos: determinação da densidade real.** Rio de Janeiro. 4p.

DNIT – **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos:** procedimento: Norma DNIT 06/03 – PRO. Rio de Janeiro, 2003.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura dos Transportes. DNER ME 49-94. **Solo: determinação do índice de suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas.** Rio de Janeiro, 1994.

DNIT – Manual de **restauração de pavimentos asfálticos.** 2. ed. – Rio de Janeiro, 2006.

DNIT. **Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos:** procedimento: Norma DNIT 008/03 – PRO. Rio de Janeiro, 2003.

DOMINGUES, F.A. **Manual para identificação de defeitos de revestimentos asfálticos de pavimentos.** Unicamp, 1993. Disponível em

[www.highways.gov.sk.ca/docs/reports\\_manuals/manuals/STP\\_DOC/stp240-20.pdf](http://www.highways.gov.sk.ca/docs/reports_manuals/manuals/STP_DOC/stp240-20.pdf)>.

FERNANDES JUNIOR, J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. (2001). **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos.** Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Transportes.

FONTES, L.P.T. **Contribuição à investigação geotécnica de vias urbanas não pavimentadas através do emprego do penetrômetro dinâmico de cone.** 2001. 185 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

FORTES, M. R.; NETO, A. Z.; MENETTI, N. C.; BARBOSA, A. S.; MERIGLI, C. F. **A importância do controle tecnológico e de qualidade na reabilitação de pavimentos após a intervenção de concessionárias em São Paulo.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 36, 36ª RAPv, Curitiba, 2005. Trabalho 36.ª RAPv-97, Curitiba. 11 p.

GABR, M.A; LAMBE, P.C. **Dynamic cone penetrometer criteria for evaluation of subgrade and aggregate base courses.** NCDOT Research Project, 1999.

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWISKI, J. **Modern pavement management.** Malabar. Florida: Krieger Publishing Company, 1994.

HARISON, J.A. **Correlation of CBR and Dynamic Cone Penetrometer Strength.** In: HASIM, M.S.B. e KASIM, Z.A.B.M. Quick in situ-CBR for road engineering from DCP / in situ relationship developed in Malaysia. 1987.

HYEN, A. **Aplicações do penetrômetro dinâmico de ponta de cone na avaliação estrutural de pavimentos.** In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO, 21, Salvador, 1986. *Anais...* Salvador, 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de Solos 2005.** Disponível em: <[www.ibge.gov.br/solos/wiewr.html](http://www.ibge.gov.br/solos/wiewr.html)>.

INTERNATIONAL DEVELOPMENT – DFID. **Overseas Road Note 18 (ORN 18): a guide to the pavement evaluation and maintenance of bitumen-surfaced roads in tropical and sub-tropical countries.** Appendix F: TRL Dynamic Cone Penetrometer (DCP) Test Procedure, U.K. United Kingdom (Inglaterra), 1999. p. 56-60. Disponível em:<[http://www.lpcb.org/lpcbdownloads/data\\_collection/1999\\_trl\\_orn\\_18.pdf](http://www.lpcb.org/lpcbdownloads/data_collection/1999_trl_orn_18.pdf)>.

KARUNAPREMA, K.A.K; EDIRISINGHE, A.G.H.J. **A laboratory study to establish some useful relationships for the use of dynamic cone penetrometer.** University Peradenya, Sri Lanka. EJGE, 2002. Disponível em: <http://www.ejge.com/2002/Ppr0228/Abs0228.htm>>.

KLEYN, E. G. **The use of the dynamic cone penetrometer (DCP)**. Rep.No. 2/74. Transval Roads Department, South Africa, 1975.

LIMA, L.C. **O ensaio DCP aplicado no controle de qualidade de compactação de obras viárias executadas com solos lateríticos de textura fina**. 2000. (Tese de Mestrado) – ITA –. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2000.

LIVNEH, M. **The use of dynamic cone penetrometer in determining the strength of existing pavements and subgrades**. In: SOUTHEAST ASIAN GEOTECHNICAL CONFERENCE, 9th, Bangkok-Thailand, 7-11, 1987.

LIVNEH, M.; ISHAI, I. **The relationship between in-situ CBR test and various penetration tests**. Penetration Test, ISOPT-1, Balkema, Rotterdam, p. 445-452, 1988.

MASI, A.; ALMEIDA, J. I. S. **Manutenção, conservação e restauração de pavimentos urbanos**. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA, Natal, 1994. *Anais...* 5 ed. Natal: Associação Brasileira de Pavimentação, 1994. p. 309-330.

McELVANEY, J. e DJATNIKA, I.B. **Strength evaluation of lime-stabilised pavement foundations using the dynamic cone penetrometer**. Australian Road Research, 21 (1), March 1991.

MELO FILHO, H.B. de M. **Aplicação do cone de penetração dinâmica (CPD) como alternativa para fundações rasas**. 2007. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. Campina Grande, 2007.

NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995.

OLIVEIRA, L. E.; VERTAMATTI, E. **Utilização do cone de penetração dinâmica (DCP) na avaliação estrutural de pavimentos de baixo volume de tráfego**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 31, 1998, São Paulo. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPv, 1998.

PANTIGOSO, J. F. G.; FERNANDES Jr.; J. L. **Compatibilização da gerência de pavimentos urbanos com as concessionárias de serviços públicos com o uso de SIG**. In: XI CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES – ANPET, 11, Rio de Janeiro, 1997. *Anais...* 1 ed.. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro, 2001.

PMSP – PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Secretaria de Infra-estrutura Urbana. IR – 01/2004. **Instrução de Reparação de pavimentos flexíveis danificados por aberturas de valas**, 2004. Disponível em: [http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/infraestruturaurbana/pavimentacao\\_comunitaria/normas/0001](http://portal.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/infraestruturaurbana/pavimentacao_comunitaria/normas/0001).

PONCE H.; GUZMÁN Z., Luis; GUZMÁN, Z., Elias. **Utilizacion del penetrometro de cono dinamico portatil em la caracterizacion y evaluacion de los suelos em al diseño estructural de pavimentos flexibles de caminos de transito medio y bajo**. In: CONGRESSO IBERO LATINO AMERICANO DEL ASFALTO, 6. T3-14, 1991.

ROHM, S. A.; NOGUEIRA, J. B. **Determinação de mini-CBR através do ensaio de penetração dinâmica**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 21, Rio de Janeiro, 1990. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPV, 1990. p. 61 – 73.

SALMI, C. A.; PEREIRA, A. M.; CONFORTINI, A. C.; GONÇALVES, A. G.; DA SILVA, L. G. **A conservação de pavimentos em vias urbanas de São José dos Campos**. *Anais*. São José dos Campos: Associação Brasileira de Pavimentação, São José dos Campos, 1996.

SANTANA, J.M.; LUCENA, F.B.de; BRASILEIRO, F.E. **Avaliação das características de resistência no subleito através de ensaios “in situ”**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Cuiabá, 1995. *Anais...* Rio de Janeiro: ABPV, 1995.

SASKATCHEWAN HIGHWAYS AND TRANSPORTATION. **Standard test procedures manual: foundation investigation: dynamic cone penetrometer**. Canada, 1992. Disponível em: [http://www.highways.gov.sk.ca/docs/reports\\_manuals/STP\\_DOC/stp24\\_0\\_20.pdf](http://www.highways.gov.sk.ca/docs/reports_manuals/STP_DOC/stp24_0_20.pdf)

SCALA, A. J. **Simple Methods of Flexible Pavement Design Using Cone Penetrometer**. In: AUSTRALIAN – NEW ZEALAND CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, New Zealand, 1956. *Proceedings...*New Zeland, 1956. p 73-84.

SELIG, E.T.; WATERS J.M. **Track geotechnology and substructure management**. First Edition. London: Tomas Telford Services Ltda. 1994. p. 4.18-4.20.

SILVA Jr, F.A. da. **Cone de penetração dinâmica (DCP): uma alternativa ao dimensionamento de pavimentos urbanos**. 2005. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Campina Grande, 2005.

SILVA, Jr. F. A.; RODRIGUES, J. K. G.; JORDÃO, L. P.; FILHO, H. B. M.; GUIMARÃES, L. C. **Aplicação do cone de penetração dinâmica (CPD) no dimensionamento de pavimentação de aeroportos**. In: JORNADA LUSO-BRASILEIRA DE PAVIMENTOS: POLÍTICAS E TECNOLOGIAS, 5, Recife, 2006.

STUCHI, E.T.: **Interferências de obras de serviço de água e esgoto sobre o desempenho de pavimentos urbanos**. 2005. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

SUDECAP – SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL. **Caderno de Encargos**. 3. ed. Belo Horizonte: PBH, 2008.

THOMAS R. **Application of the dynamic cone penetrometer to Minnesota Department of Transportation Pavement Assessment Procedures**, 1997. Disponível em: <http://www.mrr.dot.state.mn.us/research/MnROADProject/MnRoadOnlineReports>

TRICHÊS, G.; CARDOSO, A.B. **Avaliação da capacidade de aterros e subleito de rodovias utilizando o penetrômetro dinâmico de cone e a viga Benkelman**. In: TRANSPORTE EM TRANSFORMAÇÃO, IV. Trabalhos Vencedores do Prêmio CNT – Produção Acadêmica 1999. *Anais...* Makron Books, p. 35-49, 1999.

TRICHÊS, G.; CARDOSO, A.B. **Avaliação da capacidade de suporte de aterros e subleito de rodovias utilizando o penetrômetro dinâmico de cone.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 1, Brasília, 1998. *Anais...* Brasília, 1998. p 649-656.

TRICHÊS, G.; DAL PAI, C. M.; Fontes, L. P. T. da L. **Procedimentos técnicos para o emprego do cone de penetração dinâmica na construção e investigação dos pavimentos urbanos.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 35, Rio de Janeiro, 2004. *Anais...* Artigo 096 35 RAPv 2004, pdf, Rio de Janeiro, 2004.

TRICHÊS, G.; DAL PAI, C. M. **Dimensionamento da espessura total do pavimento a partir de dados obtidos com o penetrômetro dinâmico de cone DCP.** In: V JORNADA LUSO-BRASILEIRA DE PAVIMENTOS: POLÍTICAS E TECNOLOGIAS, Recife, 2006.

TRRL – TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABORATORY. **Information Note. Operating instructions for the TRRL dynamic cone penetrometer.** Crowthorne Berkshire, United Kingdom: Ed Crown Copyright, 1986.

VAN VUUREN, D. J. **Rapid determination of CBR with the dynamic cone penetrometer.** Standards Association of Australia. Rhodesian Engineer Paper, n. 105. 1969. p.852-854.

VERTAMATTI, E.; OLIVEIRA, L.E.de. **Análise de pavimento de baixo volume de tráfego executado com solos transicionais.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTAÇÃO DE RODOVIAS DE BAIXO VOLUME DE TRÁFEGO, 1, Rio de Janeiro, 1997. *Anais...* Rio de Janeiro, 1997. p. 326-344.

YOSHIZANE, H. P. **Defeitos, manutenção e reabilitação de pavimentos asfálticos:** manual de trabalhos preparatórios e terraplanagem. Limeira: UNICAMP, 2001.

ZANCHETA. **Aquisição de dados sobre condições dos pavimentos visando a implementação de sistemas de gerência de pavimentos urbanos.** 2005. 111 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.



## ANEXO A1 - CONTROLE DA UMIDADE DO SOLO

Para a compactação do solo e necessário a verificação e controle da umidade. Não sendo possível obter esse controle através da curva de compactação do solo ou através de outros métodos utilizados para essa finalidade é possível ser utilizado um método empírico e rápido para se estimar o teor de umidade adequado para a compactação das camadas de solo que é conhecido como “Teste da Mão”, descrito a seguir.

Conforme as Figuras A1.1 e A1.2, pega-se um punhado de solo e fecha-se a mão com energia. Ao se abrir a mão (A1.3), se o solo está pouco compacto e menos agregado, é indicativo que ele está com a umidade abaixo da ótima. Nesta condição, soltando-se o solo em queda livre de uma altura de aproximadamente 1,0 metro (A1.4), ocorrerá a desagregação do grumo, como mostra a Figuras A1.5.



FIGURA A1.1 – Solo coletado com a mão



FIGURA A1.2 – Solo sendo apertado firmemente com a mão



FIGURA A1.3 – Formato do grumo de solo após aperto da mão



FIGURA A1.4 – Queda livre do solo apertado pela mão sobre bandeja



FIGURA A1.5 – Solo muito fragmentado após a queda livre

As Figuras A1.6 e A1.7 mostram a forma e consistência do grumo de solo quando a umidade está acima da umidade ótima. Após a queda livre, o grumo não se fragmenta e sofre um abatimento devido ao impacto. A superfície do grumo se apresenta levemente brilhosa, indicando excesso de água na superfície devido à redução de volume do grumo pelo impacto sofrido.



FIGURA A1.6 – Formato do grumo de solo apertado pela mão

As Figuras de A1.8 a A1.10 mostram a consistência do grumo de solo quando a umidade do solo se encontra na região da sua umidade ótima. Após a queda livre se o solo se fragmenta em apenas duas ou três partes, é indicativo que o solo está com umidade próxima a umidade ótima. Nesta condição, a compactação da camada se dará de forma adequada para uma energia do Proctor normal.



FIGURA A1.7 – Grumo de solo sem fragmentação após a queda livre



FIGURA A1.8 – Formato do grumo de solo apertado pela mão. Na condição de umidade próxima a umidade ótima, a palma da mão fica levemente úmida.



FIGURA A1.9 – Grumo de solo fragmentado em duas partes após a queda livre. Indicativo que o solo se encontra com umidade próxima à umidade ótima.



FIGURA A1.10 – Grumo pouco fragmentado após a queda livre. Indicativo que o solo se encontra com umidade próxima à umidade ótima.

## **ANEXO A2 - AVALIAÇÃO DE CUSTOS**

Como complemento das atividades relacionadas aos serviços de reparos em redes de água e esgoto sem o devido controle tecnológico. Apresentam-se os custos de reconstrução do pavimento urbano danificado pelas intervenções constantes na via, deixando-o em condições normais de conforto e segurança aos usuários.

Em Belo Horizonte, os pavimentos urbanos são construídos de camadas de base granular e revestimento asfáltico. De forma geral, as camadas de base são executadas com canga de minério de ferro, com espessura de 20 cm. Essas camadas, geralmente, são construídas sobre o subleito compactado. Os revestimentos são executados em concreto betuminoso usinado a quente, com espessura variando entre 4 cm e 5 cm.

Para fins de avaliação de custos de construção, admitir-se-á uma rua com dimensões semelhantes às do trecho observado, ou seja, 120,00 de extensão por 7,20m de largura. Para os custos unitários adotados nesta análise, foram obtidos através da Planilha de Custos da SUDECAP – Nov./09.

As Figuras de A2.1 a A2.6 mostram as causas das intervenções e reparos sofridos ao longo do tempo na rua Léa Vitor.

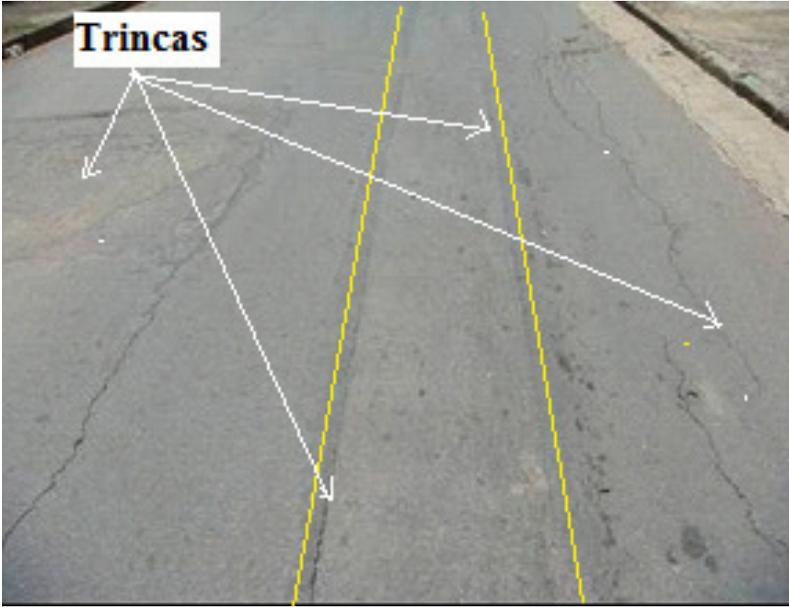


FIGURA A2.1 – Abatimentos e trincas na vala e em seu entorno.

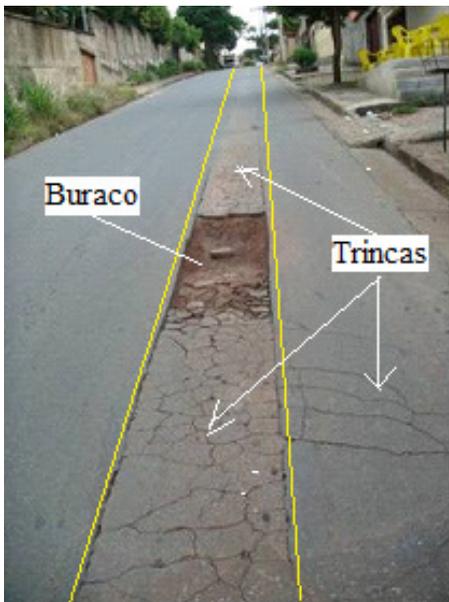


FIGURA A2.2 – Abatimentos, trincas e buracos ao longo da lava.

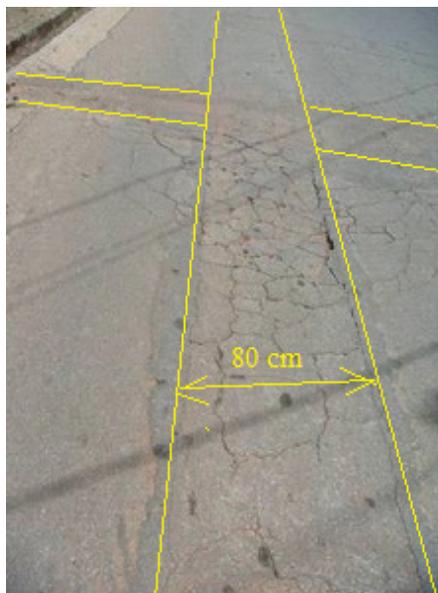


FIGURA A2.3 – Abatimentos, trincas, novas intervenções e restauração da lava.

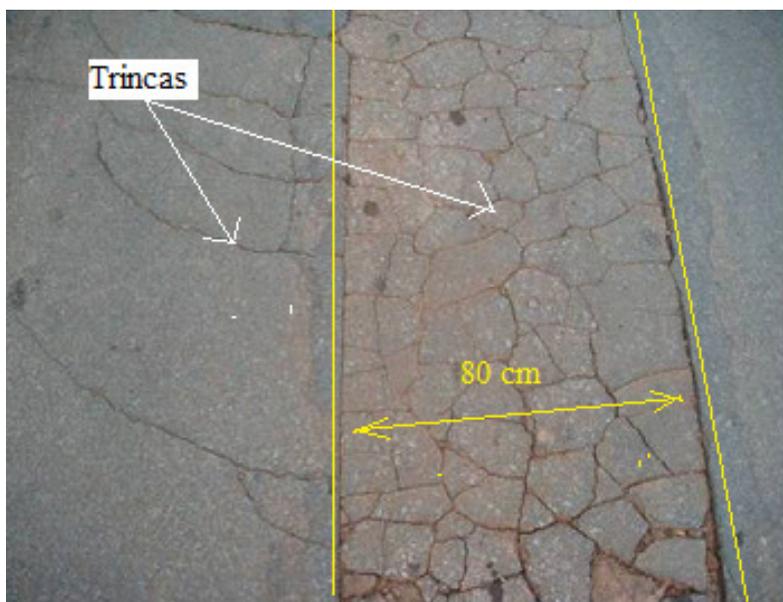


FIGURA A2.4 - Abatimento e trincas na vala e em seu entorno.

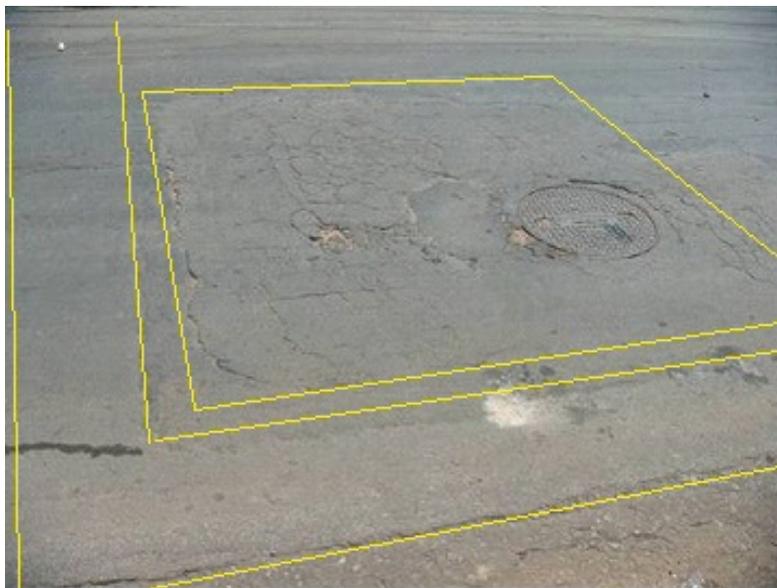


FIGURA A2.5 - Novas intervenções abatimentos e trincas.



FIGURA A2.6 - Novas intervenções, abatimentos e trincas – Rua Léa Vitor esq. c/ Av Tancredo Neves.

A seqüência das etapas de construção consideradas na composição dos custos encontra-se descrita a seguir:

- Demolição do pavimento existente e retirada do material, DMT 15 Km;
- Reparo dos locais com abatimentos, preparo da caixa e compactação do subleito;
- Transporte e confecção da base com canga de minério de ferro – DMT = 10 Km;
- Imprimação;
- Pintura de ligação;
- Colocação do revestimento em CBUQ – Faixa “C” DMT = 10 Km.

O Quadro A2.1 mostra a composição de custos para restauração da Rua Léa Vitor, obtidos através da Planilha de Custos da SUDECAP – Nov./09.

QUADRO A2.1– Composição de custos para restauração da rua Léa Victor

Ítem	Código	Descrição	Quantidade	Unid.	Preço unit. R\$	Valor R\$
01	02.11.07	Demolição de pavimento	864,00	m <sup>2</sup>	6,20	5.356,80
02	02.27.02	Carga mecânica mat. Demolido	172,80	m <sup>3</sup>	1,19	205,63
03	02.28.07	Transporte mat. Demolido	2.592,00	m <sup>3</sup> km	0,69	1.788,48
04	03.05.01	Escavação e preparo do subleito	172,80	m <sup>3</sup>	3,09	533,95
05	20.01.01	Compactação do subleito	864,00	m <sup>2</sup>	1,07	924,48
06	20.06.01	Base com canga de minério de ferro	172,80	m <sup>3</sup>	28,65	4.950,72
07	20.10.02	Transporte da base DMT= 10 km	5.149,44	t km	0,48	2.471,73
08	20.11.01	Imprimação	864,00	m <sup>2</sup>	3,05	2.635,20
09	20.12.01	Pintura de ligação	864,00	m <sup>2</sup>	0,83	717,12
10	20.13.05	C.B.U.Q – Faixa “C” Cap 50/70	81,22	t	138,45	11.244,91
11	20.10.02	Transporte C.B.U.Q – DMT = 10 km	812,20	t km	0,48	389,86
		Sub-total				31.218,88
		BDI – 30%				9.365,66
		Total				40.584,54
		Preço por m <sup>2</sup> = R\$ 46,97				

O Quadro A2.2 mostra os valores unitários praticados em alguns contratos de prestação de serviços para reparos de redes de água e esgoto em Belo Horizonte, através da COPASA, em 2009.

QUADRO A2.2 – Custos de reparos de valas de água e esgoto.

Valores de recomposição para valas até 4,00 m. de comprimento com substituição parcial de materiais		
Altura da vala	Valor Unitário (R\$)	Valor excedente por metro (R\$)
< 1,5 m	540,90	111,80
$\geq 1,5 \text{ m} \leq 3,0 \text{ m}$	730,06	151,39
> 3,0 m	1.084,95	224,64

Nota-se o ônus para os cofres públicos municipais além da falta de conforto e segurança para os usuários. Temos que lembrar que antes de uma restauração de uma rua a mesma já sofreu várias operações do tipo tapa buracos ao longo do ano ou de anos. Considerando 5 operações tapa buracos ao longo de um ano em uma rua nestas condições, calcula-se um gasto com aplicação de C.B.U.Q da ordem de R\$ 1.081,00.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)