

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL**  
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

LEONARDO RAMOS DA SILVEIRA

**REAPROVEITAMENTO DE FINOS DE  
PEDREIRAS EM PAVIMENTAÇÃO: UMA  
ABORDAGEM TÉCNICA E ECONÔMICA**

Goiânia

2010

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

**LEONARDO RAMOS DA SILVEIRA**

**REAPROVEITAMENTO DE FINOS DE PEDREIRAS EM PAVIMENTAÇÃO: UMA  
ABORDAGEM TÉCNICA E ECÔNÔMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – Universidade Federal de Goiás, para obtenção de título de mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Profa. Lílian Ribeiro de Rezende, DSc.

Co – Orientadora: Profa. Marta Pereira da Luz, DSc.

Goiânia  
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
GPT/BC/UFG**

S587r Silveira, Leonardo Ramos.  
Reaproveitamento de finos de pedreiras em pavimentação  
[manuscrito]: uma abordagem técnica e econômica / Leonardo  
Ramos da Silveira. - 2010.  
xv, 179 f. : il., figs, tabs.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lílian Ribeiro de Rezende; Co-  
orientadora: Marta Pereira da Luz.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás,  
Escola de Engenharia Civil, 2010.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.

Apêndices.

1. Resíduos sólidos 2. Aproveitamento de resíduos 3.  
Pavimentos flexíveis 4. Desempenho estrutural I. Título.

CDU: 625.85

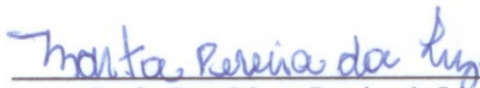
# REAPROVEITAMENTO DE FINOS DE PEDREIRAS EM PAVIMENTAÇÃO: UMA ABORDAGEM TÉCNICA E ECÔNOMICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – Universidade Federal de Goiás, para obtenção de título de mestre em Engenharia do Meio Ambiente, aprovada em 23 de Fevereiro de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:



\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Lillian Ribeiro de Rezende – UFG

Presidente da Banca  
(Coordenador)



\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Marta Pereira da Luz - UCG  
(Co-Orientadora)



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Alexandre Benetti Parreira – USP  
(Examinador Externo)



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Eraldo Henrique de Carvalho – UFG  
(Examinador Interno)

Goiânia  
2010

## **DEDICATÓRIA**

Os nossos sonhos são esforços que buscamos na luta do dia a dia, e que compartilhamos com aqueles que aplaudem as nossas vitórias, e nos ajudam nos momentos de tristezas, por isso, dedico esse trabalho a quatro pessoas muito especiais que acreditam no poder transformador do conhecimento, meus pais Washington e Márcia e minhas irmãs Maristhela e Caroline

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, essa inteligência suprema do universo, que nos dá força a todo o momento, que nos levanta nos instantes de derrota e que me deu discernimento e inteligência para terminar mais essa caminhada, acreditar na sua existência e poder ver a beleza que amanhece em cada dia e em cada instante onde se observa vida.

Aos meus pais (Washington e Márcia), pelo apoio, compreensão, educação necessária e primordial para a formação do meu caráter, da minha honestidade e da minha compreensão enquanto ser vivente, do real papel do homem na terra. Os meus pais que são a minha fortaleza, o meu refúgio e o meu muro de apoio, pois sempre posso contar com eles em todos os momentos.

As minhas irmãs (Maristhela e Caroline), pela confiança e apoio depositados em mim em mais esta conquista pessoal.

À professora Lílian pelo apoio, compreensão e orientações importantíssimas. Romper a inércia foi primordial com a ajuda dessa pessoa brilhante. Hoje posso dizer que sempre tive sorte com as minhas orientadoras, na graduação foi assim, e agora no mestrado, mais uma fase se finaliza com ajuda e orientação de uma pessoa que luta e acredita na pesquisa e no potencial das pessoas. Espero que essa parceria possa continuar no Doutorado através da sua co-orientação. À senhora o meu muitíssimo obrigado.

À minha co-orientadora Marta Luz, pelo apoio e orientações manifestadas. Você foi responsável pelo início de tudo, afinal o interesse pelo estudo em finos de pedreiras surgiu após privilegiar a sua defesa de doutorado. Sem você parte dessa dissertação não poderia ser realizada, uma vez que intercedeu fielmente para a realização dos ensaios de difração de raio X e microscopia eletrônica de varredura junto a Furnas.

Às professoras Rita de Cássia e Márcia Mascarenhas pela oportunidade de poder ministrar as aulas referentes ao meio aquático na graduação de engenharia civil na disciplina de ciências ambientais. Essa fase proporcionou um amadurecimento e rompimento de muitos tabus, e foi primordial para o ganho de confiança e autocontrole emocional.

Ao Professor Reginaldo Santana da escola de agronomia pela ajuda na parte de estimativa de custos .

À FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A, especialmente à geóloga Heloisa Helena e ao técnico Renato Batista pelo apoio na execução dos ensaios de difração de raio X e microscopia eletrônica de varredura.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio na realização desta pesquisa por meio da bolsa de mestrado.

À Agência Municipal de Obras (AMOB) pelo grande apoio na realização do monitoramento no trecho experimental ao fornecer o caminhão e motorista. A engenheira Glauciane do setor de orçamento por fornecer os dados de composição de custos que são utilizados em obras da região metropolitana.

Às Pedreiras Araguaia, Izaira, Britenge e AMOB, pelo fornecimento dos resíduos e dos dados necessários para a realização de parte deste trabalho.

A todos os colegas e especialmente aos professores do PPGEMA pelos ensinamentos passados durante esses dois anos.

Aos colegas Daniela Camplesi, Daniela Silva e Thiago Quintiliano, por sempre me atender quando precisava de locomoção, grande parte de trabalho só foi possível pelas gentilezas prestadas pelos mesmos. A Ayne Lessa pela ajuda na confecção dos mapas de raio econômico. A Bruna pela ajuda primordial com o excel com os trabalhos de campo e de laboratório. A vocês o meu muito obrigado

Aos técnicos João Júnior e Elias pelo acompanhamento e ajuda na realização dos ensaios de campo no trecho experimental.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para realização deste trabalho.



## RESUMO

SILVEIRA, L. R. **Reaproveitamento de finos de pedreiras em pavimentação: uma abordagem técnica e econômica.** 2010. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

Os resíduos gerados pelas empresas mineradoras da construção civil representam uma atividade que tem ganhado destaque pelos inúmeros problemas advindos da estocagem e manutenção de seus depósitos. A grande preocupação em torno desses resíduos está ligada à capacidade de gerar externalidades sócio-ambientais que podem prejudicar o meio através do surgimento de impactos ambientais. Neste contexto, têm surgido pesquisas que visam a aplicação desses resíduos em obras de pavimentação, cujo objetivo principal é diminuir os problemas gerados e contribuir para o surgimento de materiais que possam substituir aqueles que são considerados tradicionais e que estão cada vez mais escassos. O objetivo desta pesquisa foi verificar a viabilidade técnica e econômica da utilização de resíduos de pedreiras em pavimentação, além de complementar as pesquisas realizadas anteriormente com esses resíduos. Para tanto, foram analisadas, em laboratório as mesmas misturas empregadas durante a execução do trecho experimental, sendo denominadas de Mistura 1 (30% fíler + 70% solo), Mistura 2 (20% fíler + 80% solo), Mistura 3 (20% pó de micaxisto + 80% solo) e Mistura 4 (30% pó de micaxisto + 70% solo). Na avaliação complementar, foram realizados ensaios de caracterização química (solo e misturas), difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura. Para avaliação técnica, realizou-se o monitoramento do trecho experimental em dois períodos distintos por meio dos ensaios de prova de carga sobre placa, penetrômetro dinâmico de cone e viga Benkelman. Já na análise de viabilidade econômica, foi utilizada a estimativa de custos gerada para a execução de cada sub-trecho, simulando diferentes cenários. Os resultados da caracterização química demonstraram que ocorre um incremento de parâmetros como pH e capacidade de troca catiônica com a incorporação de finos de pedreira ao solo. Os resultados de difração de raios-X mostraram que não há formação de novos minerais nas misturas. Os resultados de microscopia eletrônica de varredura apontaram que os fatores que mais influenciam na estruturação das misturas são a granulometria de seus constituintes e a energia de compactação aplicada. No acompanhamento do trecho experimental foi possível verificar a influência da chuva no desempenho estrutural do pavimento, o que provocou elevados valores de deslocamentos para o bordo direito. Mesmo assim, os sub-trechos executados com fíler e pó de micaxisto têm apresentado comportamento variando entre regular e bom. Nos resultados de estimativa de custos, observou-se que os sub-trechos executados com resíduos finos de pedreira podem ser considerados os mais econômicos, principalmente quando é considerada a distância mínima de competição. Sendo assim, conclui-se que o reaproveitamento de resíduos finos de pedreira em obras de pavimentação é viável e contribui significativamente na redução das externalidades ambientais geradas pelo setor mineral.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos. Aproveitamento de resíduos. Pavimentos flexíveis. Desempenho estrutural.

## ABSTRACT

SILVEIRA, L. R. **Reusing of fine quarries in paving: a technical and economical approach**. 2010. 179p. Dissertation (Master's degree in Environmental Engineering) - School of Civil Engineering, Federal University of Goiás, Goiania, 2010.

The wastes generated by the quarry companies from civil construction represent an activity that has been outstanding because of the countless problems that appear with their stockpiling and maintenance. The great concern with those wastes is linked to the capacity to generate social and environmental effects that can harm the ambient through the appearance of environmental impacts. In this context, researches have been done to study the application of those wastes in paving works, with the propose to reduce the generated problems and to contribute for the appearance of materials that can substitute those that are considered traditional and that are more and more scarce. The objective of this research was to verify the technical and economical viability of the use of quarry wastes in paving, besides complementing the researches previously done with those wastes. For this research the same mixtures used in the experimental pavement were analyzed at laboratory: Mixture 1 (30% filler + 70% soil), Mixture 2 (20% filler + 80% soil), Mixture 3 (20% micaxist powder + 80% soil) and Mixture 4 (30% micaxist powder + 70% soil). In the complementally evaluation, tests of chemical characterization (soil and mixtures), X-ray diffraction and electronic microscopy of sweeping were done. For technical investigation, the experimental pavement evaluation was done in two different periods using load bearing plate test, dynamic cone penetration and Benkelman beam. The economical viability analysis was done by the costs estimated for the execution of each experimental sub-section, simulating different sceneries. The results of the chemical characterization demonstrated that there is an increment of parameters as pH and cation exchange capacity with the incorporation of fine quarries to the soil. The results of X-ray diffraction showed that new minerals are not formed in the mixtures. The results of microscopy of sweeping pointed that the factors that more influences in the mixtures structures are their grain size materials and the compaction energy applied. In the experimental pavement evaluation it was possible to verify the influence of the rain in the pavement structural performance, what provoked high displacements values for the right board. Even so, the sub-sections executed with filler and micaxist powder have been presenting behavior varying among regular and good. In the costs estimated results, it was observed that the sub-sections executed with fine quarry wastes can be considered the most economical, mainly when the minimum distance of competition is considered. Being like this, one can be noted that the reusing of fine quarry wastes in pavements has viability and it contributes significantly for the reduction of environmental effects generated by the mineral sector.

**Key-words:** Quarry wastes. Waste recovery. Flexible pavements. Structural behavior.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Distribuição percentual das principais substâncias minerais extraídas no Estado de Goiás (DNPM, 2007).....	38
Figura 2.2 - Municípios produtores e comercializadores de brita e suas zonas de influência de comércio (DNPM, 2007).....	39
Figura 2.3 – Frente de Lavra e Bancada para detonação.....	41
Figura 2.4 – Preparação com pás-carregadeiras para carregamento dos blocos.....	42
Figura 2.5 – Britador com os diferentes materiais já beneficiados.....	42
Figura 2.6 – Depósito de (fíler) (LUZ, 2008).....	43
Figura 3.1 – Pavimento de concreto corte longitudinal (BERNUCCI et al., 2006).....	45
Figura 3.2 – Pavimento asfáltico corte transversal (BERNUCCI et al., 2006).....	45
Figura 3.3 – Depósito de fosfogesso estocado em Imbituba – SC (CAJAZEIRAS; CASTILHOS JÚNIOR, 1999).....	50
Figura 3.4 – Trecho experimental: (a) Mapa de localização (ARAÚJO, 2008).....	61
Figura 3.5 – Seção transversal do trecho experimental (ARAÚJO, 2008).....	62
Figura 3.6 – Trecho experimental em planta localizando os sub-trechos e as estacas para ensaio (ARAÚJO, 2008).....	63
Figura 3.7 - Curvas granulométricas das amostras estudadas, com uso de defloculante (ARAÚJO, 2008).....	65
Figura 3.8 - Curvas granulométricas das amostras estudadas, sem uso de defloculante (ARAÚJO, 2008).....	65
Figura 3.9 – Curva granulométrica das misturas, solo e fíler (LUZ, 2008).....	65
Figura 5.1 - Mapa ilustrativo da localização das pedreiras visitadas (GOOGLE EARTH, 2008) .....	76
Figura 5.2 – Coleta de resíduos nas pedreiras.....	77
Figura 5.3 – Jazida de solo.....	77
Figura 5.4 – Coleta do solo fino na jazida.....	78
Figura 5.5 – Materiais: (a) Pó de micaxisto, fíler de micaxisto e solo fino; (b) Misturas utilizados no trecho.....	78
Figura 5.6 – Vista superior do trecho experimental com 600 m de extensão (GOOGLE EARTH).....	82
Figura 5.7 - Disposição dos equipamentos para o ensaio de Prova de Carga Sobre	83

Placa.....	
Figura 5.8 - Trecho experimental com as demarcações das estacas ensaiadas na prova de carga sobre placa e no DCP.....	84
Figura 5.9 – Execução do ensaio: (a) Equipamento (DCP); (b) execução do ensaio.....	85
Figura 5.10 – Trecho experimental com as demarcações dos ensaios de Viga Benkelman.....	87
Figura 5.11 – Execução do ensaio de Viga Benkelman: (a) posicionamento do caminhão; (b) anotação das leituras.....	86
Figura 6.1 – Jazida da rocha explorada: (a) Frente e lavra e bancada; (b) blocos fragmentados após detonação.....	92
Figura 6.2 – Dispositivo <i>drop all</i> fragmentando os blocos maiores.....	93
Figura 6.3 - Vista do Britador em funcionamento.....	93
Figura 6.4 – Materiais depositados nos pátios das empresas.....	94
Figura 6.5 – Difratoograma da mistura composta por 30%filer+70%solo (mistura 1) - Análise Integral.....	98
Figura 6.6 - Difratoograma da mistura composta por 30%filer+70%solo (mistura 1) - Análise Acumulada.....	99
Figura 6.7 - Difratoograma da mistura composta por 20%filer+80%solo (mistura 2) – Análise Integral.....	99
Figura 6.8 - Difratoograma da mistura composta por 20%filer+80%solo (mistura 2) – Análise Acumulada.....	100
Figura 6.9 - Difratoograma da mistura composta por 20% pó de micaxisto+80%solo (mistura 3) – Análise Integral.....	100
Figura 6.10 - Difratoograma da mistura composta por 20% pó de micaxisto filer+80%solo (mistura 3) – Análise Acumulada.....	101
Figura 6.11 - Difratoograma da mistura composta por 30% pó de micaxisto+70%solo (mistura 4) – Análise Integral.....	101
Figura 6.12 - Difratoograma da mistura composta por 30% pó de micaxisto+70%solo (mistura 4) – Análise Acumulada.....	102
Figura 6.13 – Microscopia mistura 1- aumento de 50X.....	103
Figura 6.14 – Microscopia mistura 1 – aumento 100X.....	104
Figura 6.15 – Microscopia mistura 2 – aumento 50X.....	104

Figura 6.16 – Microscopia mistura 2 – aumento 100X.....	105
Figura 6.17 – Microscopia mistura 3 – aumento 50X.....	106
Figura 6.18 – Microscopia mistura 3 aumento 100X.....	106
Figura 6.19 – Microscopia mistura 4 – aumento 50X.....	107
Figura 6.20 – Microscopia mistura 4 – aumento 100X.....	107
Figura 6.21 – Curva Tensão X Deslocamento (junho 2009) sub-trecho solo+fíler.....	109
Figura 6.22 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro 2009) sub-trecho solo+fíler.....	110
Figura 6.23 – Curva Tensão X Deslocamento (junho 2009) sub-trecho solo+brita 1.	111
Figura 6.24 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro 2009) sub-trecho solo+brita 1.....	111
Figura 6.25 – Curva Tensão X Deslocamento (junho 2009) sub-trecho cascalho laterítico.....	112
Figura 6.26 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro 2009) sub-trecho cascalho laterítico.....	113
Figura 6.27 – Detalhe da panela provocada por maquinário local.....	113
Figura 6.28 – Curva Tensão X Deslocamento (junho de 2009) sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	115
Figura 6.29 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro de 2009) sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	115
Figura 6.30 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+fíler.....	116
Figura 6.31 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+fíler.....	117
Figura 6.32 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+brita 1..	120
Figura 6.33 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+brita 1.....	121
Figura 6.34 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho cascalho laterítico.....	123
Figura 6.35 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho cascalho laterítico.....	124
Figura 6.36 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009).....	126
Figura 6.37 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009).....	126
Figura 6.38 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+pó de	127

micaxisto (junho 2009).....	
Figura 6.39 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009).....	127
Figura 6.40 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho solo+filer.....	133
Figura 6.41 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho solo+filer.....	134
Figura 6.42 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho solo+filer.....	134
Figura 6.43 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub-trecho solo+filer.....	135
Figura 6.44 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho solo+brita 1.....	137
Figura 6.45 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho solo+brita 1.....	137
Figura 6.46 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho solo+brita .....	138
Figura 6.47 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub – trecho solo+brita 1.....	138
Figura 6.48 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho cascalho laterítico.....	141
Figura 6.49 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho cascalho laterítico.....	142
Figura 6.50 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho cascalho laterítico.....	142
Figura 6.51 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub-trecho cascalho laterítico.....	143
Figura 6.52 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	145
Figura 6.53 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	146
Figura 6.54 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	146

Figura 6.55 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	147
Figura 6.56 – Detalhes das trincas no sub-trecho solo+pó de micaxisto.....	145
Figura 6.57 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 valores médios....	150
Figura 6.58 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 valores médios.....	151
Figura 6.59 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 valores médios.....	151
Figura 6.60 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 valores médios.....	152
Figura 6.61 – Distância de competição para os resíduos de pedreiras e cascalho laterítico.....	164
Figura 6.62 – Distância de competição obtida para: fíler x brita 1, fíler x pó de micaxisto e pó de micaxisto x brita 1.....	164
Figura 6.63 – Distância de competição obtida para brita 1 x cascalho laterítico na empresa C.....	165

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição de produção e comercialização, produto mineral e índice de crescimento para a brita no Estado de Goiás (2003-2007).....	40
Tabela 3.1 - Resultados do ensaio de massa específica dos grãos (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008).....	66
Tabela 3.2 - Resultados dos ensaios de limite de consistência (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008).....	66
Tabela 3.3 – Classificação segundo SUCS e TRB das amostras estudadas(LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008).....	66
Tabela 3.4 – Resultados encontrados no ensaio de compactação (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008).....	67
Tabela 3.5 – Resultados encontrados nos ensaios de expansão e CBR(LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008).....	67
Tabela 6.1 – Resultado das análises químicas do solo e das misturas.....	95
Tabela 6.2 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+fíler (junho 2009).....	108
Tabela 6.3 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+fíler (novembro 2009).....	108
Tabela 6.4 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+brita 1 (junho 2009).....	110
Tabela 6.5 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+brita 1 (novembro 2009).....	110
Tabela 6.6 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho cascalho laterítico (junho 2009).....	112
Tabela 6.7 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho cascalho laterítico (novembro 2009).....	112
Tabela 6.8 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009).....	114
Tabela 6.9 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009).....	114
Tabela 6.10 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+fíler	118



(novembro 2009).....	
Tabela 6.11 – Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para o sub-trecho solo+fíler (novembro 2009).....	119
Tabela 6.12 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+brita 1 (novembro 2009).....	122
Tabela 6.13 – Valores de CBR obtidos por correlação de cinco autores para o sub-trecho solo+brita 1 (novembro 2009).....	122
Tabela 6.14 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho cascalho laterítico (novembro 2009).....	125
Tabela 6.15 – Valores de CBR obtidos por correlação de cinco autores para o sub-trecho cascalho laterítico (novembro 2009).....	125
Tabela 6.16 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009).....	129
Tabela 6.17 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009).....	129
Tabela 6.18 – Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009).....	130
Tabela 6.19 – Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009).....	130
Tabela 6.20 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+fíler (junho de 2009).....	131
Tabela 6.21 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+fíler (novembro de 2009).....	131
Tabela 6.22 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+brita 1 (junho de 2009).....	135
Tabela 6.23 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+brita 1 (novembro de 2009).....	136
Tabela 6.24 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho cascalho laterítico (junho de 2009).....	139
Tabela 6.25 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho cascalho laterítico (novembro de 2009).....	140
Tabela 6.26 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho de 2009).....	143

Tabela 6.27 – Resumo dos Resultados dos Ensaios de Viga Benkelman no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro de 2009).....	144
Tabela 6.28 – Valores médios de deslocamento total para os sub-trechos avaliados..	147
Tabela 6.29 – Valores médios de DN para os diferentes sub-trechos.....	148
Tabela 6.30 Valores médios de $D_0$ e Raio de curvatura para os sub-trechos avaliados.....	149
Tabela 6.31 – Valores médios de deslocamentos obtidos nos diferentes sub-trechos.	153
Tabela 6.32 – Valores médios de índice de penetração.....	154
Tabela 6.33 – Valores de $D_0$ e R obtidos por Luz (2008) e nesta pesquisa.....	155
Tabela 6.34 - Serviços de pavimentação no município de Goiânia em 2009 e estimativa da quantidade de fíler e pó a ser utilizado.....	157
Tabela 6.35 – Composição de custos do trecho solo-fíler e solo-pó.....	157
Tabela 6.35 a – Composição de custos, trecho (solo filer e solo pó).....	177
Tabela 6.36 – Composição do trecho solo-brita 1 e cascalho laterítico.....	157
Tabela 6.36 b – Composição de custos, trecho (solo/brita e cascalho laterítico).....	177
Tabela 6.37 – Composição dos custos para o sub-trecho solo +fíler nas três diferentes empresas.....	159
Tabela 6.37 a – Composição de custos Trecho (solo filer) material empresa A, B e C.....	178
Tabela 6.38 – Composição de custos para o sub-trecho solo+pó de micaxisto nas três diferentes empresas.....	159
Tabela 6.38 b - Composição de custos Trecho (solo/pó) material empresas, A, B e C.....	178
Tabela 6.39 – Composição de custos para o sub-trecho cascalho laterítico.....	160
Tabela 6.39 c – Composição de custos Trecho (cascalho laterítico).....	179
Tabela 6.40 – Composição de custos sub-trecho solo+brita 1.....	160
Tabela 6.40 d – Composição de custos Trecho (solo/brita).....	179
Tabela 6.41 – Composição de custos para os sub-trechos quando executada drenagem.....	161
Tabela 6.42 - Determinação da distância de competição Fíler x Brita 1.....	162
Tabela 6.43 - Determinação da distância de competição Fíler x Pó.....	162
Tabela 6.44 - Determinação da distância de competição Pó x Brita 1 .....	163
Tabela 6.45 - Determinação da distância de competição Brita 1 x Cascalho.....	163
Tabela 6.46 - Determinação da distância de competição Pó x Cascalho.....	163
Tabela 6.47 – Determinação da distância de competição Fíler x Cascalho.....	163

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Características dos materiais utilizados no Trecho Experimental.....	62
Quadro 5.1 - Composição geral das atividades para a construção de vias urbanas na cidade de Goiânia (AMOB).....	89
Quadro 5.2 – Adequação da tabela da AMOB para composição das atividades realizadas no trecho experimental.....	90
Quadro 5.3 – Preços, em R\$, dos produtos comercializados nas diferentes empresas.....	90
Quadro 6.1 – Minerais identificados nas misturas.....	98

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
AMOB	Agência Metropolitana de Obras
ANEPAC	Associação Nacional de Entidades Produtoras de Agregados para a Construção Civil
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CBR	Califórnia Bearing Ratio
CEASA	Central de Abastecimento do Estado de Goiás
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DCP	Penetrômetro Dinâmico de Cone
DF	Distrito Federal
DER/SP	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
DERMU	Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Goiânia
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagens
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte
FWD	Falling Weight Deflectometer
ISC	Índice de Suporte Califórnia
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
MB	Macadame Betuminoso
MO	Matéria Orgânica
NDT	Nondestructive deflection testting
PIB	Produto Interno Bruto
PT	Preço Transporte
RCD	Resíduos de Construção de Demolição
RCS	Resistência à Compressão Simples
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SAFL	Solo arenoso fino laterítico
SINDIBRITA	Sindicato das Empresas de Brita e Argila do Estado de Goiás
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TST	Tratamento Superficial Triplo

## LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
Al (%)	Saturação de Alumínio
°C	Graus Celsius
Ca <sup>2+</sup>	Cálcio
cm	Centímetros
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de Cálcio
CaSO <sub>4</sub>	Sulfato de cálcio
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
D <sub>0</sub>	Deflexão real ou verdadeira no ponto de prova
D <sub>25</sub>	Deflexão a vinte e cinco centímetros do ponto de prova
dcm <sup>3</sup>	Decímetro cúbico
d <sub>t</sub>	Deslocamento total
d <sub>e</sub>	Deslocamento elástico
DN	Índice de Penetração
g	Gramas
H	Hidrogênio
H <sub>2</sub> O	Fórmula química da água
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ácido Fosfórico
K	Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
kg	kilograma
km	Kilômetro
kN	Kilo Newton
kPa	Kilo Pascal
K <sub>placa</sub>	Módulo de reação
L <sub>0</sub>	Leitura inicial
L <sub>f</sub>	Leitura Final
l	Litro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
Mg	Magnésio
mg	Miligrama

mm	Milímetro
mEq	Miliequivalente
P <sub>b</sub>	Preço da brita em reais
P <sub>f</sub>	Preço fíler em reais
P <sub>t</sub>	Preço Transporte
pH	Logaritmo negativo da concentração hidrogeniônica
R	Raio de curvatura
R\$	Unidade monetária do real
R\$/m <sup>3</sup> km	Reais por metro cúbicos em quilômetros
t	Tonelada
V(%)	Saturação de Bases
ΔpH	Variação do valores de pH

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
1.1 ASPECTOS GERAIS.....	25
1.2 JUSTIFICATIVA.....	27
1.3. OBJETIVOS .....	29
1.3.1 Objetivos Principais.....	29
1.3.2 Objetivo Específicos.....	30
1.4 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO.....	30
<b>2 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE.....</b>	<b>31</b>
2.1. IMPORTÂNCIA DOS AGREGADOS.....	31
2.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MINERAÇÃO NO BRASIL E OS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE.....	33
2.3 MINERAÇÃO E EXPLORAÇÃO DE BRITA NO ESTADO DE GOIÁS.....	37
<b>3 PAVIMENTAÇÃO: CONCEITOS, MATERIAIS E AVALIAÇÃO “IN SITU” .....</b>	<b>44</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE PAVIMENTAÇÃO.....	44
3.2 MATERIAIS TRADICIONAIS.....	46
3.3 MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS.....	48
3.3.1 Fosfógeno.....	48
3.3.2 Resíduos de construção e demolição.....	52
3.3.3 Resíduos cerâmicos.....	54
3.3.4 Cinzas de carvão mineral.....	54
3.3.5 Escórias de usinas de siderúrgicas.....	55
3.3.6 Resíduos de pedreira.....	55
3.4 MONITORAMENTO PÓS-CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS.....	57
3.4.1 Viga Benkelman.....	58
3.4.2 Prova de Carga Sobre Placa.....	59
3.4.3 <i>Dynamic Cone Penetrometer (DCP)</i> .....	59
3.5 CARACTERÍSTICAS DO TRECHO EXPERIMENTAL ESTUDADO.....	61
3.6 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS ESTUDADOS NO TRECHO EXPERIMENTAL.....	64
<b>4 ECONOMIA E ESTIMATIVA DE CUSTOS.....</b>	<b>68</b>

4.1 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	68
4.2 VIABILIDADE ECONÔMICA E ESTIMATIVA DE CUSTOS NA PAVIMENTAÇÃO.....	71
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>75</b>
5.1 INTRODUÇÃO.....	75
5.2 VISITA TÉCNICA ÀS PEDREIRAS.....	75
5.3 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A CONFECÇÃO DAS CAMADAS DE BASE E SUB-BASE NO TRECHO EXPERIMENTAL.....	76
5.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	79
5.4.1 Análise Química das misturas e do solo.....	79
5.5 PISTA EXPERIMENTAL ESTUDADA.....	82
5.5.1 Ensaio Prova de Carga Sobre Placa.....	83
5.5.2 Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP).....	85
5.5.3 Viga Benkelman.....	86
5.6 ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA A EXECUÇÃO DOS SUB-TRECHOS.....	88
<b>6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>92</b>
6.1 INTRODUÇÃO.....	92
6.2 VISITA TÉCNICA.....	92
6.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	94
6.3.1 Análises Químicas.....	94
6.3.2 Difração de raios-X.....	97
6.3.3 Microscopia eletrônica de varredura.....	102
6.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CAMPO.....	108
6.4.1 Prova de Carga Sobre Placa.....	108
6.4.1.1 Sub-trecho solo+filer.....	108
6.4.1.2 Sub-trecho solo+brita 1.....	110
6.4.1.3 Sub-trecho cascalho laterítico.....	112
6.4.1.4 Sub-Trecho solo+pó de micaxisto.....	114
6.4.2 Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP).....	116
6.4.2.1 Sub-Trecho solo+filer.....	116
6.4.2.2 Sub-Trecho solo+brita 1.....	120
6.4.2.3 Sub-Trecho cascalho laterítico.....	123
6.4.2.4 Sub-Trecho solo+pó de micaxisto.....	126
6.4.3 Viga Benkelman.....	131



6.4.3.1 Sub-Trecho solo+fíler.....	131
6.4.3.2 Sub-Trecho solo+brita 1.....	135
6.4.3.3 Sub - Trecho cascalho laterítico.....	139
6.4.3.4 Sub-Trecho solo+ pó de micaxisto.....	143
6.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS SUB-TRECHOS .....	147
6.6 COMPARAÇÃO COM PESQUISAS REALIZADAS ANTERIORMENTE.....	152
6.7 ESTIMATIVA DE QUANTIDADE DE CUSTOS.....	155
6.7.1 Quantificação do fíler e do pó gerados.....	155
6.7.2 Estimativa de custos para execução do trecho experimental.....	157
6.7.3 Estimativa de custos para a execução do trecho experimental com dispositivos de drenagem.....	161
6.7.4 Distância competitiva entre os materiais utilizados.....	162
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>166</b>
7.1 CONCLUSÕES .....	166
7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	167
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>168</b>
<b>APÊNDICE A – ITENS CONSIDERADOS NAS COMPOSIÇÕES DE CUSTO..</b>	<b>177</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 ASPECTOS GERAIS

O modelo de desenvolvimento adotado ao longo dos anos pela sociedade levou ao comprometimento da qualidade de vida dos sistemas existentes na terra. O que se observa é que cada vez menos os mecanismos de regulação (homeostase) conseguem realizar adequadamente a sua função, e como conseqüência ocorre o surgimento de impactos ambientais. A perda da qualidade de vida, evidenciada após a revolução industrial, compromete severamente o meio ambiente, principalmente pela geração excessiva de poluentes e contaminantes. Neste contexto, surgem os resíduos sólidos como subprodutos das atividades humanas e com capacidade significativa de alteração do meio ambiente.

Pela Segunda Lei da Termodinâmica, o uso de energia implica na degradação de sua qualidade quando passa por diferentes níveis dentro de qualquer sistema. Por outro lado e como conseqüência, ocorre a conservação de massa, onde os resíduos energéticos, somados com os resíduos de matéria, alteram a qualidade do meio ambiente, gerando poluição. A tendência de qualquer sistema natural é o aumento de seu grau de desordem quando não operado de forma adequada. Assim, utilizando os recursos naturais finitos e gerando energia de baixa qualidade, tendem a aumentar as desordens provenientes da má gestão do meio.

Tem-se, ainda, que as descaracterizações do meio ambiente por meio de atividades antrópicas que busquem a melhoria da qualidade de vida nem sempre são passíveis de recuperação imediata. O homem, como elemento do ecossistema, tem a qualidade de vida afetada como um reflexo da sua própria ação (ARAÚJO, 2008).

Os resíduos sólidos constituem um grave problema ambiental devido à diversidade e quantidade em que são gerados. Infelizmente, estes são em sua maioria abandonados no meio ambiente sem que haja a preocupação com a contaminação do solo, das águas subterrâneas e ainda com a proliferação de insetos e a disseminação de doenças (VELOSO; CARVALHO; FARIA, 2008).

Como consequência, o acúmulo de resíduos gerados em qualquer atividade que busque a qualidade de vida humana tem-se tornado um problema constante, uma vez que a maioria das tecnologias disponíveis ainda são insuficientes para tratar ou dispor adequadamente os resíduos gerados. Buscar formas adequadas de disposição, não afetando a qualidade do meio ambiente, é uma temática importante no contexto atual, principalmente nos grandes centros de pesquisas, que estudam materiais alternativos de baixo impacto ambiental.

Os resíduos industriais são decorrentes do rápido desenvolvimento deste setor que acompanha o avanço tecnológico, tais resíduos têm sido hoje um dos maiores responsáveis pela degradação ambiental. Segundo Araújo (2008), a reutilização de materiais tem se fortalecido como um eficiente mecanismo para minimizar os problemas oriundos dos resíduos gerados pelas atividades antrópicas. Além disso, tem-se a busca de novos materiais construtivos que possam substituir as matérias-primas retiradas do meio ambiente.

Levando em conta a necessidade dos recursos minerais para o desenvolvimento sócio-econômico, a dificuldade no controle da disponibilidade de insumos minerais coloca em risco, no presente, a manutenção e, para o futuro, a melhoria da qualidade de vida das populações. Os agregados para a indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos e conseqüentemente os mais significativos em termos de volumes produzidos no Brasil e no mundo. As indústrias brasileiras de agregados (areia e brita) têm apresentado nos últimos anos um incremento na produção. Diante desse fato, o aumento do volume de depósitos de subprodutos se torna uma realidade mais constante na maioria das pedreiras no Brasil. Sendo assim, o surgimento de pesquisas que visem à agregação do ponto de vista econômico e ambiental surge como uma alternativa contra a deterioração ambiental gerada pela estocagem realizada em grandes áreas.

A utilização de agregados para a construção civil, por exemplo, através do processo de britagem da rocha causa vários tipos de problemas ambientais, decorrentes principalmente da geração de resíduos. A minimização de tais resíduos renova o conceito de gerenciamento de resíduos baseado na sistemática de medidas que visam, em primeiro lugar reduzir o máximo possível a quantidade de resíduos a serem tratados, dispostos ou reaproveitados, reforçando assim o princípio do gerenciamento de resíduos sólidos (PEREIRA, 2004).

O expurgo de pedreira é gerado na linha de britagem dos blocos rochosos para obtenção de materiais em diversas granulometrias. Sendo assim, há a geração de finos ou fíler como resíduo dessa etapa produtiva. Atualmente, esse fíler é estocado nas propriedades dessas

mineradoras, ocupando áreas extensas e que poderiam ser aproveitadas para outras atividades com fins lucrativos (ARAÚJO, 2008).

No que se refere à problemática causada pelo acúmulo de resíduos surge a pavimentação a asfáltica como grande potencializadora de absorção dos resíduos gerados pelas ações humanas, sendo que a reutilização dos diferentes resíduos gerados em bases e sub-base de pavimento pode diminuir as externalidades negativas, bem como mitigar os impactos ao meio.

Pesquisas realizadas por Ribeiro (2006), Resplandes (2007), Mesquita (2007), Oliveira (2007), Quintanilha (2008), Araújo (2008), Luz (2008) e Rufo (2009), demonstram a potencialidade, do ponto de vista econômico, técnico e ambiental, da substituição dos materiais tradicionalmente usados no Estado de Goiás, como o cascalho laterítico, por diversos tipos de resíduos que possam apresentar valor agregado.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

No Brasil e nos demais países, durante muito tempo, o desenvolvimento industrial e a poluição eram vistos como indicativo de progresso. Essa percepção ficou mantida até que os problemas relacionados ao meio ambiente como: poluição, degradação da qualidade de vida, contaminação do ar, da água e do solo propiciaram o surgimento de efeitos diretos sobre a vida do meio e das pessoas que coabitam nele.

Dada à expansão da população mundial e à sua continuada concentração em áreas urbanas, bem como à crescente escassez e complexidade do suprimento de recursos minerais, os conflitos da atividade mineral vêm se intensificando (CALAES et al., 2007).

Na Conferência Rio + 10, realizada de 26 de maio a 29 de agosto de 2002, em Johannesburgo, em várias partes de seu documento final, assinado por todos os países presentes, a mineração foi considerada como uma atividade fundamental para o desenvolvimento econômico e social de muitos países, tendo em vista que os minerais são essenciais para a vida moderna (FARIAS, 2002).

A mineração é fornecedora dos insumos básicos aos três setores da economia: primário, secundário e terciário. Neste sentido, seus impactos podem ser positivos e negativos. Todavia, considerando que ela se desenvolve na crosta terrestre, mediante a desagregação das rochas para a extração, beneficiamento e transformação dos bens minerais, pode-se concluir que ela, à semelhança de outras atividades humanas, também interfere no

ambiente, especialmente se mal conduzida (HERRMANN, 2007). A mineração, como qualquer outra atividade exploratória, tem como consequência a geração de resíduos.

Os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobrepção atmosférica, vibração do terreno, ultralancamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local (BACCI; LANDIM; ESTON, 2006).

Por outro lado, a pavimentação de vias, além de contribuir para a redução dos custos de transporte, integração de benefícios e melhoria da qualidade de vida, surge como possível receptora de materiais alternativos para a sua execução, principalmente materiais provenientes de resíduos de produtos e processos industriais. Esses materiais podem ser denominados de materiais não convencionais ambientalmente corretos.

De acordo com Araújo (2008), a dificuldade de encontrar materiais naturais na região onde será executada a obra, em alguns casos, eleva os custos da mesma, principalmente referente a escavações e transportes. Por outro lado, a proximidade de pedreiras de centros habitados é uma decorrência natural da forte influência do custo dos transportes no preço final do produto. Isso ocorre, principalmente, com os agregados, devido ao seu baixo valor unitário.

A alternativa da utilização de um material de descarte do processo industrial tem como principal característica resolver os problemas mais constantes: o primeiro diz respeito à escassez de materiais granulares (REZENDE, 2003); o segundo, refere-se à dificuldade imposta pela Legislação Ambiental para a exploração de jazidas naturais; por fim, o terceiro, onde tenta-se solucionar o problema enfrentado por empresários no que se refere ao destino dado ao resíduo de processos industriais, que a cada dia se acumulam em áreas pertencentes à empresa gerando custos e externalidades diversas (LUZ et al., 2005). No entanto, para que esses resíduos possam ser reaproveitados, visando solucionar os problemas empresariais, os mesmos devem satisfazer alguns critérios básicos como: apresentar viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Um problema enfrentado pelo setor de areia e brita no Estado de Goiás é a estocagem dos finos. A britagem das rochas gera basicamente 5 tipos de produtos: Brita 3: 70 a 50 mm; Brita 2: 50 a 25 mm; Brita 1: 25 a 12,5 mm; Brita 0: 12,5 a 4,8 mm; Pó de pedra: menor que 4,8 mm. Entretanto, desses produtos os únicos que encontram aplicações nobres na

construção civil são as britas de 1, 2 e 3, sendo a brita 0 e o pó de pedra utilizados apenas em aplicações marginais. Algumas dessas empresas fazem a lavagem do pó para retirada dos finos denominado filer. Desta maneira, esses finos ficam estocados em depósitos nas pedreiras e acabam gerando graves impactos sobre o meio ambiente devido, principalmente, à enorme geração de poeira. Estes finos devidamente processados podem vir a substituir a areia natural, porém, para isso, devem possuir algumas características tais como: distribuição granulométrica, forma e textura superficial adequadas, resistência mecânica, estabilidade das partículas e ausência de impurezas, bem como também ser utilizados na aplicação de bases e sub-bases de pavimentos em substituição aos materiais considerados tradicionais (ALMEIDA; SAMPAIO; SILVA, 2005).

De acordo com Luz (2008) e Araújo (2008), o eixo Goiânia-Brasília por constituir o terceiro mercado consumidor de produtos resultantes de processo de britagem no país. Goiânia, com uma população de cerca de 1,4 milhão de habitantes, consome atualmente cerca de 100.000 metros cúbicos de pedra britada por mês, embora tenha potencial para consumir até 250.000 metros cúbicos. Existem hoje nesta região, conforme a Associação Nacional das Entidades Produtoras de Agregados para Construção Civil (ANEPAC, 2004) e Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2009) 14 produtores de brita distribuídos na periferia de Goiânia, em Aparecida de Goiânia e Goianira.

Com esses crescentes números fica bastante evidente o interesse, por parte do setor empresarial, em solucionar o problema do acúmulo de resíduos advindos do processo de lavagem da brita. Sendo assim, torna-se necessário o desenvolvimento de pesquisas que minimizem o problema do setor empresarial. Araújo (2008) destaca que estudos que possam viabilizar a utilização desse rejeito em atividades capazes de absorver o grande volume gerado do mesmo, como as obras de pavimentação, são de fundamental relevância, tanto para sanar ou mitigar os problemas oriundos da destinação desse material, bem como da escassez de materiais granulares utilizados na pavimentação.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivos Principais**

Esta pesquisa tem dois objetivos principais:

- Verificar a viabilidade econômica de utilização do filer de pedreira em base e sub-base de pavimentos;

- Acompanhar o desempenho estrutural do trecho de pavimento experimental executado por Luz (2008) e Araújo (2008), onde foram utilizados finos de pedra em suas camadas.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

Como objetivos específicos tem-se:

- Realizar a caracterização química das amostras estudadas;
- Verificar estrutura das misturas na direção da compactação;
- Identificar os minerais presentes nas misturas.

### **1.4 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO**

Este trabalho foi desenvolvido na forma de dissertação de mestrado, estando dividido em sete capítulos conforme descrito a seguir.

O Capítulo 1 relata os aspectos gerais da pesquisa contendo justificativa e objetivos. O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre a mineração e meio ambiente, enfocando sobre sua importância para o desenvolvimento das atividades humanas, bem como também os impactos ambientais gerados. O Capítulo 3 discorre sobre pavimentação, materiais utilizados para a confecção das camadas de sub-base e base e ensaios de campo utilizados para o monitoramento pós-construção, bem como as características do trecho experimental estudado. O Capítulo 4 relata sobre os aspectos gerais de viabilidade econômica e estimativa de custos na pavimentação. O Capítulo 5 apresenta a metodologia aplicada nesta pesquisa. O Capítulo 6 apresenta e discute os resultados obtidos nos ensaios de campo, ensaios complementares e na análise de estimativa de custos. O Capítulo 7 discorre a respeito das conclusões obtidas, as considerações finais e apresenta sugestões para pesquisas futuras.

## CAPÍTULO 2

### MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE

Neste capítulo serão abordados alguns tópicos e aspectos ambientais em relação às atividades mineradoras bem como a relação das pedreiras com o meio ambiente.

#### 2.1 IMPORTÂNCIA DOS AGREGADOS

No contexto do desenvolvimento urbano, o processo de concentração demográfica se por um lado estimula a queda do consumo *per capita* de energia, por outro expande a intensidade de consumo de materiais de emprego imediato na construção civil, cuja produção e distribuição pode oferecer sérios impactos em termos de consumo de energia e de geração de resíduos diante à inexistência de zoneamento adequado, que favoreça uma estrutura de produção e de logística de grande eficácia (CALAES et al., 2007).

No Brasil, devido à disponibilidade de rocha dura na maioria de suas regiões metropolitanas, as unidades produtoras de brita tendem a se localizar mais próximas ao mercado. Por outro lado, devido à deficiência das políticas de uso e ocupação do solo, verificam-se freqüentes conflitos de localização pelo avanço desordenado da urbanização, à medida que ocorre o esgotamento das unidades produtoras (CALAES et al., 2007).

Evidencia-se, então, a necessidade de racionalizar métodos operacionais e de planejamento e gestão, objetivando desenvolver processos de produção e aperfeiçoar produtos, de forma a atenuar os impactos negativos e as atuais economias associadas à atividade produtiva. Os agregados para indústria da construção civil são os insumos minerais mais consumidos e conseqüentemente, os mais significativos em termos de volume produzido no Brasil e no mundo.

De acordo com o último Anuário Minerário Brasileiro do ano de 2006 (DNPM, 2006), no país havia 2.641 de minas. Deste total, 130 minas eram de grande porte, 625 de médio porte e 1.886 de pequeno porte, ou seja, 71,4% do total. Operam na modalidade a céu aberto 2.597 minas, 41 subterrâneas e 3 mistas. Nos empreendimentos mineiros de grande porte, em 2006, predominaram minas com escala de produção de até 3 milhões de toneladas e acima de 1 milhão de t/ano, ou seja, 58,8% do total. Trata-se do segmento que oferece um maior número de substâncias minerais, com forte presença no minério de ferro, calcário e rochas britadas.



A Indústria Extrativa Mineral brasileira é bastante diversificada. Há pelo menos 55 minerais sendo explorados atualmente no Brasil, cada qual com uma dinâmica de mercado específica ou singular. Sabe-se que a mineração foi historicamente relevante como fator de atração de contingentes populacionais para a ocupação do interior do território brasileiro e, ainda hoje, é um vetor importante para o desenvolvimento regional. Dada a rigidez locacional que a caracteriza, pois não se pode mudar o lugar que a natureza escolheu para as jazidas, seu impacto econômico cresce na medida em que são identificadas minas em regiões de baixa densidade demográfica, com atividades produtivas pouco diversificadas (NEVES; SILVA, 2007).

A indústria brasileira de agregados (areia e brita) tem apresentado nos últimos anos um incremento na produção de 200 milhões de toneladas/ano e já ultrapassa a produção de minério de ferro. Além disso, a exploração de agregados é atualmente uma das atividades extrativas mais importantes do setor mineral brasileiro pelo volume produzido de 155 milhões de m<sup>3</sup>/ano de areia e 107 milhões de m<sup>3</sup>/ano de brita, pelos empregos gerados e pelo enorme efeito multiplicador que produz na economia (CALAES et al., 2007).

De acordo com o DNPM (2001), a participação dos tipos de rochas utilizados na produção de pedra britada é a seguinte: granito e gnaisse – 85%; calcário e dolomito – 10%; basalto e diabásio – 5%. O número de empresas que produzem pedra britada é da ordem de 660, sendo a maioria de controle familiar, e são responsáveis por cerca de 20.000 empregos diretos e 100.000 indiretos. Do total das pedreiras, 60% produzem menos que 200.000 t/ano por unidade; 30% produzem entre 200.000 t/ano e 500.000 t/ano e 10% produzem mais que 500.000 t/ano (VALVERDE, 2007).

O maior mercado consumidor de rocha britada no país permanece sendo São Paulo. O Rio Grande do Sul e Santa Catarina elevaram sua participação relativa, deslocando os mercados de Minas Gerais e do Rio de Janeiro, os quais entre 2003 e 2006 ocupavam alternadamente a segunda e a terceira posição. Os valores de produção declarados no RAL ano-base 2007 para a rocha britada beneficiada indicam um crescimento acumulado de 46% e de 31%, respectivamente, sobre o ano base de 2005 para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Em Santa Catarina, a produção de rocha britada elevou-se em 1,8 milhão de m<sup>3</sup> em relação a 2005. Para o país, considerando o ano base de 2005, o valor declarado no RAL em 2007 cresceu 13%. Parte significativa do crescimento da rocha britada em Santa Catarina deveu-se as obras de duplicação da BR 101. Setorialmente, em 2007, a construção civil demandou 66% do consumo de rocha britada beneficiada, a construção/manutenção de estradas 15%, a pavimentação asfáltica 4% e os artefatos de cimento 3,5%. O setor de

construção civil absorveu 46% da rocha britada bruta, seguido pelo setor de construção/manutenção de estradas com 22% e pavimentação asfáltica 7% (LA SEMA, 2008).

Em termos de reservas com potencial de exploração, o Estado de São Paulo responde por cerca de 20,73%. Outros importantes estados em termos de reservas nacionais são Minas Gerais (23,51%), Rio de Janeiro (9,66%), Bahia (6,68%) e Goiás com 3,90% de reservas. Quando esses valores correspondem a quantidade produzida, ocorre uma pequena diversificação em relação às maiores reservas. No entanto, o estado de São Paulo ainda continua com a maior produtividade (35,53%), Minas Gerais (10,0%), Rio de Janeiro (8,16%), Paraná (5,61%), Rio Grande do Sul (4,74%), Santa Catarina (4,60%) e Goiás com 4,36% (DNPM, 2006).

Em nível mundial, o Brasil ocupa o primeiro lugar na produção de minério de ferro e de nióbio, segundo lugar na produção de cassiterita e terceiro lugar na produção de bauxita e manganês. Estes números trazem ao país uma posição considerável no cenário mundial (CAMPOS; FERNANDES, 2007).

O termo agregados para a construção civil, conforme o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2001), é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil, que são basicamente a areia e a rocha britada. O termo “emprego imediato na construção civil”, que consta da legislação mineral para definir uma classe de substâncias minerais, não é muito exato já que nem sempre são usadas dessa forma e muitas vezes entram na composição de misturas, tais como o concreto.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA MINERAÇÃO NO BRASIL E OS IMPACTOS NO MEIO AMBIENTE**

A mineração é conceituada como sendo a ação de descobrir, avaliar e extrair as substâncias minerais úteis existentes no interior ou na superfície do planeta Terra. Todas as operações que envolvem a mineração de rocha britada comportam quatro etapas distintas, sendo elas: a prospecção, a exploração, o desenvolvimento e a lavra. A prospecção é a etapa da descoberta de ocorrências minerais, através de pesquisa bibliográfica, levantamentos geológicos já existentes, imagens de satélites, ortofotos (imagens fotográficas baseada num modelo digital do terreno) e outros (FRAZÃO, 2007).

A etapa de desenvolvimento compreende todos os trabalhos necessários ao aproveitamento industrial da jazida mineral, como: a abertura de estradas, a implantação de estruturas de apoio (oficinas, portarias, escritórios, banheiros, refeitório, almoxarifado, outros); a implantação de estruturas de controle (diques, barragens, sistemas de drenagem, etc) e outros (FRAZÃO, 2007).

Por fim, a lavra é definida como o conjunto de operações necessárias para o aproveitamento industrial da jazida até o seu beneficiamento, e efetuada de modo não predatório, isto é, respeitando às Normas Reguladoras de Mineração e às leis de segurança e meio ambiente (FRAZÃO, 2007).

A mineração é um dos setores básicos da economia do país, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável (FARIAS, 2002).

A mineração desempenha um papel social e econômico muito importante no país. Sob o aspecto de economia, a atividade de extração é responsável por 3% do Produto Interno Bruto brasileiro (PIB). Este valor sobe para aproximadamente 26% quando se considera as etapas de transformação do bem mineral, sendo produto de base para setores como: siderurgia, metalurgia, indústria cerâmica, petro-química, cimenteira, química e outras. Se forem consideradas as etapas subseqüentes de produção, onde encontram-se as indústrias automobilísticas, eletroeletrônicas e de eletrodomésticos, e o setor da construção civil, a participação chega a aproximadamente 40% na economia nacional (CAMPOS; FERNANDES, 2007).

Analisando a produção específica de agregados, esta vem aumentando consideravelmente a partir da década de 60, exceto no período entre 1997 a 2003, devido a crise que se abateu na construção civil. Entretanto, atualmente, vê-se um aquecimento neste setor, principalmente nas grandes metrópoles. Destaca-se a Região Metropolitana de São Paulo como o maior mercado consumidor de agregados do país (CAMPOS; FERNANDES, 2007).

Embora o setor de produção de agregados para construção civil possua uma grande importância econômica para o país, a mineração como atividade potencialmente poluidora, altera profundamente o meio ambiente onde se encontra inserida, gerando ainda uma série de resíduos que acabam sendo depositados em bancas dentro da propriedade dessas empresas, constituindo assim em áreas com passivo ambiental (ARAÚJO, 2008).

Ao conjunto de efeitos não desejados oriundos das atividades desempenhadas pela mineração dá-se a denominação de externalidades. Algumas dessas externalidades são: alterações ambientais, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano. Estas externalidades geram conflitos com a comunidade, que normalmente têm origem quando da implantação do empreendimento, pois o empreendedor não se informa sobre as expectativas, anseios e preocupações da comunidade que vive nas proximidades da empresa de mineração (BITAR, 1997).

No Brasil, os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em quatro categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora e subsidência do terreno (FARIAS, 2002).

Bacci, Landim e Eston (2006) realizaram um estudo inerente ao levantamento dos impactos gerados por pedreiras em áreas urbanas. Os autores apontaram em seu trabalho que os impactos adversos mais significativos estão relacionados ao uso de explosivos no desmonte de rocha, os quais podem estender-se para áreas fora do domínio da pedreira, afetando, principalmente, a região circunvizinha. Neste mesmo estudo, os autores puderam identificar e listar os principais aspectos e impactos ambientais gerados em empresa mineradora, sendo eles: poluição do ar, contaminação do solo e dos cursos d'água, danos às instalações civis, perda /danos à integridade física e utilização de recursos naturais indevidos.

De acordo com Dias (2001), os impactos da mineração em área urbana sobre o meio antrópico reveste-se de especial importância devido ao alto grau de ocupação urbana, que são agravados face à proximidade entre as áreas mineradas e as áreas habitadas. É o caso dos impactos visuais, resultantes dos altos volumes de rocha e solos movimentados e às dimensões da cava ou da frente de lavra. O desconforto ambiental pode ser sentido mesmo quando as emissões estiverem abaixo dos padrões ambientais estabelecidos. Os impactos causados sobre a saúde, por outro lado, dificilmente ocorrem quando estes limites são respeitados.

No Brasil, já está sendo desenvolvida uma política para resolver os problemas gerados por estes empreendimentos. Esta política se baseia no fato de que esses problemas ambientais sejam minimizados através da exigência pelos órgãos responsáveis do meio ambiente do estudo da avaliação de impactos ambientais.

A lei federal nº 6938, que estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente, instituiu como um dos seus instrumentos a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA). Posteriormente, o decreto nº 88351, que disciplinou a lei, vinculou a utilização da avaliação

de impacto aos sistemas de licenciamento de atividades poluidoras ou modificadoras do meio ambiente, e estabeleceu que “o estudo de impacto ambiental será realizado por técnicos habilitados, e constituirá o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA”.

Anos após o estabelecimento da Política Nacional do Meio Ambiente, surge através da resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986, um meio legal estabelecendo as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para o uso e implementação da avaliação de impacto ambiental. De acordo com a referida resolução:

“considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: (I) - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; (II) - as atividades sociais e econômicas; (III) - a biota; (IV) - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e (V) - a qualidade dos recursos ambientais”. (CONAMA, 1986)

Contudo, a partir da década de 90, a mineração de agregados, principalmente a de brita nas regiões metropolitanas, tem feito esforços para acompanhar as demandas atuais da legislação ambiental, principalmente com a adoção da licença de operação, incorporando ao processo produtivo o gerenciamento ambiental no planejamento do empreendimento com a correta aplicação das técnicas de lavra e a adequação a determinados parâmetros, bem como a recuperação das áreas. (SINTONI<sup>1</sup>, 1994 apud FARIAS, 2002).

Araújo (2008) ressalta que um aspecto relevante no processo de minimização dos impactos ocasionados pela atividade de mineração: a procura de uma destinação adequada para os resíduos sólidos gerados pelo mesmo. Dessa forma, é oportuno que ocorra o aproveitamento dos rejeitos das atuais pedreiras já instaladas, para que eles possam ser destinados como um material de valor econômico e ambiental, visando dessa forma maximizar os agregados produzidos nas pedreiras e sanar as principais externalidades geradas por essa atividade.

De acordo com o Anuário Minerário Brasileiro do ano de 2005, o estado de Goiás conta com 38 municípios com potencialidade de reservas e produção de agregados. Neste contexto, o panorama do mercado de agregados para a construção civil no Estado de Goiás, segundo o Sindicato das Empresas de Brita e Argila do Estado de Goiás e Indústrias

---

<sup>1</sup> SINTONI, A. *A mineração no cenário do município de São Paulo: mercado e novas tecnologias*. In: I Encontro de Mineração no Município de São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria das Administrações Regionais da Prefeitura do Municipal de São Paulo, 1994. p. 31-42.

(SINDIBRITA, 2007), demonstra que a demanda por brita não se alterou em 2004 e 2005. Em 2006, como consequência da recuperação do setor de construção civil, a demanda por brita aumentou, o que também provocou uma variação nos preços.

Em Goiânia, a maioria das pedreiras localizadas em sua região metropolitana exploram a rocha conhecida como micaxisto. Os micaxistos são rochas metamórficas de estrutura com xistosidade acentuada, formadas por uma composição química pelítica, essencialmente, por quartzo e mica (muscovita ou biotita), podendo conter feldspato, granadas, estauroilite, silimanite e horneblenda (TERRA<sup>2</sup>, 2007 apud ARAÚJO, 2008). No processo de beneficiamento da rocha e britagem do agregado ocorre a lavagem da brita, gerando o resíduo denominado de fíler. Este resíduo geralmente é disposto em depósitos. Observa-se que o acúmulo desses resíduos nos pátios das empresas pode gerar inúmeros impactos ambientais, sendo que a depreciação da qualidade dos corpos d'água adjacentes às áreas de servidão é um dos principais problemas levantados.

Silveira e Mendonça (2009), ao verificar os aspectos e impactos ambientais em pedreiras de granito, descreveram que na maioria das empresas que realizam a extração de rocha britada, a lavra é feita a céu aberto, em meia encosta, e as operações se iniciam com a execução do plano de fogo para desmonte primário (perfuração+detonação por explosivos), que fragmenta cada trecho das bancadas da frente de lavra. Caso o material não esteja com dimensões adequadas para a entrada na planta de beneficiamento (fragmentos maiores que 1 metro), efetua-se o desmonte secundário, por fogacho, rompedores hidráulicos ou *drop ball*. Em seguida, efetua-se o carregamento dos fragmentos rochosos com pás-carregadeiras em caminhões para alimentação dos britadores. Após a britagem e a separação, os produtos são conduzidos para a área de estocagem nos pátios das empresas.

### **2.3 MINERAÇÃO E EXPLORAÇÃO DE BRITA NO ESTADO DE GOIÁS**

De acordo com o DNPM (2008), 31 substâncias compõem o produto mineral extraído do Estado de Goiás. Neste item estão: água mineral, água termal, amianto, areia, argila para cerâmica vermelha, argila para cimento, brita, calcário agrícola, calcário para cimento, calcário para ração, cascalho, caulim para cerâmica branca, cobalto, cobre, diamante, esmeralda, ferro, filito, fosfato, manganês, nióbio, níquel, ouro, rochas de revestimento e

---

<sup>2</sup> TERRA PLANETA “VIVO”. *Rochas - metamorfismo*. 2007. Disponível em: <[http://domingos.home.sapo.pt/rochas\\_3.html](http://domingos.home.sapo.pt/rochas_3.html)>. Acesso em: 15 mai. 2007.

ornamentais, silito para cerâmica branca, titânio e vermiculita e as classificadas em outras substâncias: argila para cerâmica branca, prata, quartzo, e, finalmente, saibro. Destas substâncias, oito (níquel, cobre, fosfato, cobalto, amianto, ouro, nióbio e brita, nesta ordem) responderam por aproximadamente 94% do total, ficando os poucos mais de 4% restantes por conta de outras 23 substâncias. A Figura 2.1 ilustra a distribuição percentual das principais substâncias extraídas no Estado de Goiás.

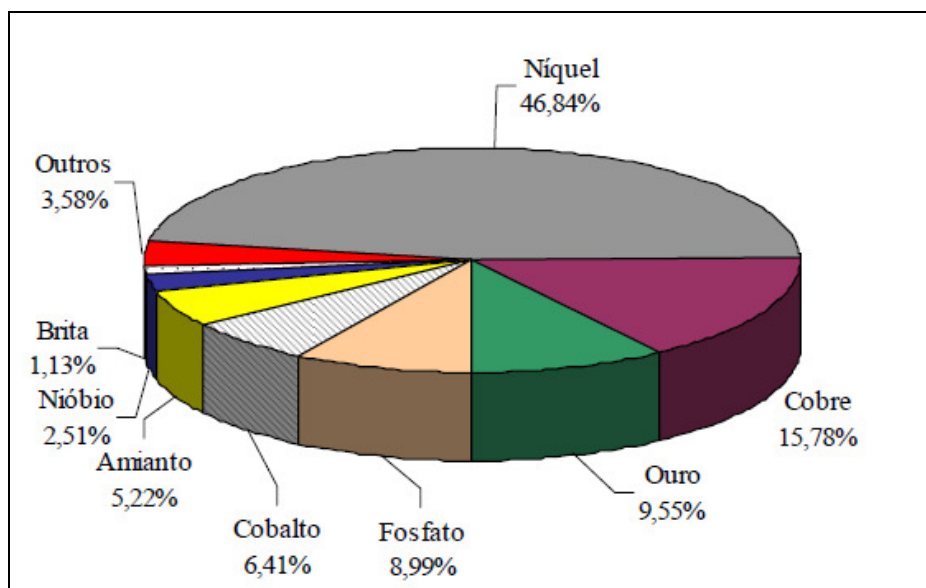


Figura 2.1 – Distribuição percentual das principais substâncias minerais extraídas no Estado de Goiás (DNPM, 2007)

O produto mineral do Estado de Goiás apresentou um crescimento em todos os anos analisados, com destaque para 2007 em relação a 2006. Nesse período, houve um acréscimo de 65,5%, reflexo do aumento dos valores dos metais, impulsionados pelo crescimento do mercado interno e, principalmente, dos países asiáticos. Dos 131 municípios que compuseram o Produto Mineral no Estado de Goiás (considerando o Distrito Federal como uma unidade de Goiás para fins deste estudo) em 2007, apenas oito (Niquelândia, Alto Horizonte, Barro Alto, Catalão, Minaçu, Crixás, Ouvidor e Americano do Brasil, nesta ordem) foram responsáveis por aproximadamente 92,9% do total, ficando os 7,10% restantes por conta de 123 municípios. Destaca-se que os quatro primeiros municípios detiveram cerca de 75% do valor da produção mineral (DNPM, 2008).

De todos os municípios que compõem a estrutura, em termos de reservas, destacam-se: Aparecida de Goiânia (33.698.329 m<sup>3</sup>), Cocalzinho de Goiás (42.692.407 m<sup>3</sup>), Goiânia (43.430.480 m<sup>3</sup>), Goianira (27.075.352 m<sup>3</sup>), Nova Veneza (10.468.248 m<sup>3</sup>), Padre Bernardo (31.950.693 m<sup>3</sup>), Teresópolis de Goiás (36.372.171 m<sup>3</sup>), o que demonstra a potencialidade do estado em termos de volume a ser explorado.

A comercialização de areia e brita se restringe a um raio limitado, devido aos elevados custos de frete que oneram o produto final. Portanto, a comercialização desses minerais fica restrita na região de extração ou para o abastecimento dos maiores centros urbanos, que neste caso são Brasília e Goiânia. Na Figura 2.2 pode-se verificar a distribuição dos principais municípios produtores e comercializadores de brita no Estado de Goiás para o ano de 2007.

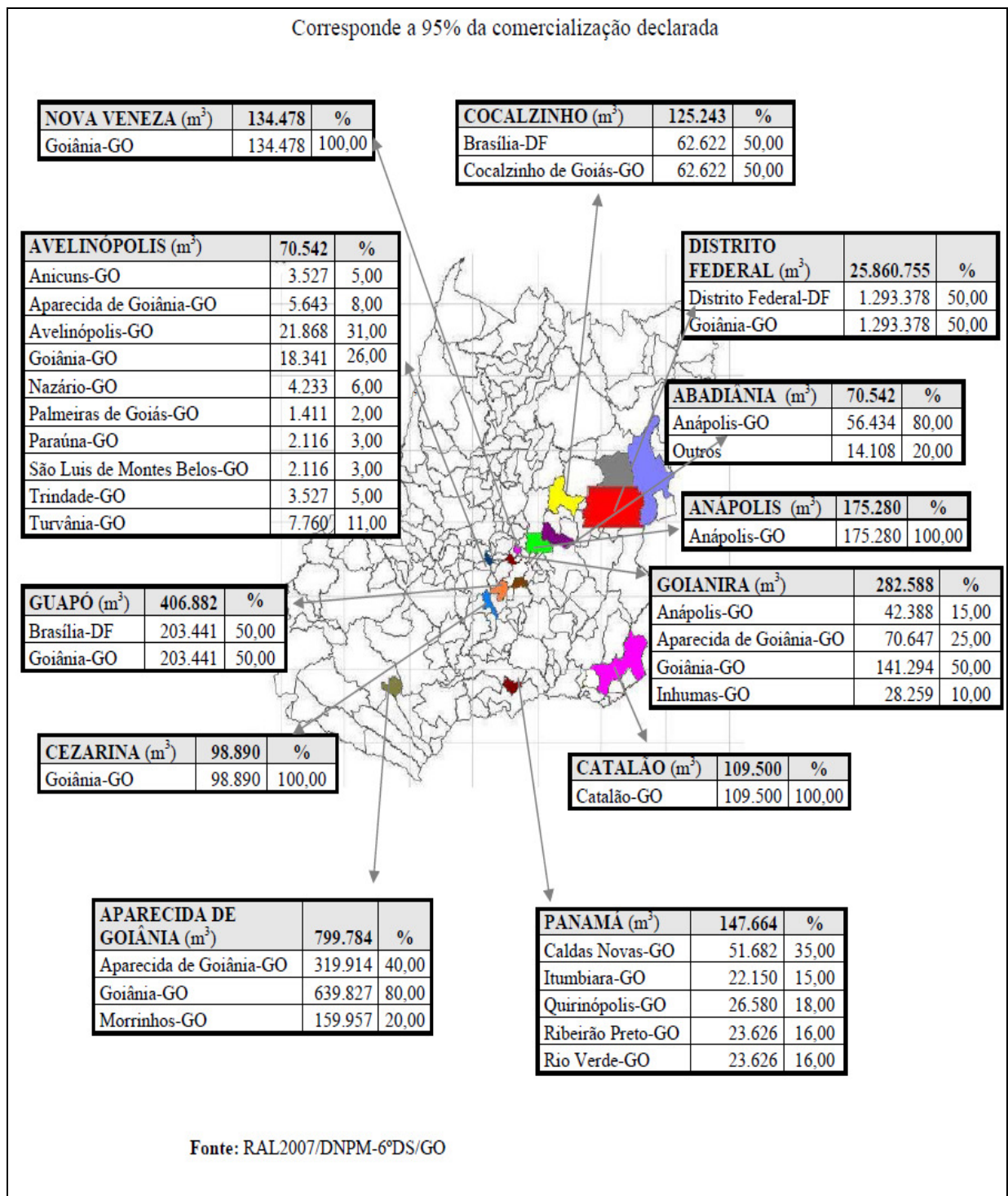


Figura 2.2 - Municípios produtores e comercializadores de brita e suas zonas de influência de comércio (DNPM, 2007)



O aquecimento da construção civil no estado também impulsionou outros setores, principalmente os relacionados à exploração das matérias essenciais para o desenvolvimento das atividades de extração de rocha para produção de agregados para a construção civil. A Tabela 2.1 mostra essa evolução entre os anos de 2003 a 2007, com destaque para o ano de 2007 com maior volume de produção e comercialização de brita.

Tabela 2.1 – Composição de produção e comercialização, produto mineral e índice de crescimento para a brita no Estado de Goiás (2003-2007)

<b>Data</b>	<b>Produção (m<sup>3</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>Comercialização (m<sup>3</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>Produto Mineral (R\$)</b>	<b>(%)</b>
2003	676.593	100,0	676.593	100,0	16.362.718,92	100,0
2004	1.107.132	163,6	1.107.132	163,6	22.801.275,79	139,3
2005	1.883.695	278,4	1.842.891	272,4	42.401.549,06	259,1
2006	2.349.236	347,2	2.299.230	339,8	60.167.195,48	367,7
2007	2.846.681	420,7	2.703.352	399,6	60.353.744,65	368,8

OBS.: Base de atualização monetária:31/12/2007. Dólar de referência da época: 2003 (US\$ 2,925), 2004 (US\$ 2,433), 2005 (US\$ 2,175), 2006 (US\$ 1,947), 2007 (US\$ 1,948).

A produção e a comercialização de brita tiveram um aumento de 320,7% e 299,6%, respectivamente, enquanto o produto mineral também teve um aumento expressivo de 268,8%, reflexo também do aquecimento que o setor tem experimentado nos últimos três anos.

A atividade das pedreiras pode ser identificada como uma estrutura industrial, visto que abrange a exploração de diversos recursos minerais, utilizando metodologias distintas de beneficiamento em suas linhas produtivas para obtenção dos agregados, envolvendo também vários efeitos sobre o meio ambiente. Para esse estudo, são abordadas apenas as jazidas de exploração a céu aberto, visto que esse tipo de exploração é o observado para as pedreiras no eixo Goiânia-Brasília (ARAÚJO, 2008).

Em Goiânia, a maioria das pedreiras a lavra de brita é feita a céu aberto, em meia encosta, e as operações se iniciam com a execução do plano de fogo para desmonte primário (perfuração + detonação por explosivos), com altura das encostas variando entre 10 e 20 metros, de modo que no momento do desmonte das bancadas não haja ultralancamentos de fragmentos de rocha durante a detonação, conforme pode ser observado na Figura 2.3.

A extração da rocha é realizada por meio de detonações, marteletes e outras, dependendo da situação da jazida. Na lavra da rocha, são compatibilizadas as características geomecânicas do elemento a ser lavrado com o processo produtivo, ou seja, as operações de lavra devem atender os critérios de segurança (estabilidade de taludes) e de produção (ARAÚJO, 2008).



Figura 2.3 – Frente de lavra e bancada para detonação

Os agregados artificiais são obtidos pela redução do tamanho de pedras, geralmente por trituração em britadores. O processo necessário para transformar o material de uma determinada jazida em agregado de qualidade satisfatório para o uso na construção civil pode ser simples ou complexo, a depender de uma série de fatores.

A escolha do equipamento e do *layout* das instalações de britagem e peneiramento são elementos de máxima importância para a obtenção do agregado a custos mais reduzidos (SILVA, 2000). Após a detonação, efetua-se o carregamento dos fragmentos rochosos com pás-carregadeiras em caminhões, levando diretamente para a área de britagem conforme pode ser observado na Figura 2.4.



Figura 2.4 – Preparação com pás carregadeiras para carregamento dos blocos.

As operações de beneficiamento são puramente mecânicas e consistem em esmagamento para a diminuição do tamanho e classificação em diferentes granulometrias. Após a britagem e a separação, os produtos são conduzidos para a área de estocagem nos pátios da empresa, conforme Figura 2.5.



Figura 2.5 – Britador com os diferentes materiais já beneficiados

Existem basicamente quatro tipos de britas, com diferentes aplicações. A brita 0 é utilizada na fabricação de asfalto, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral. A brita 1 é o produto mais utilizado pela construção civil, na fabricação de concreto, com diversas aplicações como na construção de pontes, edificações e grandes lajes. As britas 2 e 3 são britas mais resistentes, voltadas para fabricação de concreto, principalmente em formas mais pesadas. Também é comercializado o pó de pedra, muito utilizado no assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, além de fazer parte na composição de concreto asfáltico, substituindo com qualidade a areia de rio, sem danos ao meio ambiente (ARAÚJO, 2008).

No processo de beneficiamento da rocha e britagem do agregado, ocorre a lavagem da brita, gerando o resíduo denominado de fíler. Este resíduo geralmente é disposto em depósitos conforme mostrado na Figura 2.6. Atualmente, o fíler não tem utilização no mercado e fica estocado nos pátios das pedreiras, podendo causar impactos ambientais. De acordo com o levantamento sócio-ambiental levantado por Luz (2008), os principais impactos ambientais são decorrentes do transporte e da manutenção dos depósitos, onde o trabalhador caso não utilize corretamente os equipamentos de proteção individual podem sofrer a exposição de barulho e poeira.



Figura 2.6 – Depósito do fíler (LUZ, 2008)

## CAPÍTULO 3

### PAVIMENTAÇÃO: CONCEITOS, MATERIAIS E AVALIAÇÃO *IN SITU*

Neste capítulo serão abordados alguns conceitos de pavimentação, materiais comumente utilizados e aqueles considerados ambientalmente corretos, bem como procedimentos existentes para a avaliação estrutural de pavimentos. Além disso, são apresentadas as características do trecho experimental executado no município de Goiânia-GO que também foi objeto de estudo neste trabalho.

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE PAVIMENTAÇÃO

De acordo com Bernucci et al. (2006), pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Segundo a norma brasileira de pavimentação NBR – 7207 (ABNT, 1982), o pavimento é uma estrutura construída sobre a terraplanagem que tem por objetivo:

- Resistir os esforços verticais;
- Melhorar condições de rolamento (conforto e segurança);
- Resistir esforços horizontais permitindo uma superfície de rolamento durável.

De acordo com o manual de pavimentação do Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transporte (DNIT, 2006), o pavimento é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito, o qual é designado de subleito.

Os pavimentos são divididos em dois grupos básicos, flexíveis e rígidos, havendo uma terceira classificação denominada de pavimentos mistos ou semi-rígidos. São dimensionados de acordo com as cargas e intensidade de tráfego que deverão suportar, sendo o flexível o de maior aplicação nas vias urbanas e rodoviárias do Brasil através da pavimentação asfáltica (PEREIRA, 2004).

Mais recentemente há uma tendência de usar-se a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland ou simplesmente concreto-cimento (Figura 3.1) e pavimentos

asfálticos (Figura 3.2) para indicar o tipo de revestimento do pavimento (BERNUCCI et al., 2006).

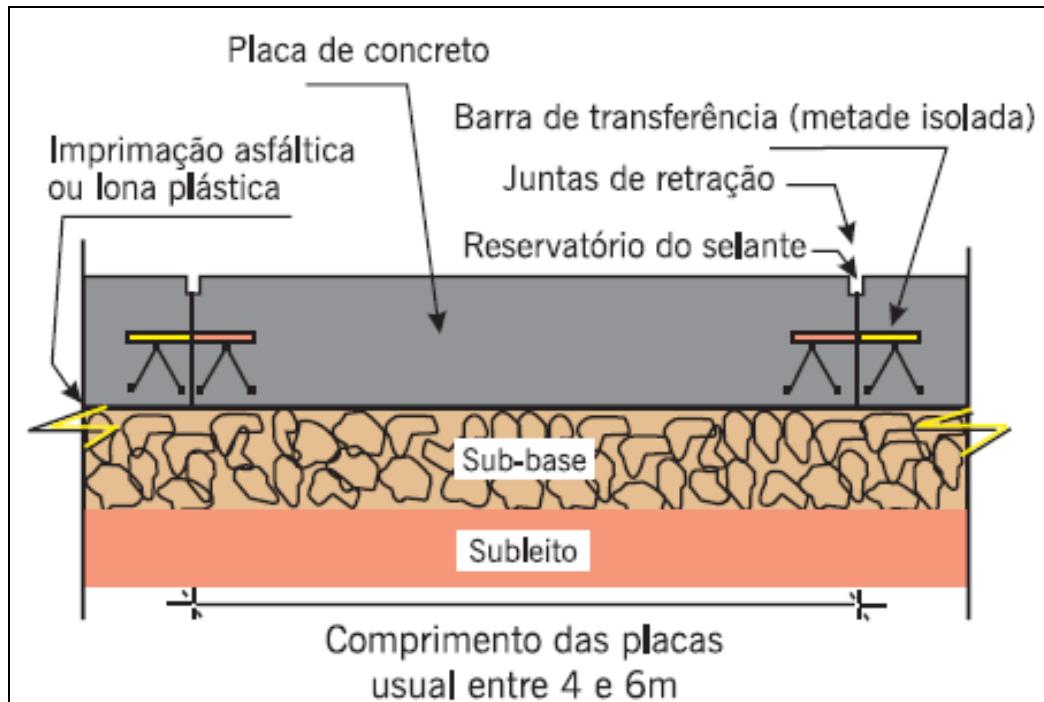


Figura 3.1 – Pavimento de concreto-corte longitudinal (BERNUCCI et al., 2006)

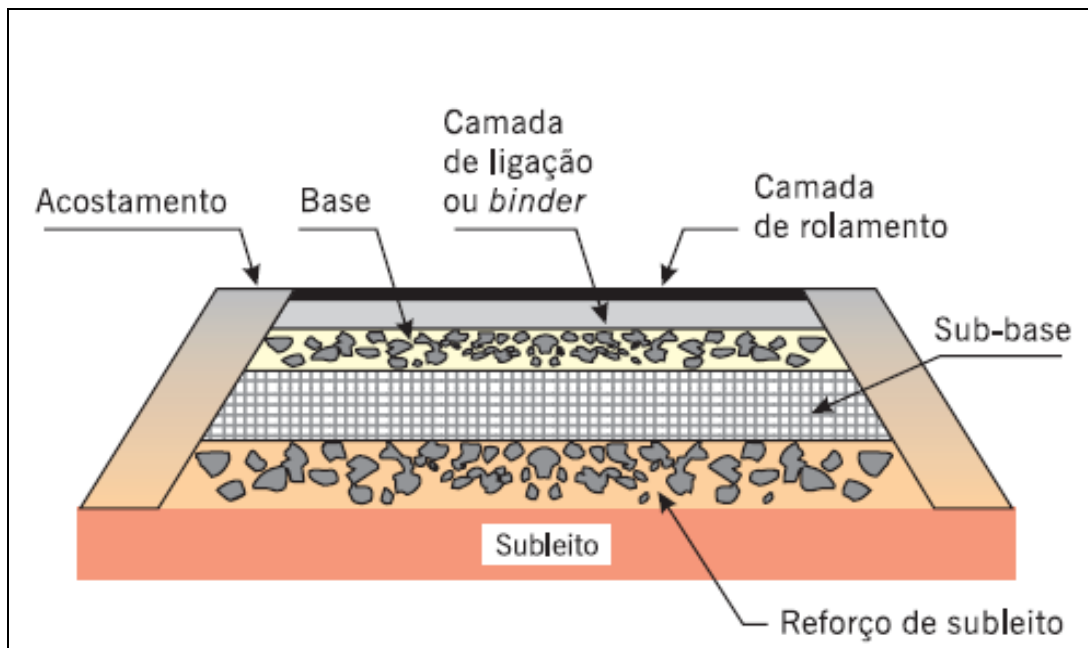


Figura 3.2 – Pavimento asfáltico-corte transversal (BERNUCCI et al., 2006).

Além das classificações comumente utilizadas, ainda é possível identificar dois tipos de pavimentos, sendo eles: os compostos que são constituídos por pavimento flexível e rígido, sendo que a camada inferior consiste de placa de cimento Portland e a camada superior de concreto asfáltico; e o pavimento invertido que é constituído por uma sub-base cimentada, uma base granular e revestimento de concreto asfáltico (DANIELESKI, 2004).

Segundo Dias (2004), o perfil genérico de um pavimento é constituído das seguintes camadas:

- Subleito: é o terreno de fundação do pavimento ou revestimento;
- Reforço do subleito: eventualmente pode ser necessária esta camada em virtude de deficiência de suporte do subleito;
- Sub-base: é a camada corretiva do subleito, ou complementar à base, caso não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido pela terraplanagem;
- Base: é uma camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos;
- Revestimento: é a camada, tanto quanto possível impermeável, construída sobre a base, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos.

### **3.2 MATERIAIS TRADICIONAIS**

Observa-se que dentro da história de utilização de solos na pavimentação asfáltica sempre houve dificuldade de padronização entre a prática e a teoria. Com a importação pelo Brasil das normas americanas sobre pavimentação, os solos tropicais apresentavam características estruturais inferiores quando comparados com solos temperados. No entanto, o que observa-se é que os solos tropicais são formados por intensa atividade intempérica, e isto gera um material com características peculiares e com comportamento, muitas vezes, discrepantes daqueles preconizados pelas normas tradicionais.

Os solos das regiões tropicais apresentam uma série de peculiaridades decorrentes das condições climáticas, sendo, portanto necessário se conceituar os solos de Peculiaridades Tropicais, ou seja, os tipos genéticos de solos encontrados em regiões tropicais. Dentro da classificação dos solos, aqueles que apresentam propriedades peculiares e de comportamento em decorrência da atuação do processo geológico e ou pedológicos típicos das regiões tropicais úmidas, dentre os solos tropicais, destacam-se os solos lateríticos e os solos saprolíticos. Os solos lateríticos são solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das

regiões tropicais úmidas resultantes de uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação intempérica. Já os solos saprolíticos são aqueles que resultam da decomposição ou desagregação *in situ* da rocha matriz pela ação das intempéries (chuvas, insolação, geadas), mantendo ainda de maneira nítida a estrutura da rocha que lhe deu origem (VILLIBOR et al., 2000).

De acordo com Batalione (2007), solos tropicais são aqueles localizados em regiões do planeta de clima tropical, caracterizado por apresentar elevadas temperaturas, em regiões de alto índice pluviométrico, umidade elevada em contraste com clima seco. Contudo, a sua denominação está baseada nas suas características de comportamento específico diferenciando dos solos tradicionais.

Os solos tropicais podem ser divididos em dois grupos distintos, sendo eles: os lateríticos, mais intemperizados e mais desenvolvidos; e os solos saprolíticos, menos intemperizados e que possuem características intrínsecas ao manto rochoso que lhe deu origem (BATALIONE, 2007).

De acordo com Mesquita (2007), dentro da classificação dos solos, aqueles que apresentam propriedades peculiares e de comportamento em decorrência da atuação de processo geológico ou pedológico típicos das regiões tropicais úmidas são denominados de solos tropicais.

Outra característica dos solos lateríticos é a sua elevada permeabilidade, devido principalmente ao desenvolvimento de agregados argilosos resistentes, mesmo depois da imersão em água. Quando compactados, verifica-se a variação da permeabilidade encontrada ao longo da curva de compactação. As argilas lateríticas podem apresentar permeabilidade elevada no ramo seco e as areias argilosas podem ser consideradas quase impermeáveis na condição ótima de compactação. No campo, prever corretamente a permeabilidade é muito difícil pelo tipo de estrutura de compactação que é desenvolvida e pelo aparecimento de trincas de contração por perda de umidade. Essas trincas são consideradas irreversíveis e quando parte do solo seco é colocada em contato com a água podem aparecer novas trincas e fissuras (MESQUITA, 2007).

A relevância da utilização dos solos em obras de pavimentos no Brasil foi reconhecido na década de 30. No entanto, Nogami e Villibor (1990) relatam que a primeira pista experimental foi construída na década de 50 na cidade de Campinas – SP, sendo utilizado em larga escala em 1956, quando o estado de São Paulo utilizou o solo arenoso fino laterítico em bases e sub-bases de pavimentos submetidos a baixo volume de tráfego. Dias



(2007) relata que essa enorme utilização ocorreu durante a administração estadual do Governo Jânio Quadros, entre 1956 e 1960.

Devido à adoção de parâmetros, especificações e metodologias existentes em outros países, já no princípio da construção das rodovias no Brasil, inicialmente, os materiais granulares foram utilizados para a execução de camadas de base e sub-base em grande escala e como consequência, hoje estes já não são facilmente encontrados (REZENDE, 2003). No estado de Goiás, o material que sempre foi utilizado para a construção de sub-base e base de pavimentos foi o cascalho laterítico.

Rezende (2003), em seu trabalho de doutorado, destaca que os obstáculos ambientais impostos pelos órgãos competentes para a exploração do cascalho, estão crescendo a cada dia, principalmente na concessão de licenças específicas. O principal problema advindo da extração é a capacidade de alterar de forma significativa a vegetação, o relevo e até mesmo as características do solo local. Outro aspecto mencionado consiste no fato de que muitas vezes, quando sua exploração é concedida, o custo envolvido com a distância de transporte entre a jazida e a obra torna-se elevado e até mesmo inviabiliza o empreendimento.

### **3.3 MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS**

Como tem existido dificuldade em se explorar os materiais granulares tradicionalmente utilizados nas obras de pavimentação, torna-se necessário avaliar a aplicação de outros materiais. Neste sentido, aparecem diversos tipos de resíduos sólidos que estão sendo pesquisados, conforme descritos a seguir, que são considerados materiais não convencionais ambientalmente corretos.

#### **3.3.1 Fosfogesso**

A rocha fosfática é um recurso natural vital e é a principal fonte de fósforo, um dos nutrientes essenciais para as plantas, onde 90% do fosfato extraído é utilizado na agricultura, principalmente na produção de fertilizantes solúveis. Os outros 10% são usados nas indústrias médica e química. É comumente utilizado em complemento à alimentação dos animais, detergentes, pesticidas, bebidas destiladas, cabeça de fósforo, polimento de alumínio, madeira, filmes fotográficos, pastas dentais, cosméticos, corantes têxteis, gasolina e óleo aditivos. A maioria do fosfato utilizado em fertilizantes são processados para serem convertidos em produtos fertilizantes solúveis. Eles são usados para produzir super fosfato

simples, super fosfato triplo, nitro-fosfato e ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), que é o material básico para a produção de fertilizantes, tais como fosfato monoamônico, fosfato diamônico e os adubos compostos de fórmulas diferentes (KATAMINE, 2000).

O fosfogesso é um subproduto ou resíduo sólido gerado pelas indústrias de fertilizantes fosfatados durante a produção do ácido fosfórico  $H_3PO_4$ . A sua denominação indica sua origem industrial (fosfo) e seu componente principal (gesso). Esse subproduto é sulfato de cálcio ( $CaSO_4$ ) e, portanto, apresenta a mesma composição do gesso natural. Devido à sua abundância e larga distribuição geográfica, o gesso tem um valor econômico baixo e, em muitos casos, o seu valor no solo antes da exploração é praticamente zero. Em face da competição econômica com o gesso, o uso prático do fosfogesso requer pesquisas inovadoras e contínuas (OLIVEIRA, 2005).

O fosfogesso é um resíduo que tem atingido grande destaque ambiental e tem sido estudado para aplicação na construção rodoviária, principalmente devido à grande quantidade acumulada deste resíduo nas indústrias que produzem fertilizantes agrícolas (ARAÚJO, 2008).

O crescente aumento da geração do resíduo fosfogesso preocupa cada vez mais os órgãos ambientais e os industriais, principalmente pelo fato de utilizar o acondicionamento muitas das vezes não ambientalmente correto. Outra grande preocupação com os resíduos gerados pela exploração da rocha fosfática é a liberação de elementos com composição radiológica. Mesmo que não sendo consideradas significativas, ainda não se sabe o efeito da exposição desses compostos ao longo do tempo. O uso desse passivo ambiental na construção civil pode contribuir com a minimização da disposição do mesmo em pilhas a partir de sua adequada destinação (CANUT, 2006).

O acúmulo destes rejeitos, altamente poluentes, está atingindo níveis preocupantes, comprometendo o meio ambiente e a qualidade de vida na região. Há, pois, necessidade urgente de estudos para solucionar o problema da poluição ambiental, quer seja através de uma melhor técnica de acondicionamento destes rejeitos, quer seja pela sua utilização como materiais alternativos na construção civil (CAJAZEIRAS; CASTILHOS JÚNIOR, 1999). A Figura 3.3, a seguir, ilustra um depósito de fosfogesso nas indústrias mineradoras das rochas fosfáticas.

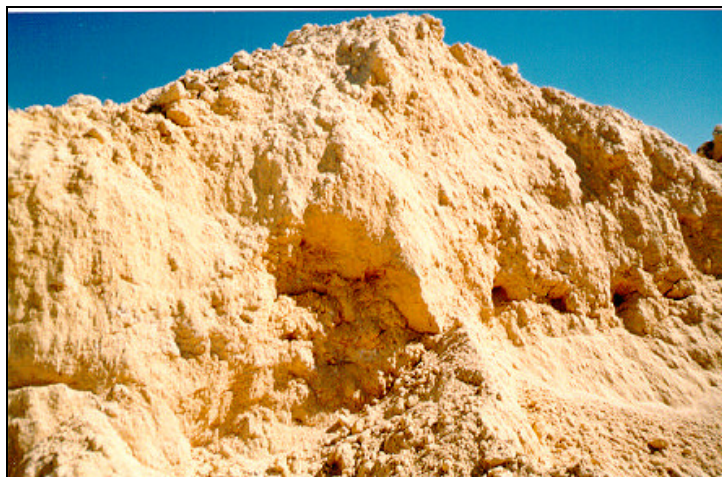


Figura 3.3 – Pilha de fosfogesso estocado em Imbituba – SC. (CAJAZEIRAS; CASTILHOS JÚNIOR, 1999).

De acordo com os resultados desses mesmos autores, observa-se que até o presente momento e comparados com as normas brasileiras de resíduos sólidos, no que diz respeito à sua utilização na construção civil, pode-se concluir que ambientalmente esse material pode ser utilizado como novo material de construção civil. Comparações feitas com fosfogesso analisado em outros países mostram que esse material varia bastante sua composição, de acordo com a rocha do fosfato e o seu processo de exploração empregado. Portanto, recomenda-se analisar o fosfogesso antes de sua aplicação.

Canut (2006) observou que o comportamento de misturas contendo somente gesso e outras com substituição por fosfogesso, foram semelhantes, indicando a viabilidade do uso do fosfogesso beneficiado como matéria-prima a ser utilizada na fabricação, por exemplo: de peças pré-moldadas; blocos de alvenaria; divisórias; painéis acartonados e placas de rebaixo de teto.

Oliveira (2005) observou que a resistência à compressão simples, a rigidez e a resistência à compressão diametral da mistura de fosfogesso e cal são influenciados pelas variáveis: condição de ensaio, tempo de cura e teor de cal. Nesta mesma pesquisa, o tempo de cura após a compactação foi um fator importante no ganho de resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral e rigidez das misturas. Valores determinados após 30 dias de cura à 20°C de mistura de fosfogesso de 5% e 10% de cal atendem aos limites preconizados pelas normas, podendo ser utilizados em base e sub-base de pavimentos.

Mesquita e Rezende (2007), avaliando a aplicação do fosfogesso na pavimentação, estudaram a utilização de misturas solo fino tropical e fosfogesso nas seguintes proporções: 50% solo + 50% fosfogesso (Mistura A), 80% solo + 20% fosfogesso (Mistura B), 20% solo + 80% fosfogesso (Mistura C). Após o trabalho, pode-se observar que as Misturas A e B apresentaram maior potencial de uso quando compactadas. No entanto, com aumento do teor de fosfogesso na mistura ocorre diminuição no valor do peso específico aparente seco máximo e aumento no valor da umidade ótima.

Quanto aos valores de *California Bearing Ratio (CBR)* ou Índice de Suporte Califórnia (ISC) a Mistura B (20 % de fosfogesso) apresentou maior potencial de aplicação, podendo ser utilizada em camadas de sub-base de pavimentos ( $CBR \geq 20\%$ ). A Mistura C (80% de fosfogesso) não seria indicada para uma aplicação prática. O solo e a Mistura A poderiam ser utilizados no máximo como reforço do subleito ou na construção de aterros em geral. Com relação à expansão, nenhum material apresentou problema (MESQUITA; REZENDE, 2007). As Misturas A, B e C, o solo e o fosfogesso, foram ambientalmente classificados como, pertencentes à Classe II-A - Não inerte e Classe II - Não Perigoso. Alguns componentes apresentaram valores superiores aos limites especificados pela NBR-10004 (ABNT, 2004). No entanto, esta constatação não impede o uso do fosfogesso, porque esses elementos podem ser característicos da rocha fosfática de origem. Na realização do levantamento radiométrico, constatou-se baixa emissão de irradiação dos materiais estudados. Assim, estas misturas não apresentam nenhum risco em sua utilização.

Rufo (2009), avaliando a possibilidade de aplicação de misturas de fosfogesso, solo e cal na pavimentação, obteve amostras em nove composições diferentes sendo elas: 90% solo de Catalão-GO + 10% fosfogesso (Mistura 1); 80% solo de Catalão-GO + 20% fosfogesso (Mistura 2); 70% solo de Catalão-GO + 30% fosfogesso (Mistura 3); 97% solo de Catalão-GO + 3% cal calcítica CHIII (Mistura 4); 94% solo de Catalão-GO + 6% cal calcítica CHIII (Mistura 5); 91% solo de Catalão-GO + 9% cal calcítica CHIII (Mistura 6); 81,9% solo de Catalão-GO + 9,1% fosfogesso + 9% cal calcítica CHIII (Mistura 7); 81,9% solo de Catalão-GO + 9,1% fosfogesso + 9% cal dolomítica (Mistura 8); 84,6% solo de Goiânia-GO + 9,4% Fosfogesso + 6% cal calcítica CHI (Mistura 9). Após análise em laboratório, pôde-se observar que, para o solo de Catalão-GO em termos de CBR, o valor determinado foi inferior a 20%. Neste caso, o solo poderia ser utilizado no máximo como reforço de subleito ou na construção de aterros em geral. Com relação às misturas de solo-fosfogesso, verificou-se que com os teores de 10% e 20% houve ganho de resistência do solo, sendo possível a utilização das misturas 1 e 2 em sub-base de pavimentos. Já para as misturas de solo-cal (Misturas 4, 5 e

6) os valores de CBR aumentaram com a adição de cal, possibilitando a sua utilização na confecção de camadas de sub-base de pavimentos, pois apresentam CBR acima de 20%. Já a Mistura 6 apresentou possibilidade de aplicação em bases de pavimento para vias de baixo volume de tráfego, por apresentar CBR superior a 60%.

### **3.3.2 Resíduos de construção e demolição**

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), também denominados de entulho, têm se tornado um dos alvos do meio técnico-científico, utilizando o mesmo como agregado para inúmeros usos. O resíduo de construção e demolição é um material heterogêneo com características variáveis, que dependem do tipo de obra, das técnicas construtivas, da fase da obra, das características socioeconômicas da região, entre outros fatores. A forma mais simples de reciclagem do entulho é a sua utilização em pavimentação (base, sub-base ou revestimento primário) na forma de brita corrida ou ainda em misturas do resíduo com solo (ZORDAN, 1997). A eficiência desta prática já comprovada cientificamente vem sendo confirmada pela utilização da mesma por diversas administrações municipais.

Apesar da Resolução CONAMA n° 307 de 2002 estabelecer as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, nota-se que na maioria dos municípios, a maior parte desse resíduo é depositado em bota-fora clandestino, e quando descartados em locais inadequados causam inúmeros problemas sócio-ambientais como: enchentes, o assoreamento de córregos e rios, o entupimento de redes de drenagem, os quais podem ser provocadas pela ocupação humana próximo as margens dos cursos d'água juntamente com a disposição de entulhos o pré-aterramento dessas áreas, provocando grandes conseqüências ao meio ambiente e a saúde humana (RESPLANDES, 2007).

Em 1984, foi pavimentada a primeira via de São Paulo empregando agregados reciclados de RCD com acompanhamento tecnológico da Prefeitura de São Paulo e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Esta via é caracterizada por um baixo volume de tráfego e teve as camadas de reforço do subleito e de sub-base construídas com agregados reciclados. Seu desempenho foi considerado altamente satisfatório na época. Em Belo Horizonte, os agregados reciclados vêm sendo utilizados desde 1996 na execução de revestimento primário, reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos. De 1996 até julho de 2001, foram utilizadas quase 137.000 toneladas de material em 271 vias implantadas ou reconstruídas, em um total de 400 km de ruas, aproximadamente. Na década de 90, deu-se início à instalação de usinas de reciclagem no Brasil, mas não havia normalização para o uso de agregados

reciclados em pavimentação. Assim, em março de 2002, a Prefeitura de São Paulo publicou sua própria especificação com o título de “Camadas de reforço do subleito, sub-base e base mista de pavimento com agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil” (MOTTA, 2009).

A aplicação nas camadas de base e sub-base de pavimentos é a utilização predominante para os agregados de RCD reciclados no Brasil e no exterior, pois são as aplicações que exigem dos agregados menor qualidade (exigência quanto a variabilidade). Assim, poucas especificações para os agregados são necessárias, propiciando o emprego do material com segurança (ÂNGULO; JOHN, 2004).

Motta (2005) encontrou bons valores de resistência para a utilização do agregado reciclado de resíduos da construção civil, sendo promissor como insumo na construção de bases e sub-bases e reforço do subleito de vias de baixo volume de tráfego, em substituição aos materiais convencionais. Em alguns ensaios como os de Módulo de Resiliência, os valores apresentaram-se maiores que o mínimo, e até acima do máximo no caso das misturas dos agregados reciclados com os aglomerantes.

Ribeiro (2006) avaliou em seu trabalho o comportamento estrutural de um pavimento executado utilizando o agregado reciclado na camada de base do mesmo no município de Goiânia – GO. Para essa avaliação, o autor realizou ensaios de campo do tipo viga Benkelman, prova de carga sobre placa, penetrômetro dinâmico de cone (DCP) e Pressiômetro Pencil em dois períodos distintos (abril/2005 e janeiro/2006). Os ensaios de deflexão utilizando a viga Benkelman mostraram um desempenho maior do pavimento para o ano de 2006. Com os resultados do ensaio de DCP, aliados à correlações, foram obtidos valores significativos de capacidade de suporte (CBR) variando entre 39,7% a 94,2% para condições saturadas, e de 43,1% a 99,3%, para condições não saturadas. Nos ensaios de prova de carga, foram observadas reduções dos deslocamentos medidos no ensaio de um período para outro, sendo estas mais significativa para as estacas situadas nos bordos do pavimento. Por fim, nos ensaios de pressiômetro Pencil o autor observou uma semelhança entre os módulos encontrados, verificando ainda a existência de anisotropia na camada de base e no subleito, devido à compactação.

Oliveira (2007) obteve valores de índice de suporte Califórnia e de módulo de resiliência correlacionáveis para utilização de agregados reciclados em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis. Nos ensaios de campo após dois anos da ação do tráfego sobre a pista experimental observou-se que a mesma não apresentou defeitos superficiais aparentes nem deformações que comprometessem a sua estrutura e funcionalidade, indicando

assim, serem os agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil, apropriados para o uso em bases e sub-bases de estruturas de pavimentos.

### 3.3.3 Resíduos cerâmicos

Existem ainda diversos resíduos sendo estudados para avaliar seu uso potencial como material granular alternativo em obras de pavimentação. Dentre eles pode-se citar o trabalho de Dias (2004), que avalia o emprego de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas em camadas de pavimentos de baixo custo, baseado em análises de laboratório, onde realizou a caracterização do objeto de estudo e o submeteu ainda aos ensaios empregados na pavimentação, como a metodologia tradicional, módulo de resiliente, deformação permanente entre outros. Os resultados dos ensaios de laboratório indicaram ser possível a aplicação deste material em misturas com solos lateríticos em camadas de pavimentos de baixo custo. Apontou ainda, um ganho expressivo no valor do módulo de resiliência, chegando a atingir 288% acima do módulo do agregado.

### 3.3.4 Cinzas de carvão mineral

Araújo (2008) destaca que um dos principais problemas ambientais causados por empreendimentos que utilizam o carvão mineral como fonte energética, é a produção de toneladas de cinzas no processo de geração de energia elétrica ou calorífera. Como sub-produto da queima de combustíveis naturais, as cinzas de caldeiras tornaram-se um problema para as empresas geradoras.

Para Machado<sup>3</sup> et al. (2004) citados por Araújo (2008), também verificando a potencialidade do uso desse resíduo na pavimentação, testaram a resistência de misturas de solo-cinza e o comportamento mecânico destas misturas compactadas, baseando sua metodologia nos ensaios de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Resistência a Compressão Simples (RCS). Foi verificado o ganho de resistência com o tempo de cura de diversos corpos-de-prova.

---

<sup>3</sup> MACHADO, L.A.; MEDEIROS, I.; HIGASHI, R.R.; LIMA, T. L.; SILVA, V.M.; SPRICIGO, T.; VEZZARO, L.C. *Resistance test in soil/bottom ash aiming its applicability in paving*. In: International Symposium on Pavement Recycling, 2005, São Paulo. Anais eletrônicos do International Symposium on Pavement Recycling [CD-ROM]. São Paulo, 2005. n.p.

### 3.3.5 Escórias de usinas siderúrgicas

A escória de aciaria é um excelente material de construção, principalmente quando utilizado como material granular para camadas de pavimento rodoviário, porém apresenta a propriedade de ser altamente expansiva quando não estabilizada. Raposo (2005) pode observar que a escória de aciaria deve sofrer algum tipo de tratamento com o objetivo de reduzir a expansão, podendo desta forma ser utilizada em bases e sub-bases de pavimentos. Nascimento (2003) pode verificar e comprovar a eficácia do tratamento da escória de aciaria com hidratação diária, identificando o tempo de tratamento que possa ser efetivo para a redução da expansibilidade volumétrica da escória até níveis adequados para uso em pavimentação. O estudo mostrou que a maioria das escórias de aciaria pode ter sua expansibilidade reduzida para valores menores que o limite definido pela norma vigente (3,0%), num período de aproximadamente 18 dias. O tempo de tratamento que proporciona segurança de cura da escória (expansibilidade < 2,0%) ocorre com 44 dias, considerando que as condições de ensaio em laboratório sejam reproduzidas no campo.

Estudando a utilização de escória de aciaria para utilização em pistas de passeio ciclístico, Peixoto e Pádula (2009) notaram que a escória, após estabilizada e processada industrialmente para segregação das frações metálica e não metálica, pode ser usada como agregado de concreto de cimento Portland. O uso da escória de aciaria como agregado para concreto do cimento Portland pode diminuir o custo em até 50% do preço do concreto usual. A construção de ciclovias com o uso de escória de aciaria certamente é uma grande aliada da sustentabilidade. Pois, por um lado tem-se o incentivo ao uso desse modo de transporte que não causa poluição e por outro tem-se o uso de rejeito na construção dessa via tão importante para a melhoria da mobilidade da população.

### 3.3.6 Resíduos de pedreira

Diversos autores vêm desenvolvendo estudos com o intuito de encontrar tecnologias que facilitem o aproveitamento dos finos de pedreiras. Com esses trabalhos esperam tanto reduzir os impactos ambientais ligados à sua destinação quanto promover um emprego economicamente rentável, ambientalmente correto e tecnicamente viável desse material (PISSATO; SOARES, 2006).

Rezende (1999) e Vale (1999) avaliaram a utilização do expurgo de uma pedreira do Distrito Federal na camada de base de um pavimento flexível. Foram feitos ensaios em



laboratório de caracterização, compactação, CBR, expansão e triaxial cíclico e este material foi utilizado num trecho experimental localizado na rodovia DF-205 Oeste. O uso do material mostrou-se bastante viável economicamente.

A utilização de finos de pedra agregado ao solo para ser usado nas camadas de base e sub-base tem alcançado igualmente um destaque no meio científico, visto a necessidade de se achar uma utilização viável para esse resíduo. Araújo (2008) e Luz (2008) estudaram a possibilidade de utilização de finos de pedreiras de micaxisto da região metropolitana de Goiânia em bases e sub-bases de pavimentos de baixo tráfego.

No estudo feito por Luz (2008), específico sobre a utilização do resíduo proveniente da lavagem da brita (fíler) em pavimentação, pode-se observar que:

- A utilização de solo-fíler como camada de base e sub-base em substituição aos materiais tradicionais, apresentou respostas de comportamento mecânico adequadas para a aplicação em pavimentação, de acordo com as normas do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Isto é muito interessante sob o ponto de vista ambiental, já que jazidas naturais de cascalho para aplicação em pavimentação estão cada vez mais escassas e com implicância de impactos ambientais sem precedentes sob o ponto de vista da sustentabilidade;
- Outro aspecto importante é que a utilização do fíler faz com que a problemática de seu acúmulo diminua e conseqüentemente sejam mitigados os passivos de seu armazenamento.

Já Araújo (2008) verificou que o resíduo de pedra, aqui denominado de pó de micaxisto, consiste naquele em que durante o processo de extração não se faz a lavagem para a retirada dos finos (fíler). Ele possui viabilidade técnica para ser utilizado na estrutura de pavimentos flexíveis. Foi observado o ganho de resistência quando do acréscimo desse resíduo ao solo tropical fino estudado. Dentre as porcentagens de resíduo estudado, a dosagem de pó de micaxisto que apresentou melhor desempenho foi de 20%, sendo esta a proporção empregada na confecção da base do sub-trecho executado com esse material. Contudo, sabendo que a dosagem de 30% também oferece condições mecânicas para ser empregada na execução de sub-base, sobre o aspecto ambiental essa combinação de dosagens torna-se mais eficiente, absorvendo um volume maior desse resíduo.

Pesquisa semelhante foi desenvolvido por Batalione (2007), onde o mesmo realizou um estudo sobre a utilização de rejeitos finos de uma pedra de granito nas dosagens de 15%, 25% e 35%, a quatro solos tropicais da região noroeste do estado de Goiás, visando a estabilização desses solos por meio do emprego desse rejeito. Finalizando, nos ensaios de campo o autor afirma que com a adição de 15% do rejeito ao solo nas

camadas do pavimento não gerou danos à sua estrutura, comprovando com isso a possibilidade do seu emprego na pavimentação.

### 3.4 MONITORAMENTO PÓS-CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS

Os pavimentos são estruturas que em geral não apresentam ruptura súbita, mas sim deterioração funcional e estrutural acumuladas a partir de sua abertura ao tráfego. A parcela estrutural é associada aos danos ligados à capacidade de carga do pavimento. A avaliação de pavimentos tem como conceitos associados: serventia, desempenho, gerência, restauração, manutenção, reforço e reconstrução (BERNUCCI et al., 2006).

A avaliação estrutural de um pavimento pode ser feita por métodos do tipo: destrutivo, semi-destrutivo ou não-destrutivo. Um método destrutivo é aquele que investiga a condição estrutural de cada camada que compõe o pavimento por abertura de trincheiras ou poços de sondagem, permitindo recolher amostras de cada material até o subleito e realizar ensaios de capacidade de carga *in situ*. Um método semi-destrutivo é aquele que se vale de aberturas menores de janelas no pavimento que permitam utilizar um instrumento portátil de pequenas dimensões para avaliar a capacidade de carga de um pavimento, tal como o uso de cones dinâmicos de penetração.

A avaliação mais adequada para ser feita em grandes extensões de pistas e com possibilidade de inúmeras repetições no mesmo ponto, de forma a acompanhar a variação da capacidade de carga com o tempo, é a que lança mão de medidas não-destrutivas, representadas por medidas de deflexão. De acordo com Bernucci et al. (2006), os equipamentos utilizados em avaliações não-destrutivas (*nondestructive deflection testing-NDT*) podem ser divididos em:

- Carregamento quase-estático: ensaio de placa e viga Benkelman, por exemplo;
- Carregamento vibratório: dynaflect, por exemplo;
- Carregamento por impacto: *falling weight deflectometer (FWD)*.

Neste item serão descritos com maior detalhe os ensaios que foram utilizados para o monitoramento do trecho experimental estudado nesta pesquisa. Os ensaios de campo foram: Prova de Carga Sobre Placa, Viga Benkelman e Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP).

### 3.4.1 Viga Benkelman

A utilização de equipamentos deflectométricos na avaliação estrutural de pavimentos teve início na década de 60 com a viga Benkelman. A partir de então, a viga tornou-se uma valiosa ferramenta para avaliação estrutural

O ensaio de viga Benkelman permite avaliar as deflexões no pavimento, sendo estas deflexões entendidas como os deslocamentos verticais que ocorrem no pavimento sob condições de tráfego (REZENDE, 1999).

O ensaio da viga Benkelman normalizado pela ME 024 (DNER, 1994) consiste na determinação das bacias de deflexões de uma camada do pavimento pelo efeito da movimentação de um veículo com carga padrão de 8,2 toneladas por eixo traseiro. Após diversas leituras realizadas com um extensômetro preso a uma extremidade da viga, em distâncias fixadas que vão de 25 cm até no máximo 10 metros, calcula-se as bacias de deflexões e os raios de curvaturas do pavimento analisado.

Segundo Macedo (2003), durante a utilização da viga Benkelman é necessário adotar medidas para eliminar situações que provoquem distorções no levantamento deflectométricos. Assim, deve se proceder da seguinte maneira:

- Verificar, pela manhã, a pressão dos pneus;
- Ao lastrear o caminhão, faze-lo com material seco e distribuí-lo em toda a área da caçamba ou carroceria. Cobri-lo permanentemente com lona;
- Verificar semanalmente a carga no eixo traseiro;
- Aferir a viga, no início das obras;
- Atentar para que o cursor do extensômetro funcione livremente.

As leituras da viga são influenciadas por alguns fatores tais como condições ambientais, formas de operação do ensaio e condições de aplicação do carregamento. A baixa velocidade de aplicação do carregamento influencia na resposta viscoelástica da camada de asfalto. Assim sendo, qualquer variação no tempo de aplicação do carregamento pode alterar de forma significativa os resultados, principalmente nos dias mais quentes (RODRIGUES<sup>4</sup>, 1995 *apud* REZENDE, 2003).

---

<sup>4</sup> RODRIGUES, R.M. (1995). **Projeto e Gerência de Pavimentos**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, Divisão de Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica, São José dos Campos, SP.

### 3.4.2 Prova de Carga sobre Placa

De acordo com Rezende (2003) e Resplandes (2007) os ensaios com prova de carga sobre placa são realizados sobre uma placa e tem por objetivo principal a determinação do comportamento da relação tensão versus deformação. As cargas aplicadas produzem pequenos recalques que representam parcelas do recalque elástico e parcelas devido a um aumento na massa específica do solo, pois as provas de carga para fins rodoviários raramente atingem recalques que possam ser atribuídos à plastificação do solo.

Rezende (2003) descreve que a carga pode ser aplicada em campo pela reação de um caminhão carregado ou pela reação de uma cargueira. De acordo com Quintanilha (2008), o ensaio dá-se de forma a colocar uma placa com diâmetro conhecido, que irá distribuir a pressão do carregamento. Entre a placa e o sistema de carregamento insere-se um macaco hidráulico que tem a função de controlar a aplicação das tensões. Este controle é, geralmente, realizado por meio de um manômetro calibrado. Uma outra alternativa mais precisa para a leitura do carregamento é o uso de uma célula de carga colocada entre o macaco e o sistema de reação, ou entre o macaco e a placa. As deformações são medidas através da colocação de, no mínimo, três deflectômetros, sobre a placa. A tensão máxima aplicada é de 50kN, com intervalos de 5 e 10kN a cada 5 minutos. O resultado consiste em uma curva tensão versus deslocamento para uma pressão de 560 kPa (pressão padrão exercida pelos pneus dos veículos rolando sobre a superfície do pavimento).

### 3.4.3 *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*

De acordo com Roy (2007), o teste de DCP emergiu como um meio simples, mas efetivo para caracterizar o comportamento dos materiais granulares utilizados em camadas de pavimentos. O equipamento que é utilizado é uma versão semelhante ao que se utiliza em investigações geotécnicas. Primeiramente utilizou-se o DCP para investigações simples em camadas de pavimentos, percorrendo um longo caminho desde o seu início para ganhar aceitação mundial, o que ocorreu com Kleyn após 1975 na África do Sul. Os resultados encontrados a partir do uso do equipamento permitem analisar a seção do pavimento, mostrando como se encontra distribuídas as camadas ao longo da seção. A partir dos resultados gerados pelo índice de penetração (DN), é possível estimar ou mesmo correlacionar os valores de CBR e MR (módulos de resiliência). Este mesmo autor apresenta uma série de correlações diferentes das que iremos utilizar neste trabalho para a estimativa de CBR.

Como método alternativo para a avaliação da capacidade de suporte de solos, tanto na condição de subleito e corpos de aterro, quanto compondo camadas estruturais de pavimentos, destaca-se o ensaio de DCP pela sua agilidade e simplicidade de operação, garantindo a obtenção de perfis de resistência confiáveis, de forma rápida e com custos reduzidos (CARVALHO; VARTAMATTI, 2009).

O DCP é um instrumento que permite realizar ensaios de penetração dinâmica em estruturas de pavimentos cujas camadas são de materiais levemente cimentados, materiais granulares ou solos. Consiste, geralmente, em uma barra de aço de 16 mm de diâmetro, sendo que em sua extremidade há um cone de aço fixo com ângulo de 60° e 20 mm de diâmetro. Faz parte também do equipamento, um martelo de aço com peso de 8 kg, que ao deslizar por uma barra de 25 mm de diâmetro e uma altura de queda de 575 mm, introduz a barra de 16 mm juntamente com o cone no solo (TERTULIANO<sup>5</sup> *et al.*, 2007 apud LUZ, 2008).

O princípio de seu funcionamento consiste na penetração de uma haste, com a ponta em forma de cone, sob a ação de uma massa fixa que cai de uma altura também fixa (REZENDE, 2003).

Existem diversos métodos para avaliar a condição estrutural de um pavimento, entretanto, a maioria necessita de equipamentos caros que, de forma geral, inviabilizam a sua aplicação na maioria das prefeituras municipais brasileiras. A utilização do DCP apresenta inúmeras vantagens, por ser um equipamento simples que apresenta grande mobilidade e oferece resultados a baixos custos de aquisição e operação. Diversas instituições têm utilizado o DCP, tendo inclusive estabelecido correlações entre CBR e DCP, tanto em laboratório como *in situ*, utilizando cones de penetração de 30° e 60°, para solos e materiais granulares. Dentre elas destacam-se o *Transvaal Roads Department*, da África do Sul e o *Transport and Road Research Laboratory*, da Inglaterra (OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Existem diversos tipos de equipamentos que se diferenciam pela energia imposta durante a cravação. O mais utilizado no Brasil é formado por uma haste de 195,0 cm de comprimento, 16 mm de diâmetro e com uma extremidade pontiaguda em forma de cone a 60° com 20 mm de diâmetro. A penetração no solo ocorre por meio de golpes sucessivos através da queda de um peso de 8 kg deslizando ao longo da haste a partir de uma altura constante de 57,5 cm. Durante o ensaio, é medido o comprimento que a barra penetra no solo para um determinado número de golpes e obtém-se um gráfico que relaciona a profundidade com o número de golpes acumulados conhecido como curva DCP. Através desta curva,

---

<sup>5</sup> TERTULIANO, D.C.; OLIVEIRA, E.N.; ANDRADE, E. (2007). Aproveitamento de resíduos de britagem na pavimentação rodoviária. Trabalho Final de Curso. Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO. 81p.

determina-se o chamado índice de penetração (DN) que corresponde à declividade das retas existentes no gráfico; a declividade das retas representa o índice de penetração DN em mm/golpe, o qual é obtido por meio da razão entre a profundidade e o número de golpes necessários para penetrar até a respectiva profundidade (OLIVEIRA, 2007).

Uma vantagem da utilização deste ensaio é a possibilidade de investigar o subleito de forma econômica, pois não requer grandes escavações ou perfurações, e em consequência, interfere muito pouco no fluxo de trânsito veicular. Pode ser caracterizado, logo, como um ensaio semi-destrutivo (QUINTANILHA, 2008).

### 3.5 CARACTERÍSTICAS DO TRECHO EXPERIMENTAL ESTUDADO

Nesta pesquisa, um dos objetivos foi realizar o monitoramento pós-construção de uma pista experimental existente no município de Goiânia que foi construída com quatro tipos de materiais, sendo eles: solo + filer de pedra, solo + brita 1, cascalho laterítico e solo + pó de micaxisto.

A pista foi construída entre os meses de julho e agosto de 2007. O trecho do pavimentado está localizado na Rua Amélia Rosa, coordenadas  $16^{\circ} 37' 33,58''$  S e  $49^{\circ} 11' 50,75''$  W, bairro Sítio de Recreio Ipê, situado na região nordeste de Goiânia e possuindo uma extensão de 600 metros (Figura 3.4). Os aspectos construtivos foram determinados por Araújo (2008) e Luz (2008).



Figura 3.4 – Trecho experimental: (a) Mapa com a localização (ARAÚJO, 2008).

Ainda de acordo com Araújo (2008) e Luz (2008), com os resultados obtidos em laboratório, foram definidos os materiais e as condições de aplicação dos mesmos na pista. Com estes dados e conhecendo-se o tráfego atual da via (N) igual a  $5 \times 10^6$ , foi realizado o dimensionamento do pavimento utilizando-se os métodos do extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), atualmente denominado de Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT). Os métodos utilizados foram: método do DNER e método da Resiliência. A seção definida no dimensionamento está apresentada na Figura 3.5. Pelos métodos de dimensionamento, a espessura mínima adotada para o revestimento de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é 5 cm. No entanto, por uma questão executiva adotada pelo órgão que executou a obra, foi considerada uma espessura de 3 cm para o revestimento.

A construção desse trecho experimental foi realizada pela atual Agência Municipal de Obras (AMOB), extinto Departamento de Estradas de Rodagem do Município de Goiânia (DERMU). O laboratório do AMOB também forneceu os resultados do ensaio de CBR realizados com o material do subleito, sendo que o valor adotado para o projeto foi de 9,0%.

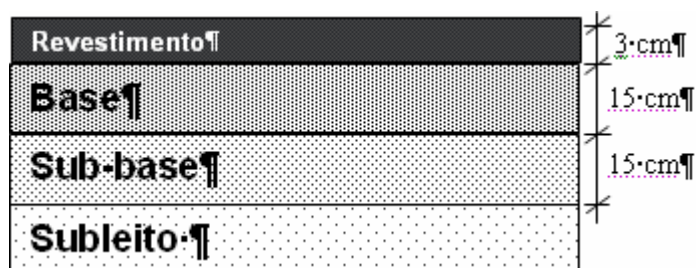


Figura 3.5 – Seção transversal do trecho experimental. (ARAÚJO, 2008)

O pavimento é composto por 4 subtrechos, sendo que as suas características são descritas no Quadro 1:

Quadro 1 – Características dos materiais utilizados no Trecho Experimental

Sub-Trecho	Base	Sub-base	Energia de compactação
Solo+fíler	30% fíler + 70% solo	20%fíler+ 80%solo	Modificada
Solo+brita 1	30%brita + 70%solo	30%brita + 70%solo	Modificada
Cascalho laterítico	100% cascalho	100% cascalho	Intermediária
Solo + pó de micaxisto	20% micaxisto+ 80%solo	30% micaxisto+70%solo	Base modificada e sub-base intermediária

De acordo com Luz (2008), o trecho experimental não contou com qualquer tipo de dispositivo de drenagem. Isto ocorreu por falta de disponibilidade de recursos por parte do órgão executor da obra o AMOB. A Figura 3.6, demonstra a pista com os 4 sub-trechos.

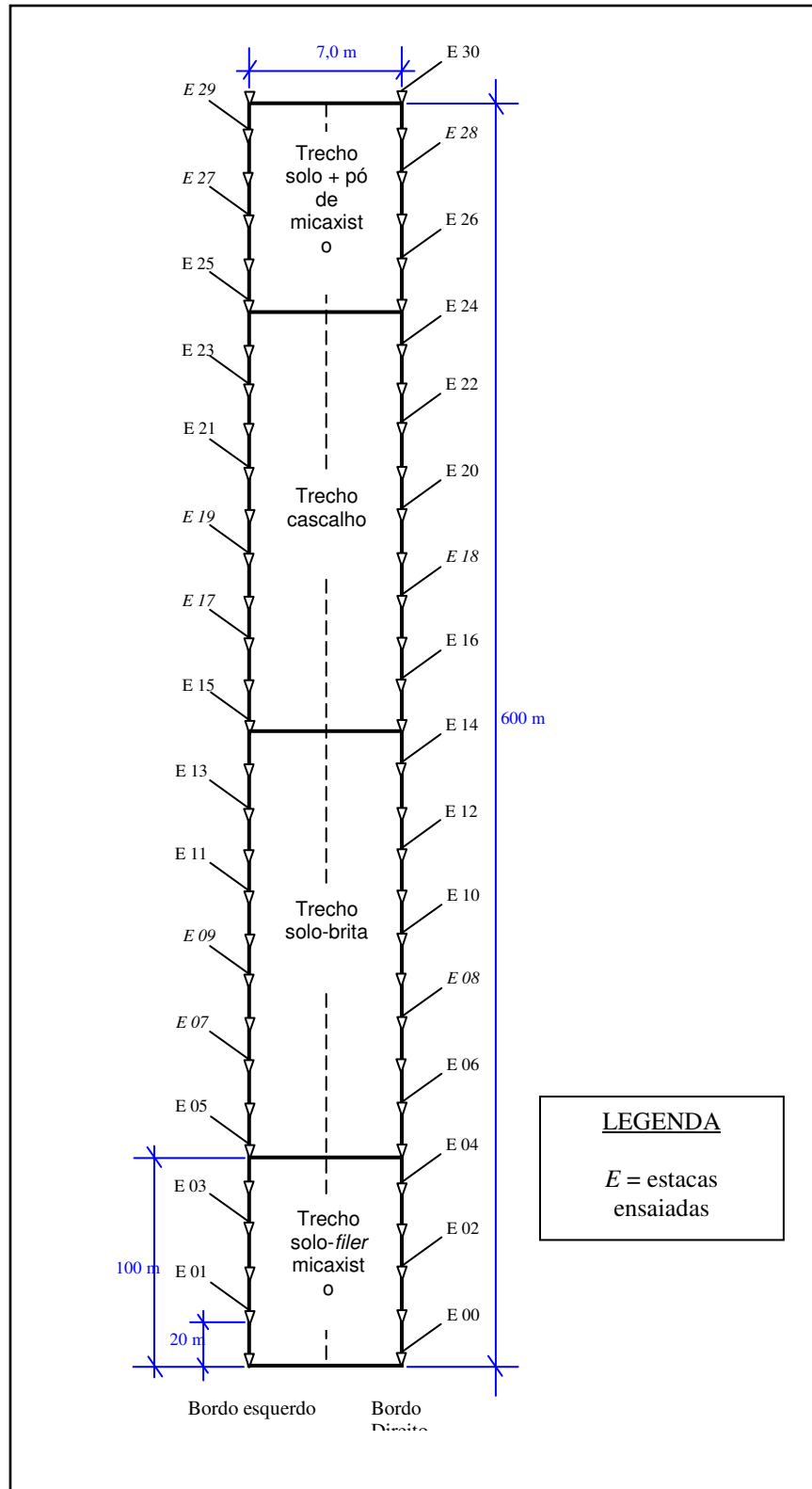


Figura 3.6 – Trecho experimental em planta, localizando os sub-trechos e as estacas para ensaio. (ARAÚJO, 2008).



A seqüência de execução dos sub-trechos se deu em função de alguns aspectos, sendo eles:

- 1 – Para o sub-trecho solo-fíler, a localização se deu em função da disponibilidade imediata e do transporte do produto, bem como, ações de divulgação pela AMOB de parceria para a construção de um sub-trecho local com material alternativo;
- 2 – Imediatamente após a construção do primeiro sub-trecho a execução se deu em função da disponibilidade do material na obra;
- 3 – No sub-trecho cascalho laterítico, ocorreu certo atraso em função da liberação da licença ambiental para a exploração da jazida pelo órgão ambiental competente;
- 4 – Para o sub-trecho solo-pó de micaxisto, a execução do mesmo deu-se em função da disponibilidade do material pela pedreira da AMOB, e conseqüentemente sendo o último a ser executado em campo.

### **3.6 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS ESTUDADOS NO TRECHO EXPERIMENTAL**

De acordo com Araújo (2008) o pó de micaxisto (amostra 1) enquadra-se na classe das areias pedregulhosas, contendo mais de 95 % de suas partículas retidas na peneira nº 200. Para o solo estudado, é possível afirmar que o mesmo enquadra-se na faixa de uma areia argilo-siltosa. A amostra contendo 20% pó de micaxisto+80% solo (amostra 2) apresenta comportamento similar ao do solo puro, também sendo caracterizada como uma areia argilo-siltosa. Para a mistura contendo 30% pó de micaxisto+70% solo (amostra 3) é possível observar uma mudança significativa para as porcentagens de areia e silte, correspondendo, dessa forma, a uma areia silto-argilosa. O cascalho estudado foi identificado como um pedregulho arenoso com baixo teor de finos. A mistura contendo 30% brita 1+70% foi definida como uma areia pedregulhosa argilosa. Para o solo (amostra 4) estudado foi possível observar que o mesmo enquadrou-se na faixa de uma areia argilo-siltosa. Já Luz (2008) determinou que tanto o fíler como as misturas apresentaram características areno siltosas

As Figuras 3.7, 3.8 e 3.9 demonstram as curvas granulométricas dos materiais caracterizados com e sem defloculante para o pó de micaxisto, fíler, solo e misturas.

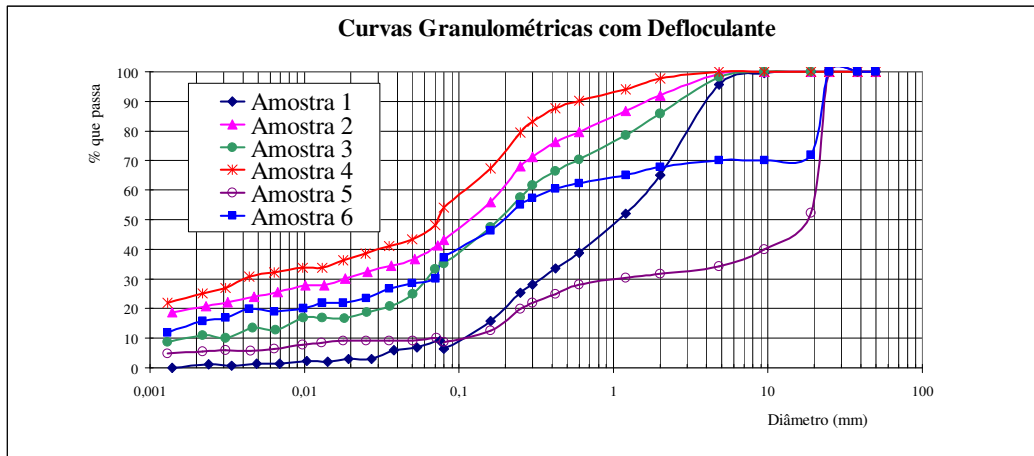


Figura 3.7 - Curvas granulométricas das amostras estudadas, com uso de defloculante (ARAÚJO, 2008).

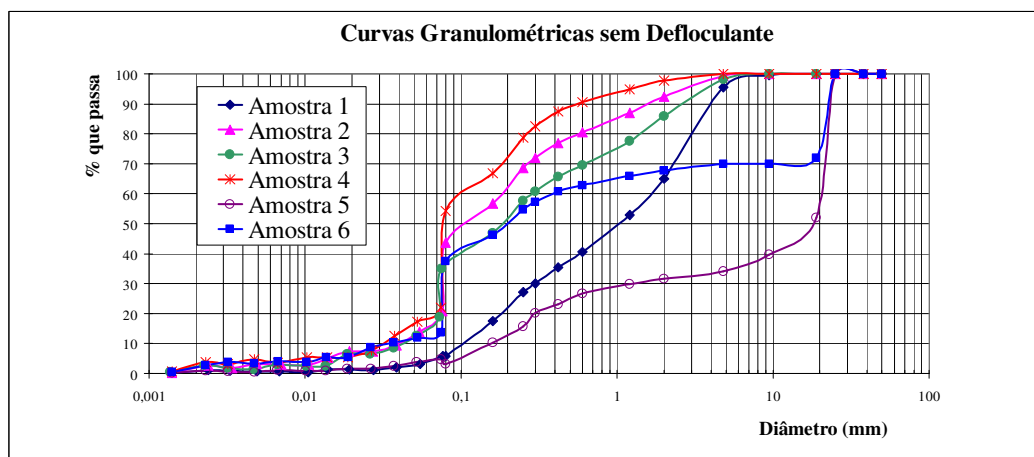


Figura 3.8 - Curvas granulométricas das amostras estudadas, sem uso de defloculante (ARAÚJO, 2008).

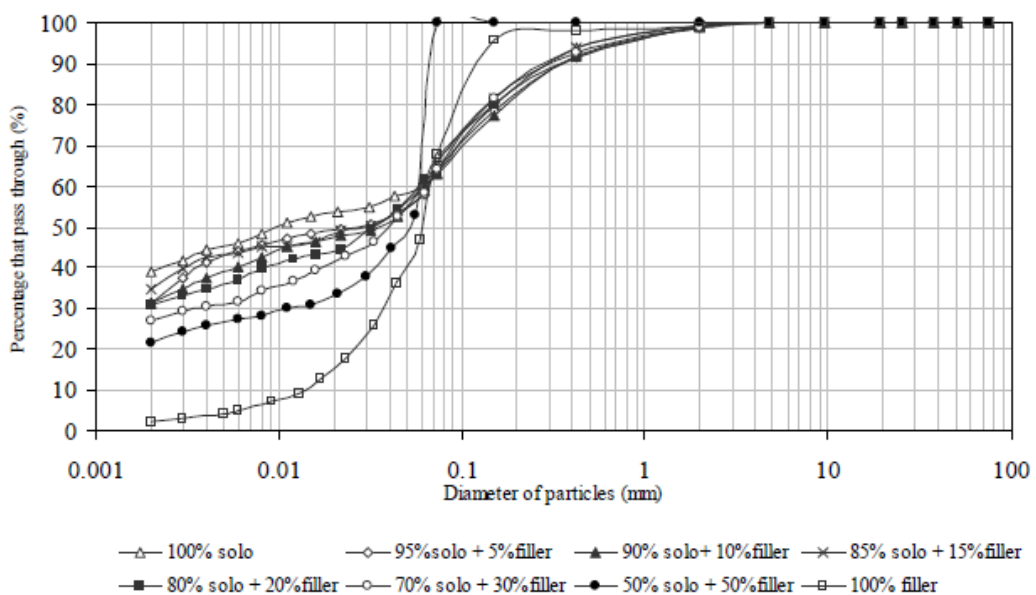


Figura 3.9 – Curva granulométrica das misturas, solo e fíler (LUZ, 2008)

A Tabela 3.1 apresenta os resultados obtidos para massa específicas dos grãos, a Tabela 3.2 demonstra os resultados dos limites de consistência, a Tabela 3.3 apresenta a classificação SUCS e TRB. Já a Tabela 3.4 apresenta os valores do ensaio de compactação e a Tabela 3.5 demonstram os resultados de expansão e CBR.

Tabela 3.1 - Resultados do ensaio de massa específica dos grãos (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008)

Propriedade	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	20% filler+ 80% solo	30% filler+ 70% solo
$\rho_{g/cm^3}$	2,741	2,798	2,776	2,825	2,968	2,817	2,83	2,80

Obs:  $\rho$  = massa específica dos grãos.

Tabela 3.2 - Resultados dos ensaios de limite de consistência (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008)

Propriedades	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	20% filler+ 80% solo	30% filler+ 70% solo
$w_L(\%)$	-	29,6	29,1	34,3	38,1	33,1	37	35
$w_P(\%)$	-	21,2	22,8	26,3	31,7	25,7	23	22
IP (%)	NP	8,4	6,3	8,0	7,1	7,4	14	13

Obs:  $w_L$  = Limite de liquidez;  $w_P$  = Limite de plasticidade; IP = Índice de plasticidade

Tabela 3.3 – Classificação segundo SUCS e TRB das amostras estudadas (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008)

Classificação	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6	20% filler+ 80% solo	30% filler+ 70% solo
TRB	A-3	A-4	A-4	A-4	A-1-a	A-4	A-6	A-6
SUCS	SW	SC	SM	ML	GP	SC	ML	ML

Tabela 3.4 – Resultados encontrados no ensaio de compactação (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008)

AMOSTRA	E. intermediária		E. modificada	
	w <sub>ot</sub> (%)	γ <sub>dmax</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	w <sub>ot</sub> (%)	γ <sub>dmax</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
Amostra 1 (resíduo de pedra)	-	-	-	-
Amostra 2 (20% resíduo + 70% solo)	15,0	17,8	15,4	18,6
Amostra 3 (30% resíduo + 70% solo)	15,4	18,5	13,5	18,8
Amostra 4 (solo)	18,8	17,4	17,7	18,4
Amostra 5 (cascalho)	9,8	19,8	10,5	19,6
Amostra 6 (30% brita 1 + 70% solo)	16,0	18,3	16,7	19,1
20% fíler+80% solo	16,5	18,03	15,3	18,9
30% fíler+70% solo	16,5	17,9	14,8	18,75

Obs: w<sub>ot</sub> = umidade ótima; γ<sub>dmax</sub> = peso específico aparente seco máximo

Tabela 3.5 – Resultados encontrados nos ensaios de expansão e CBR (LUZ, 2008; ARAÚJO, 2008)

AMOSTRA	E. intermediária		E. modificada	
	Expansão (%)	CBR (%)	Expansão (%)	CBR (%)
Amostra 1 (resíduo de pedra)	-	-	-	-
Amostra 2 (20% resíduo + 70% solo)	0,02	40,0	0,03	52,9
Amostra 3 (30% resíduo + 70% solo)	0,03	26,5	0,03	42,7
Amostra 4 (solo)	0,02	17,4	0,02	32,5
Amostra 5 (cascalho)	0,01	49,3	0,01	62,3
Amostra 6 (30% brita 1 + 70% solo)	0,02	45,3	0,02	56,2
20%fíler+80%solo	-	42,0	-	50,0
30%fíler+80%solo	-	30,5	-	60,0

Obs: CBR = *California Bearing Ratio*

## CAPÍTULO 4

### ECONOMIA E ESTIMATIVA DE CUSTOS

Na história humana, o fator limitante para o desenvolvimento tem sido predominantemente material. O principal problema ainda é o desenvolvimento econômico, isto é, só com a superação desse fator limitante é que o homem poderá entrar numa nova fase de sua evolução. Nessa luta, a engenharia sempre procura uma solução tentando controlar e dirigir as forças físicas e materiais da natureza, em benefício do homem, sendo necessária considerar a economia para o estudo dos aspectos sociais de produção e distribuição. Portanto, a engenharia busca a eficiência tecnológica e a econômica procura a eficiência econômica (TOLEDO JÚNIOR, 2007), sendo indispensável que as duas linhas trabalhem em conjunto.

#### 4.1 VIABILIDADE ECONÔMICA

Viabilidade econômica é definida como um conjunto de técnicas, que permite a comparação entre resultados obtidos nas alternativas possíveis de solução de um problema possibilitando a tomada de decisões de maneira científica (TOLEDO JÚNIOR, 2007).

Hirschfeld (2000) define estudo de viabilidade econômica de um empreendimento como sendo o exame de um projeto a ser executado, a fim de se verificar sua justificativa tomando-se em consideração os aspectos jurídicos, administrativos, comerciais, técnicos e financeiros.

A análise de investimentos consiste em coletar as informações e aplicar técnicas de engenharia econômica, considerando as taxas de custos de empreendimentos. A análise de viabilidade está relacionada especificamente ao estudo de uma nova construção e versa sobre a comparação entre receitas e despesas de obra considerando o tempo decorrido. Se os resultados apontam benefícios, o processo pode prosseguir; caso contrário, o projeto deve ser reajustado (COSTA NETO; BRIM JÚNIOR; AMORIM, 2003).

Parte-se do pressuposto de que a viabilização de qualquer negócio começa sempre pelos aspectos econômicos. Dentre as várias oportunidades, existe sempre a possibilidade de se identificar a mais atraente para escolher a melhor – um empreendimento pelo qual se possa cobrar um bom preço, receber rápido e que custe pouco. Tudo dentro de estimativas realistas de venda e levantamento de custos confiáveis. O que se busca inicialmente é basicamente o lucro, o benefício projetado para o futuro e alguma garantia de que ele será realmente obtido,

onde o preço deverá ser maior do que o custo, e as receitas, ou entradas, deverão ser maiores que os gastos ou saídas (COSTA NETO; BRIM JÚNIOR; AMORIM, 2003).

Em estudos de viabilidade econômica, a elaboração do projeto é a ação preparatória para a busca de antever fatos, prever cenários e criar modelos de ação, caracterizado por conter informações agrupadas racionalmente, unindo dados antecedentes e previsões que permitam conhecer e estimar resultados futuros, com subsídios não só para solucionar problemas, como também para decidir sobre o investimento de recursos em atividade econômicas (CASTRO, 2002)

De acordo com Lima Júnior (1993), a decisão de fazer um empreendimento deve estar norteada em medidas de qualidade que possibilitem a caracterização deste através de modelos capazes de simular sua evolução. Já Machion (2006) destaca que cabe ao planejador zelar para que as distorções não assumam proporções que possam causar dúvidas associadas às informações extraídas do modelo a ponto de inviabilizar a tomada de decisão. Isto não significa que os modelos devam ser extremamente detalhados, pois quanto maior o nível de detalhamento, maior será a quantidade de informações necessárias à construção do cenário que, numa situação limite, pode inviabilizar a utilização do modelo para tomada de decisão.

De acordo com Baudson (2008), a avaliação econômica de projetos de investimentos tem por finalidade prover critérios objetivos para a tomada de decisão, baseados numa análise ampla dos seguintes aspectos:

- técnicos: análise da localização do empreendimento, das necessidades de infra-estrutura, dos recursos materiais, de mão de obra, de produção, tecnológicos, entre outros com o intuito de se concluir sobre os possíveis custos necessários ao investimento e a operação do empreendimento;
- econômicos: análise, com base nas projeções do fluxo de caixa (receita/custos), dos resultados econômicos referentes à liquidez, à rentabilidade e aos riscos do projeto;
- financeiros: análise dos recursos disponíveis para serem aplicados nos projetos, buscando-se o equilíbrio na utilização do capital próprio e de terceiros, ou seja, entre o capital próprio e os empréstimos realizados junto às instituições financeiras;
- de risco: análise das possíveis conseqüências das decisões dos investimentos e financiamentos a serem realizados no projeto, de forma a se obter uma maior compreensão dos riscos envolvidos e um maior segurança na tomada de decisão;
- intangíveis: análise de fatores não quantificáveis, tais como: instabilidade política, regras econômicas claras, opinião pública, impactos ambientais.

Segundo Contador (2000), a decisão sobre a viabilidade de um projeto demanda a utilização de critérios e regras para que este projeto possa ser aceito, ou, no caso de comparação entre alternativas, além de aceitos, possam ser ordenados por preferência. Não há, porém, um critério único, aceito por empresários, acionistas, órgãos e instituições de financiamento e pelo meio acadêmico.

Souza e Clemente (2004) consideram o projeto de investimento como um esforço a ser realizado para elevar o nível de informação (conhecimento) a respeito de todos os fatores desejáveis e indesejáveis, de maneira a diminuir o nível de risco do empreendimento.

Em qualquer estudo de um projeto particular de engenharia, surge mais de uma alternativa tecnicamente viável. Uma análise econômica tornar-se-á necessária para avaliar e determinar qual dos métodos alternativos de execução é o mais viável. Os projetos devem ser avaliados com base em seus fluxos monetários, tais fluxos devem ser descontados de maneira a atribuir-se um valor maior a produção obtida no princípio da vida do projeto, de que obtidas em etapas posteriores e as despesas que se efetuarem mais cedo na vida do projeto, devem ser consideradas menos desejáveis que as posteriores. A avaliação de um projeto deve ser feita em termos da melhor alternativa e não em termos absolutos. Os projetos devem ser formulados do cotejo de diversas alternativas, até que tenham sido esgotadas todas as opções promissoras imagináveis (TOLEDO JÚNIOR, 2007).

A verificação da rentabilidade de um determinado projeto é utilizada diferentes métodos de avaliação, sendo que estes tendem a focar, objetivamente a tomada de decisões por parte do investidor. Nos estudos de viabilidade econômica são utilizadas técnicas de engenharia econômica fundamentada na matemática financeira. Além disso, para a utilização dos métodos de avaliação dos projetos que envolvam cálculos trabalhosos e repetitivos, é desejável a aplicação de planilhas eletrônicas ou aplicativos específicos de forma a automatizar o processo envolvido (BAUDSON, 2008).

A grande maioria dos negócios de construção civil exige o investimento de capital, embora o preço seja, via de regra, superior aos custos, a receita entra no caixa bem depois da necessidade de pagamento de despesas. Contratos de prestação de serviços de construção civil por empreitada e incorporações imobiliárias quase sempre exigem que se coloque antecipadamente uma quantidade de recursos para alavancar a sua produção. Em suma, quando a decisão de investir está baseada na disponibilidade de recursos, com objetivo de se obter equilíbrio das entradas e saídas, levando-se em conta os saldos a cada momento (fluxo de caixa), trata-se de viabilização financeira (LIMA JÚNIOR, 1995).

## 4.2 VIABILIDADE ECONÔMICA E ESTIMATIVA DE CUSTOS NA PAVIMENTAÇÃO

A decisão de se construir e pavimentar uma via terrestre é obtida a partir da comparação entre os investimentos necessários à sua execução e os benefícios por eles gerados. Basicamente, os dados de custo utilizados são os custos decorrentes da construção, o custo de operação e tempo de viagem e o custo de conservação. Tecnicamente, uma via pode ser executada com diversos tipos de materiais. Contudo, deve-se escolher a alternativa técnica que apresente os menores custos, onde devido à escassez de recursos, tem-se que otimizar através da análise de alternativas atendendo a aspectos técnicos econômicos, financeiros, sociais, políticos e ambientais (ALVARENGA, 2001).

Villibor et al. (2000) afirmam que o grande déficit de pavimentos urbanos associados à falta de recursos financeiros levou a adoção por parte de algumas prefeituras de todo o país de pavimentos alternativos com custos inferiores aos tradicionalmente empregados. Para o estudo econômico de implantação de diversos tipos de pavimentos, utilizando-se bases convencionais constituídas por materiais pétreos e bases de solo lateríticos *in natura* e ou misturas com agregados, consideraram os seguintes itens:

- abertura de caixa;
- melhoria e preparo do subleito;
- execução de uma camada de reforço do subleito, com solo selecionado, na espessura de 15,0 cm;
- transporte do reforço numa distância de 5 km;
- camada de base, na espessura de 15,0 cm;
- imprimadura e impermeabilizante e
- revestimento asfáltico, podendo ser Tratamento Superficial Duplo (TSD), tratamento Superficial Triplo (TST), Macadame Betuminoso (MB) ou Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

Villibor et al. (2000) observaram que o custo de implantação de um pavimento convencional com base de macadame hidráulico e TSD é mais do que o dobro do custo de um pavimento alternativo com base de Solo Argiloso Fino Laterítico (SAFL) e TSD. Para revestimentos mais nobres e espessos, com os mesmos tipos de bases mencionadas anteriormente, a diferença de custos também é bastante significativa. Estes mesmos autores concluíram que a adoção de pavimentos com solos lateríticos para vias de tráfego muito leve é



extremamente interessante e vantajosa, o que proporciona executar praticamente o dobro da área pavimentada com os mesmos recursos financeiros, quando da substituição de bases convencionais por bases com solos lateríticos.

Para fins de programação das obras de pavimentação, integrando o projeto executivo correspondente, deve-se dispor de uma estimativa de custos das obras, estabelecida dentro de um nível de precisão compatível. Contudo, existem diversas fases definidas: primeiramente devem ser detectados os problemas específicos que envolvem a obra e que se refletirão na estrutura dos estudos a serem compostos; em seguida, serão então elaboradas listagens de equipamentos, materiais e mão-de-obra que serão utilizados na composição dos custos unitários dos serviços, bem como constituídas as equipes para os serviços mecanizados (DNIT, 2006).

Ainda de acordo com o DNIT (2006), os custos envolvidos em obras de pavimentação podem ser: diretos e indiretos. Os custos diretos dizem respeito à remuneração dos fatores que podem ser diretamente atribuídos à execução de um determinado serviço. Compreendem assim, os custos referentes à utilização de equipamentos e de materiais a serem incorporados às obras. Já os custos indiretos decorrem da estrutura da obra (e da Empresa), não podendo ser diretamente atribuídos a execução de determinado serviço, onde envolvem as seguintes parcelas: mobilização de equipamento, corresponde ao transporte do equipamento até o canteiro da obra (geralmente, entre 2,0% a 2,5% de custo direto de construção) e administração.

Lopes, Machado e Sousa (2002) estimaram o custo de estradas construídas em florestas plantadas na região Sudeste. Com este estudo pode-se verificar que os custos estão relacionados principalmente nas atividades envolvidas com: construção, levantamento topográfico; limpeza e terraplanagem; drenagem; e pavimentação (revestimento primário ou asfáltico). Com base nas atividades que fazem parte da construção tem-se: levantamento topográfico, limpeza e terraplanagem da faixa estradal, drenagem e pavimentação. A variação nos valores de custos de construção ocorreu, principalmente, em função do greide, da largura e do tipo de revestimento da pista de rolamento. Nas estradas com pista dupla e pavimentação asfáltica, este tipo de revestimento representou 90,8%, 89,3% e 87,8% dos custos totais de construção, quando em terrenos planos, ondulados e montanhosos, respectivamente. Nas estradas com pista dupla e revestimento primário, este representou 55,3%, 43,0% e 35,3% dos custos totais de construção, quando em terrenos planos, ondulados e montanhosos, respectivamente. Já nas estradas com pista simples, o revestimento primário representou 51,6%, 40,1% e 32,7% dos custos totais, quando em terrenos planos, ondulados e

montanhosos, respectivamente. Pode-se verificar que este decréscimo se deve ao aumento dos outros custos de infra-estrutura, principalmente a drenagem.

De acordo com Alvarenga (2001), ao analisar a estimativa de custos na execução de base e sub-base de pavimentos com incremento de escória de aciária em substituição à brita graduada, a distância de transporte entre o depósito e a obra é o fator que mais encarece a utilização desse como material de base. Para a determinação do custo correspondente ao transporte até a obra, devem-se levar em consideração vários fatores como: peso específico, grau de empoamento do material a transportar, as características geométricas e topográficas das vias existentes entre o depósito e o insumo e a obra, a capacidade de carga em peso e volume dos veículos utilizados no transporte, os volumes a transportar e as distâncias a transportar.

Ainda de acordo com Alvarenga (2001), a determinação da distância em que a utilização da escória de aciária leva vantagem financeira, em substituição da brita graduada na base dos pavimentos pode ser estimada pela seguinte relação, quando de tem caso de equivalência estrutural:

$$D = (P_b - P_e) / P_t \quad (4.1)$$

Onde:

D= distância (km)

P<sub>b</sub>= preço da brita na obra (R\$)

P<sub>e</sub>= preço da escória na siderúrgica (R\$)

P<sub>t</sub>= preço do transporte da escoria até a obra (R\$/m<sup>3</sup> km)

Ao simular o preço, utilizou-se o caso de Volta Redonda como exemplo, obtendo que a distância competitiva da escória de aciária em comparação com a brita na constituição da base de pavimentos na região do entorno do município se dava:

$$P_b = R\$ 25,00 / m^3$$

$$P_e = R\$ 3,60 / m^3$$

$$P_t = R\$ 0,18 / m^3 \text{ km}$$

$$D = (25,00 - 3,60) / 0,18$$

$$D = 118,9 \text{ km}$$

Sendo assim, a distância mais competitiva da escória de aciária em relação à brita se dava em uma área de 118,9 km de circunferência. Assim, foi traçada uma circunferência com o centro de Volta Redonda. De todas simulações realizadas Volta Redonda (30 km), Barra do Pirai (70 km), Vassouras (90 km), Angra dos Reis (120 km) e Três Rios (140 km),

pode-se observar que empreendimentos realizados até 120 km de distância do bota fora de aciária, a utilização desta seria a mais vantajosa que a da brita como material de base de pavimento. Além de ter o custo financeiro menor que os agregados utilizados nas bases de pavimentos, a utilização de escória de aciária gera economia de difícil mensuração, que é a referente à proteção ambiental.

De acordo com Giessen, Kladianos e Yong (2009), os custos de construção de auto-estrada estão subindo rapidamente. Ao mesmo tempo, agências de transporte dos estados estão enfrentando uma redução na quantidade das verbas federais que recebem. Critérios importantes de projeto, tais como velocidade e volume de tráfego, em última análise, determinará o seu custo, sendo que a topografia será determinante para definir o nível dos impactos ambientais que ele terá. Para este estudo, os únicos itens considerados foram os custos associados com o terraplenagem e materiais para pavimentação. Esta simplificação permite que os custos das diferentes alternativas possam ser facilmente comparados, mas não refletem, necessariamente, no custo real da construção. Como esperado, o volume de terraplenagem, a quantidade de materiais para revestimentos, a classificação do tipo de via e pavimentação podem aumentar os custos. Essa tendência existe se a estrada é construída através de terreno montanhoso ou com realização de nivelamento (GIESSEN, KLADIANOS; YONG, 2009).

## **CAPÍTULO 5**

### **METODOLOGIA**

#### **5.1 INTRODUÇÃO**

Para o desenvolvimento desta pesquisa que visa o reaproveitamento de finos de pedreiras na pavimentação, por meio de uma abordagem técnica e econômica, foram adotadas as seguintes etapas:

- Visita técnica em empresas mineradoras de brita da região metropolitana de Goiânia-GO, com o objetivo de conhecer o processo de extração e quantificar o filer (resíduo da lavagem da brita);
- Verificação da viabilidade econômica de utilização do filer em base e sub-base de pavimentos, comparando-o com outros materiais utilizados na execução do trecho experimental existente (cascalho, solo-brita, solo-pó de micaxisto);
- Acompanhamento do desempenho estrutural do trecho de pavimento experimental executado por Luz (2008) e Araújo (2008), onde foram utilizados finos de pedreira em suas camadas.

#### **5.2 VISITA TÉCNICA ÀS PEDREIRAS**

Existem atualmente na região metropolitana de Goiânia 14 pedreiras que fazem a britagem de rocha para a produção de agregados para a construção civil. Foram realizadas visitas técnicas em 4 pedreiras, nos meses de junho e outubro de 2009, com o objetivo do conhecimento das etapas de extração da rocha de micaxisto, bem como para o levantamento de dados de produção dos resíduos gerados. Os dados de produção de resíduos e os principais componentes de gastos de produção e manutenção dos finos estocados foram obtidos junto à direção das empresas. As pedreiras visitadas foram denominadas de Pedreiras A, B, C e D.

A seleção das Pedreiras A e B ocorreu devido aos trabalhos realizados anteriormente por Luz (2008), onde foi realizado o levantamento das condições sócio-ambientais nessas empresas.

Já a seleção das Pedreiras C e D ocorreu em detrimento da utilização de resíduos dessas empresas (filer e pó de maicaxisto) para a confecção da base e sub-base do trecho experimental executado no município de Goiânia-GO. A Figura 5.1 a seguir demonstra a localização das empresas visitadas.

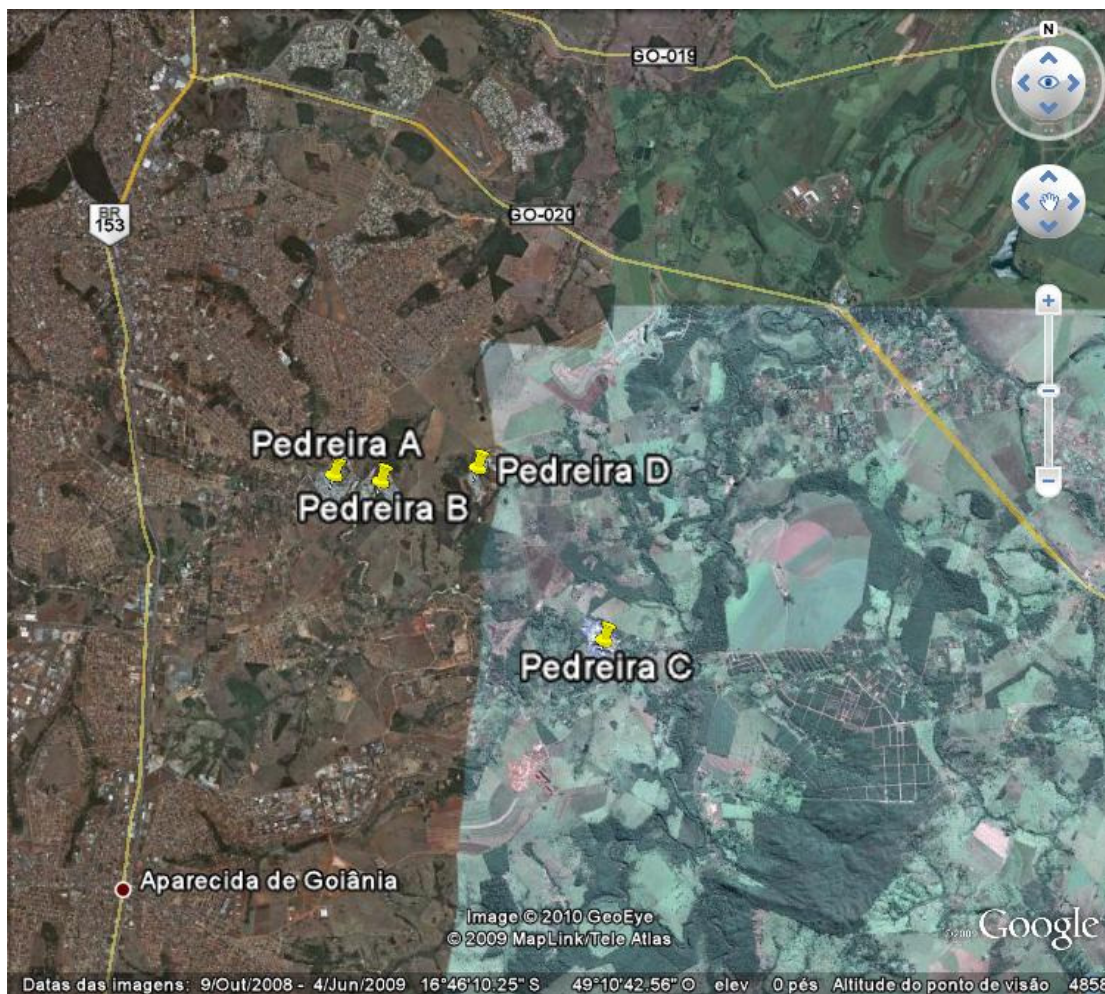


Figura 5.1 – Mapa ilustrativo da localização das pedreiras visitadas (GOOGLE EARTH, 2008)

### 5.3 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A CONFECCÃO DAS CAMADAS DE BASE E SUB-BASE NO TRECHO EXPERIMENTAL

Os materiais selecionados para o desenvolvimento desta pesquisa foram definidos a partir dos resultados apresentados nos estudos de Luz (2008) e Araújo (2008), sendo que as misturas adotadas foram aquelas utilizadas para a confecção do trecho experimental.

Inicialmente, foram realizadas coletas de amostras deformadas dos resíduos filer e pó de micaxisto nas pedreiras visitadas, bem como coleta do solo fino que foi utilizado na confecção das misturas da base e sub-base do trecho experimental.

Os resíduos selecionados para esta etapa foram coletados da seguinte forma:

- Fíler: em depósitos existentes na Pedreira C;
- Pó de Micaxisto: em depósitos existentes na Pedreira D.

Ao todo foram coletados cerca de 50 kg do resíduo em diferentes camadas dos depósitos nas empresas de forma que se obtivessem amostras significativas para a realização da caracterização química e composição das misturas. A Figura 5.2 demonstra a coleta dos resíduos. Já com relação ao solo, coletou-se cerca de 50 kg em uma jazida localizada na área do Central de Abastecimento de Goiás (CEASA) em Goiânia, conforme mostrado nas Figuras 5.3 e 5.4, sendo este o solo utilizado na execução do trecho experimental.



Figura 5.2 – Coleta de resíduos nas pedreiras



Figura 5.3 – Jazida de solo utilizado nas misturas



Figura 5.4 – Coleta do solo fino na jazida

Com a coleta do solo, do pó de micaxisto e do fíler, foi possível realizar a composição das misturas adotadas por Luz (2008) e Araújo (2008), conforme pode ser observado na Figura 5.5, para a execução da base e sub-base da seção transversal do pavimento estudado. Estas misturas foram compostas por:

- Mistura 1: 30% fíler de micaxisto + 70 % solo (base do Trecho 1);
- Mistura 2: 20% fíler de micaxisto + 80 % solo (sub-base do Trecho 1);
- Mistura 3: 20 % pó de micaxisto + 80 % solo (base do Trecho 4);
- Mistura 4: 30 % de pó de micaxisto + 70 % solo (sub-base Trecho 4).

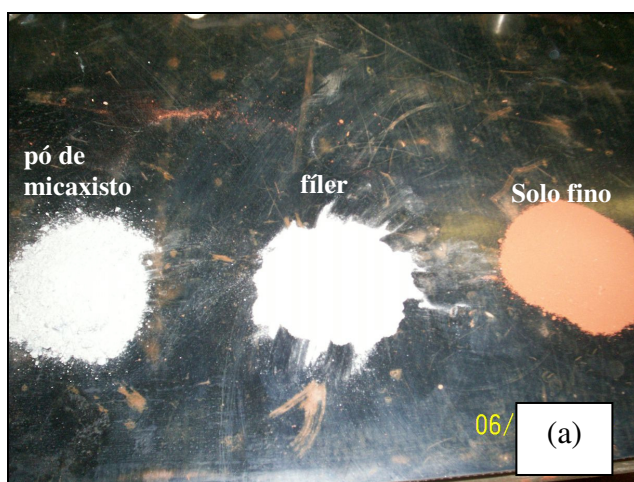


Figura 5.5 – Materiais: (a) Pó de micaxisto, fíler de micaxisto e solo fino; (b) Misturas utilizados no trecho.

## 5.4 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Os trabalhos realizados por Luz (2008) e Araújo (2008) tiveram como aspecto principal caracterizar física e mecanicamente as misturas solo e resíduos (fíler e pó de micaxisto) que foram utilizadas na confecção das camadas de sub-base e base do trecho experimental. Esta etapa da pesquisa visa complementar o estudo do reaproveitamento de finos de pedreiras em pavimentos através da caracterização química do solo e das misturas utilizadas na execução dos trechos. Essa caracterização química foi realizada à partir de análises de fertilidade e difração de raios-X. Outro aspecto importante levantado nesta pesquisa foi a observação da estrutura solo+fíler e solo+pó de micaxisto por meio de microscopia eletrônica de varredura. Vale ressaltar que esses ensaios de laboratório visaram complementar os resultados obtidos na etapa de caracterização realizada nas pesquisas anteriores, de forma que fossem obtidos resultados mais detalhados para o conhecimento do comportamento dos materiais utilizados no trecho experimental.

### 5.4.1 Análise Química das misturas e do solo

Após a coleta das amostras e composição das misturas, procedeu-se a análise química para: identificação do potencial hidrogeniônico (pH); determinação da matéria orgânica (MO); da acidez, da capacidade de troca catiônica (CTC) e da saturação de bases (V %). Os ensaios foram realizados em um laboratório privado e credenciado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

A técnica de difratometria de raios-X consiste em determinar as distâncias mantidas pelos íons ou átomos formadores dos cristais (distâncias interplanares), através do conhecimento do ângulo formado pelo feixe de raios-X incidente e o plano atômico que o difrata e, do comprimento de onda desses raios. Esta técnica tem sido muito utilizada na análise de inúmeros materiais como: materiais cimentíceos, rochas, solos e concretos, a fim de identificar os minerais constituintes de cada material. Deve-se ressaltar, entretanto, que o limite de detecção do método, nas condições usuais de trabalho, é de 5%, ou seja, constituintes que ocorram na amostra abaixo deste limite provavelmente não serão captados.

A metodologia adotada para a preparação e análise das amostras está estabelecida nos seguintes procedimentos do Laboratório de Mecânica das Rochas do Departamento de Apoio e Controle Técnico de FURNAS Centrais Elétricas S.A., que são partes integrantes do Sistema da Qualidade:



- Operação do Difratorômetro de Raios-X;
- Preparação de Amostras para Difratorometria de Raios-X;
- Análise por Difração de Raios-X.

As amostras foram submetidas a uma moagem prévia em moinho orbital até sua total moagem (100% passante na peneira 325 mesh, 0,045mm), para obtenção de material representativo de granulação bem fina.

Parte do material moído de cada amostra foi levada ao Difratorômetro de Raios-X para análise pelo Método do Pó Não-Orientado (Análise Integral).

Nas amostras de solos, além da Análise Integral, procedeu-se à separação, por sedimentação em coluna, da fração argila destas amostras seguida por montagem em vidro de 3 lâminas orientadas para cada registro, ou seja, apenas com deslizamento de uma lâmina sobre a que contém a “lama” para orientação. Nestas lâminas fez-se uma Análise Natural (apenas com secagem ao ar), uma após saturação com etileno-glicol em dessecador colocado sobre chapa aquecida a 50°C, por 12 horas, para garantir a completa saturação da atmosfera interna e assim, possibilitar a identificação dos argilominerais expansivos, caso existam. Após a retirada das amostras do dessecador, as mesmas foram levadas imediatamente ao difratorômetro de raios-X para análise (Análise Glicolada).

Outro tratamento dado às amostras foi à calcinação da “fração argila” a 550°C, por 3 horas (Análise Calcinada). Esta análise serve para indicar a presença de minerais que sofrem retração, parcial ou total, de sua estrutura nestas condições (caulinita, gibbsita, goethita etc.).

A Microscopia Eletrônica de Varredura foi utilizada, objetivando melhorar a compreensão textural e inter-relações entre solo e adições, em fragmentos selecionados nas amostras através de investigação visual macroscópica de uma seção longitudinal ao eixo do Corpo de Prova compactado. Os fragmentos analisados ao microscópio eletrônico de varredura necessitaram de preparação prévia adequada, por serem não-condutoras de elétrons. Para permitir a condutibilidade elétrica, as amostras receberam metalização com uma camada de ouro e foram aterradas ao porta-amostra de alumínio, com tinta de prata formando assim um circuito fechado de energia.

As amostras foram preparadas, predominantemente em fragmentos das misturas solo+adições, fixados na direção perpendicular aos sentidos das camadas de lançamento durante a compactação.

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) possibilita a observação e análise da superfície de amostras espessas através de imagens tridimensionais, quando em amostras de fratura ou naturais, associada à alta resolução que pode ser atingida, atualmente da ordem

de 30 Å, e à grande profundidade de foco, da ordem de 300 vezes melhor que a do microscópio ótico. O microscópio eletrônico de varredura (MEV) do Laboratório de Mecânica das Rochas de FURNAS é da marca Leica, modelo S440i - 1995, de alto vácuo, com EDS da Oxford. Para realização das análises foram utilizados os seguintes detectores acoplados ao MEV:

- Elétrons secundários (SE): para formação imagens e informações topológicas morfologia dos minerais;
- Elétrons Retroespalhados (BSE): para identificação das diferentes fases presentes através de tons de cinza e informações sobre o número atômico médio das fases;
- Raios X: detecção das informações fornecidas pela técnica da espectrometria por energia dispersiva de Raios-X - EDS - para análise qualitativa e avaliação semiquantitativa dos elementos químicos presentes - microanálise - de forma rápida e simultânea à observação das imagens.

## 5.5 PISTA EXPERIMENTAL ESTUDADA

O trecho que foi monitorado está localizado na Rua Amélia Rosa, coordenadas  $16^{\circ} 37' 33,58''$  S e  $49^{\circ} 11' 50,75''$  W, bairro Sítio de Recreio Ipê, situado na região nordeste de Goiânia, possuindo uma extensão de 600 metros, conforme a Figura 5.6.



Figura 5.6 – Vista superior do trecho experimental com 600 m de extensão (GOOGLE EARTH, 2008)

Com a finalidade de avaliar o comportamento do pavimento após a construção e obter dados para avaliação ao longo da vida útil, foram realizadas medidas dos deslocamentos com a viga Benkelman e prova de carga sobre placa, bem como ensaios com o penetrômetro dinâmico de cone (DCP) para obtenção da resistência *in situ* dos materiais. Os ensaios de campo foram realizados em dois períodos distintos, sendo eles: junho e novembro de 2009.

Vale destacar que no primeiro período realizaram-se somente os ensaios de prova de carga sobre placa e viga Benkelman em todos os trechos, não sendo possível a realização do ensaio de penetração dinâmica. Somente no trecho composto por solo + pó de micaxisto foi possível realizar todos os ensaios de avaliação estrutural propostos. Essa ausência dos dados de DCP para os trechos compostos por solo + filer, cascalho e solo-brita, se deu em função de sucessivos defeitos no equipamento, fazendo com que o mesmo fosse inutilizado, havendo a necessidade de aquisição de novo equipamento.

Os equipamentos e procedimentos utilizados durante a realização dos ensaios de campo estão descritos a seguir.

### 5.5.1 Ensaio Prova de Carga Sobre Placa

Na realização deste ensaio foi utilizada a metodologia descrita por Rezende (2003). O equipamento necessário para realização desse ensaio é composto por uma placa metálica com 25 cm de diâmetro e 2,54 cm de espessura, um caminhão carregado com 8,2 toneladas como sistema de reação, um macaco hidráulico, no mínimo três extensômetros com precisão de 0,01 mm instalados sobre a placa e uma viga metálica para fixação dos extensômetros. A Figura 5.7 a seguir demonstra a realização do ensaio com os equipamentos e a leitura nos extensômetros.

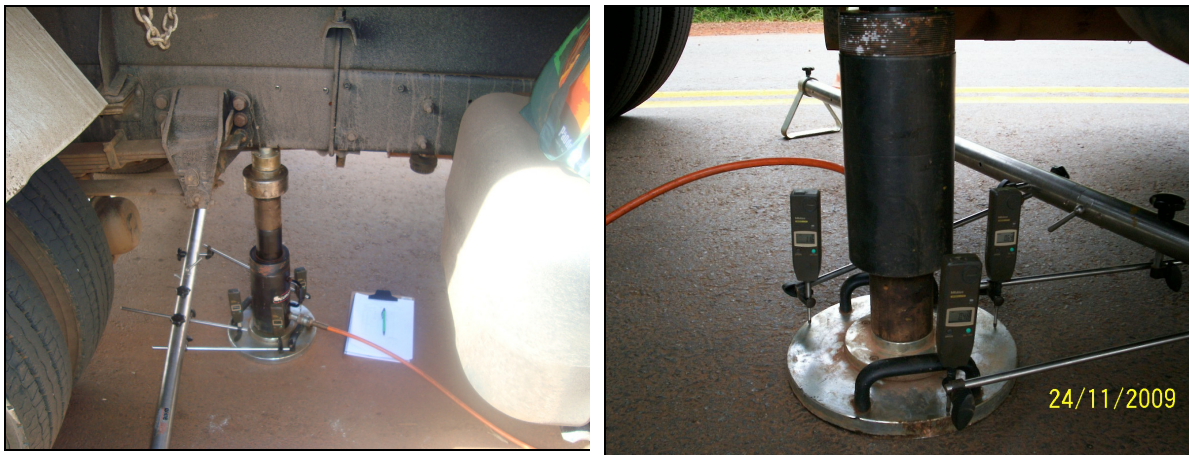


Figura 5.7 – Disposição dos equipamentos para ensaio de Prova de Carga Sobre Placa.

O ensaio foi iniciado com a montagem do macaco hidráulico sobre a placa, precedido pelo posicionamento do caminhão sobre o conjunto. Em seguida foram posicionados os extensômetros fixados na placa de maneira diametralmente opostos. Após a montagem do equipamento, foi dado início a fase operacional do experimento aplicando estágios de carregamento (0, 5, 10, 20, 30, 40 e 50 kN) a cada 5 minutos. Após aplicação de todos os estágios de carregamento, foi realizado o descarregamento (40, 25, 15, 5 e 0 kN) também em estágios com tempo entre eles de 5 minutos cada. Mediante as leituras efetuadas, foram obtidas a curva tensão versus deslocamento, e a partir dela o deslocamento total ( $d_t$ ), o módulo de reação para o ensaio de placa ( $k_{placa}$ ) e o deslocamento elástico ( $d_e$ ) obtido pela diferença de valores da tensão de 560 kPa no momento do retorno e a tensão final de retorno.

Este ensaio foi realizado somente sobre o revestimento de cada sub-trecho, nas estacas indicadas na Figura 5.8.

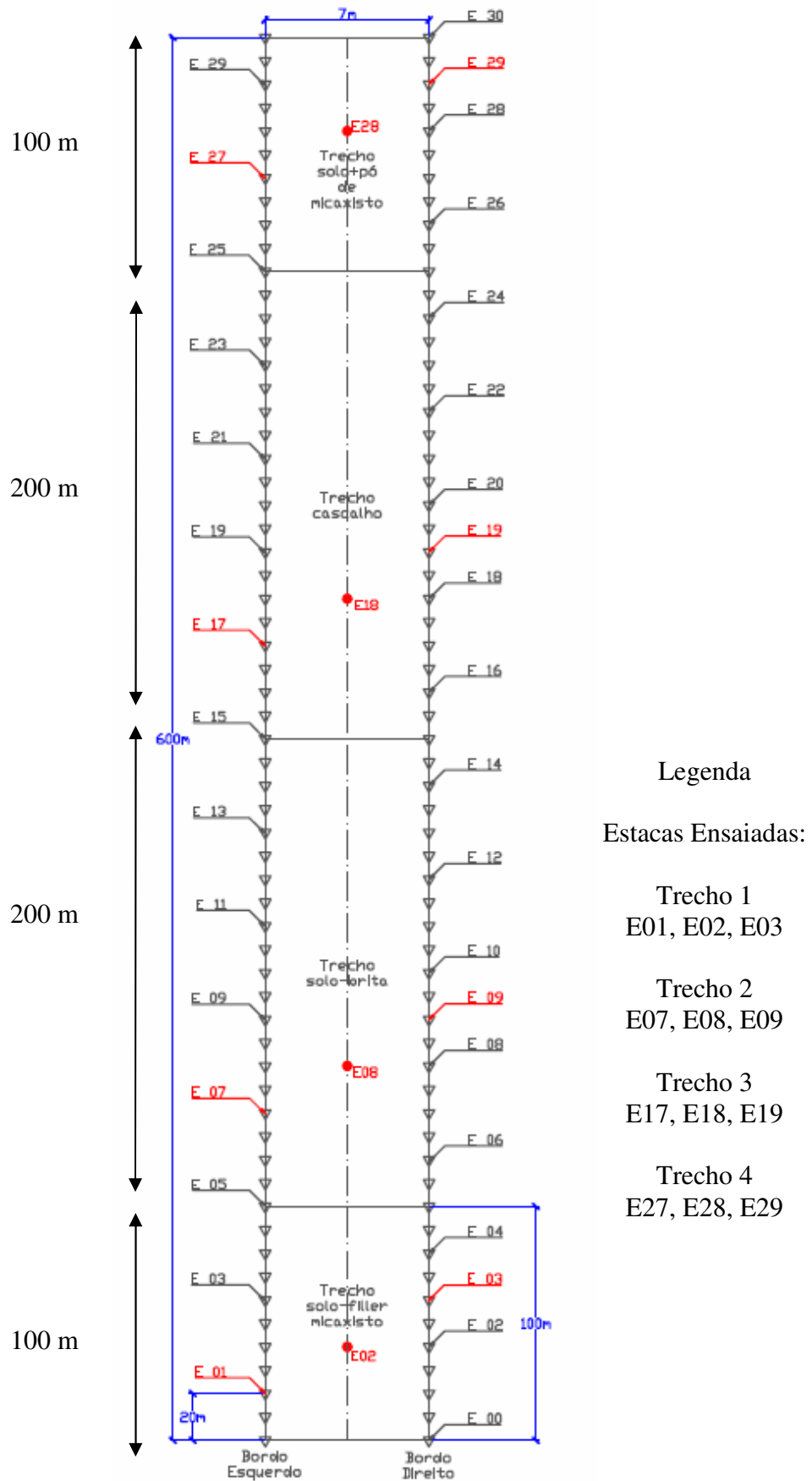


Figura 5.8 – Trecho experimental com as demarcações das estacas ensaiadas na prova de carga sobre placa e no DCP

### 5.5.2 Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP)

Para a realização deste ensaio utilizou-se a metodologia descrita pela Norma D 6951 – 03 (ASTM, 2003), bem como a descrita por Rezende (2003). O ensaio consiste em fazer penetrar na seção do pavimento uma haste de 19,35 cm de comprimento e 16 mm de diâmetro, extremidade pontiaguda em forma de cone a 60° com 20 mm de diâmetro a partir do deslizamento de um peso de 8 kg em uma haste de 57,5 cm. As estacas ensaiadas foram as mesmas que realizou-se o ensaio de prova de carga sobre placa conforme pode ser observado na Figura 5.8. Durante o ensaio, mede-se em uma régua, o comprimento em milímetros, que a lança penetra no solo para um determinado número de golpes selecionados arbitrariamente de acordo com a resistência das camadas a serem atravessadas (RIBEIRO, 2006). O resultado é uma curva que é a representação do número de golpes acumulado para a penetração do equipamento com a profundidade. Na curva DCP, o eixo das ordenadas indica a profundidade e o eixo das abscissas o número acumulado de golpes para alcançar tais profundidades. A (Figura 5.9) a seguir demonstra o esquema do equipamento bem como a execução do ensaio pela equipe.



Figura 5.9 – Execução do ensaio: (a) Equipamento (DCP); (b) execução do ensaio.

### 5.5.3 Viga Benkelman

Os ensaios de Viga Benkelman foram realizados conforme os descrito pelas normas ME 024 (DNER, 1994) e PRO 175 (DNER, 1994), onde foi ensaiada cada estaca representada na Figura 5.10. Para a medida das deflexões foi utilizada uma viga Benkelman, onde fez a leitura no extensômetro no ponto inicial e em distâncias (25 cm, 50 cm, 75 cm, 100 cm, 125 cm, 150 cm, 175 cm 200 cm), conforme demonstra a Figura 5.11. Com esses valores determinaram-se as deflexões, que foram expressas em centésimos de milímetros, para cada distância e faz-se o traçado da bacia de deflexão. O cálculo da deflexão real ou verdadeira no ponto de prova ( $D_0$ ) e do raio de curvatura ( $R$ ), que também utiliza a deflexão a 25 cm do ponto de prova ( $D_{25}$ ) foram feitos conforme as equações 5.1 e 5.2 representadas a seguir.

$$R = \frac{6250}{2 \cdot (D_0 - D_{25})} \quad (5.1)$$

Onde:

$R$  = raio de curvatura (m);

$D_0$  = deflexão real ou verdadeira no ponto de ensaio ( $\times 10^{-2}$  mm);

$D_{25}$  = deflexão a 25 cm do ponto de ensaio ( $\times 10^{-2}$  mm).

$$D_0 = (L_0 - L_f) \times a/b \quad (5.2)$$

Onde:

$R$  = raio de curvatura (m);

$D_0$  = deflexão real ou verdadeira no ponto de ensaio ( $\times 10^{-2}$  mm);

$D_{25}$  = deflexão a 25 cm do ponto de ensaio ( $\times 10^{-2}$  mm).



Figura 5.11 – Execução do ensaio de Viga Benkelman: (a) posicionamento do caminhão; (b) anotação das leituras.

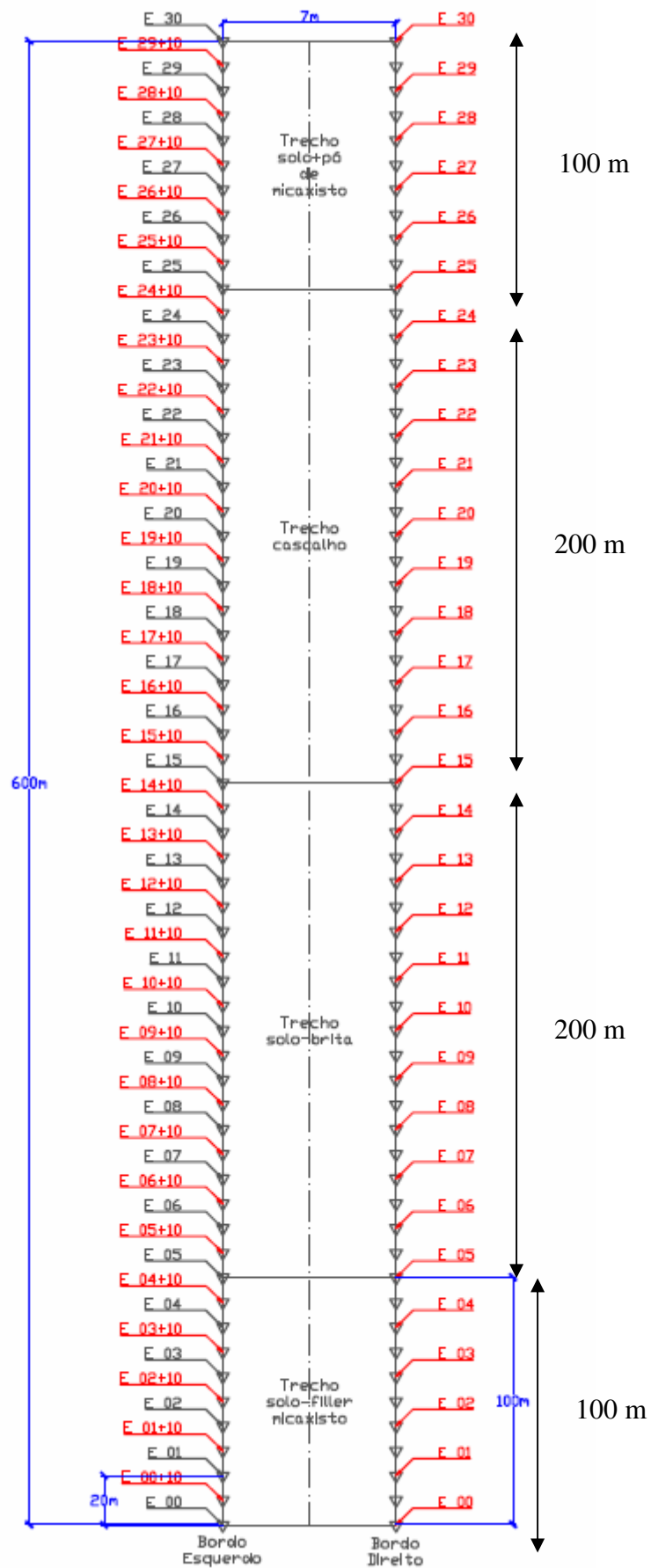


Figura 5.10 – Trecho experimental com as demarcações dos ensaios de Viga Benkelman.



## 5.6 ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA A EXECUÇÃO DOS SUB-TRECHOS

O custo de construção foi estimado para cada tipo de trecho (solo + filer, solo + brita 1, cascalho laterítico e solo + pó de micaxisto), por meio do somatório dos custos das atividades que são geralmente envolvidas na construção de pavimentos: levantamento topográfico, limpeza e terraplanagem, drenagem e pavimentação (revestimento primário ou asfáltico). A metodologia utilizada foi a mesma proposta por Lopes, Machado e Souza (2002), bem como a utilizada por Giessen, Kladianos e Yong (2009). As informações foram obtidas para cada atividade que compõe o processo na Agencia Municipal de Obras (AMOB) conforme pode ser observado no Quadro 5.1, que contém uma composição geral do que é feito para a construção de vias urbanas na cidade de Goiânia. Após obtenção das informações no órgão municipal, foi possível determinar quais as etapas que realmente foram realizadas na obra do trecho experimental do Setor Sítio Recreio dos Ipês conforme pode ser observado no Quadro 5.2.

Como grande parte do material utilizado na construção do trecho foi obtido via doação, esta estimativa também visou às diversas simulações que se pode fazer. Para a obtenção dos valores de cada situação levantada, criou-se cenários para os diferentes materiais (via doação e aquisição em três diferentes empresas). Sendo assim, os cenários criados foram:

- Cenário 1: filer comprado e doado pelas empresas locais (Pedreiras A, B e C);
- Cenário 2: brita 1 comprada nas empresas locais (Pedreiras A, B e C), bem como a composição solo-brita adotada no Estado de São Paulo;
- Cenário 3: cascalho laterítico obtido na jazida incluindo custo de transporte, bem como também a situação ocorrida no trecho onde o cascalho foi doado;
- Cenário 4: pó de micaxisto comprado nas empresas locais (Pedreiras A, B e C), bem como o pó doado pela Pedreira D.

Os preços praticados nessas simulações, para o filer, brita e pó de micaxisto estão demonstrados no Quadro 5.3, sendo que os mesmos foram obtidos via pesquisa nas três pedreiras, aqui denominadas de A, B e C. Já os valores para o cascalho laterítico utilizou-se a composição do Quadro 5.1 da AMOB. Todos os valores aqui apresentados são referentes ao mês de novembro de 2009, quando R\$ 1,00 era equivalente a US\$ 1,7290

Quadro 5.1 - Composição geral das atividades para a construção de vias urbanas na cidade de Goiânia (AMOB) <sup>89</sup>

Item	Cód (AGETOP)	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
<b>I</b>		<b>Serviços preliminares</b>		-			
1		Confecção de placas (chapa preta nº 22, requadro em metalon 30x30) e instalação com vigas (4) e caibros (4)	m <sup>2</sup>	-		230,91	0,00
<b>II</b>		<b>Terraplanagem</b>		-			
2	40600	Limpeza – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	0,00	0,14	0,00
3	45735	Ser. topográficos	km	-	0,00	986,22	0,00
4	45765	Projeto geométrico e notas de serviços	km	-	0,00	7.323,10	0,00
5	40615	Escavação e carga de material de 1º categoria – pavimentação urbana	m <sup>3</sup>	-	0,00	5,03	0,00
6	40620	Transp. De material de 1º categoria à caminhão – pavimentação urbana (DT=5km)	m <sup>3</sup> km	5	0,00	1,29	0,00
7	40625	Espalhamento e compactação de aterro a 95% P.N	m <sup>3</sup>	-	0,00	3,33	0,00
8	40630	Espalhamento e compactação de aterro a 100% P.N	m <sup>3</sup>	-	0,00	4,53	0,00
		<b>Sub-total terraplanagem</b>	-	-	-	-	-
<b>III</b>		<b>Pavimentação</b>					
9	40635	Regularização e compactação do sub-leito	m <sup>2</sup>	-	0,00	1,60	0,00
10	40638	Escavação e carga material jazida 1º categoria	m <sup>3</sup>	-	0,00	4,38	0,00
11	40645	Estabilização granulométrica de solos sem mistura	m <sup>3</sup>	-	0,00	12,08	0,00
12	P-4	Aquisição de material de jazida	m <sup>3</sup>	-	0,00	3,52	0,00
13	40640	Transporte de material de jazida – cascalho – pavimentação urbana (DT-30km)	m <sup>3</sup> km	30	0,00	1,41	0,00
14	40655	Imprimação – exceto material betuminoso	m <sup>2</sup>	-	0,00	0,25	0,00
15	40480	Fornecimento de CM-30	t	-	0,00	2790,61	0,00
16	40660	Pintura de ligação – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	0,00	0,25	0,00
17	40510	Fornecimento de RR-1C	t	-	0,00	1226,57	0,00
18	40675	C.B.U.Q Concreto Betuminoso usinado a quente – pavimentação urbana – espessura 3cm	m <sup>3</sup>	-	0,00	237,00	0,00
19	40530	Fornecimento de CAP- 50/70	t	-	0,00	1644,65	0,00
20	40710	Transporte local de massa asfáltica – pavimentação urbana DT-25km	tkm	25	0,00	0,89	0,00
21	40665	Tratamento superficial duplo	m <sup>2</sup>	-	0,00	3,76	0,00
		<b>Sub-total pavimentação</b>					
<b>IV</b>		<b>Drenagem superficial</b>					
22	41250	Meio-fio sem sarjeta, inclusive escoramento	m	-	0,00	14,47	0,00
23	41245	Meio-fio com sarjeta, inclusive escavação e escoramento	m	-	0,00	22,58	0,00
		<b>Sub-total Drenagem superficial</b>					
		<b>Total de pavimentação em R\$</b>					

Quadro 5.2 – Adequação da tabela da AMOB para composição das atividades realizadas no trecho experimental

Item	Cód	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant.	Preços R\$	
						unitário	parcial
<b>I</b>		<b>Terraplanagem</b>					
2	40600	Limpeza – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	0,00	0,14	0,00
3	45735	Ser. topográficos	km	-	0,00	986,22	0,00
4	45765	Projeto geométrico e notas de serviços	km	-	0,00	7.323,10	0,00
		<b>Sub-total terraplanagem</b>	-	-	-	-	-
<b>II</b>		<b>Pavimentação</b>					
9	40635	Regularização e compactação do sub-leito	m <sup>2</sup>	-	0,00	1,60	0,00
	40638	Escavação e carga material 1ª categoria	m <sup>3</sup>		0,00	4,38	0,00
12	P-4	Aquisição de material de jazida	m <sup>3</sup>	-	0,00	3,52	0,00
13	40640	Transporte de material de jazida – cascalho – pavimentação urbana (DT-30km)	m <sup>3</sup> km	30	0,00	1,41	0,00
14	40655	Imprimação – exceto material betuminoso	m <sup>2</sup>	-	0,00	0,25	0,00
15	40480	Fornecimento de CM-30	t	-	0,00	2790,61	0,00
16	40660	Pintura de ligação – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	0,00	0,25	0,00
17	40510	Fornecimento de RR-1C	t	-	0,00	1226,57	0,00
18	40675	C.B.U.Q Concreto Betuminoso usinado a quente – pavimentação urbana – espessura 3cm	m <sup>3</sup>	-	0,00	237,00	0,00
19	40530	Fornecimento de CAP- 50/70	t	-	0,00	1644,65	0,00
20	40710	Transporte local de massa asfáltica – pavimentação urbana DT-25km	tkm	25	0,00	0,89	0,00
		<b>Sub-total pavimentação</b>					

Quadro 5.3 – Preços, em R\$, dos produtos comercializados nas diferentes empresas

Pedreira	A	B	C
Brita 1 (e)*	30,00	28,00	28,00
Brita 1 (b)*	23,00	21,00	21,00
Pó de pedra (e)*	27,00	25,00	27,00
Pó de pedra (b)*	20,00	18,00	20,00
Filer (e)*	24,00	19,00	23,00
Filer (b)*	17,00	12,00	16,00

Obs: (e)\*= entregar na obra; (b)\* buscar na pedreira

Além da determinação e estimativa do custo do trecho experimental, foi possível analisar ainda a influência das distâncias em que os finos de pedreiras são considerados vantajosos financeiramente em substituição à brita graduada 1 e ao cascalho laterítico. Para tanto, foi utilizada a metodologia descrita por Alvarenga (2001), onde tem-se a Equação 5.3:

$$D = \frac{P_b - P_f}{P_t} \quad (5.3)$$

Onde:

D = distância (km)

P<sub>b</sub> = Preço da brita (R\$);

P<sub>f</sub> = Preço do filer ou do material desejado

P<sub>t</sub> = Preço transporte do filer até a obra (R\$/t km).

Os valores de transporte após pesquisa nas empresas oscilaram bastante, sendo utilizado então o menor valor praticado pelas empresas de 0,22 (R\$/ t km), este valor adotado deu-se em função de se obter o menor valor praticado, já que o presente trabalho quer o menor valor possível para se obter menores custos de execução.

## CAPÍTULO 6

### APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo estão apresentados os resultados e as análises dos dados obtidos. Primeiramente, são apresentadas as imagens de obtenção dos finos de pedreiras, obtidas a partir da visita técnica. Em seguida o resultado da caracterização química do solo e das misturas, caracterização da água de lavagem, difração de raio-X e microscopia eletrônica de varredura. Posteriormente, são apresentados os resultados obtidos com os ensaios de campo (prova de carga sobre placa, viga Benkelman, e penetração dinâmica), bem como os resultados da estimativa de custos de execução de cada sub-trecho.

#### 6.2 VISITA TÉCNICA

A visita técnica teve como objetivo conhecer o processo de obtenção dos finos de pedreira (filer e pó de micaxisto), desde o beneficiamento da rocha de micaxisto à disposição final. A Figura 6.1 apresenta a frente de lavra e bancada e o material fragmentado após detonação.

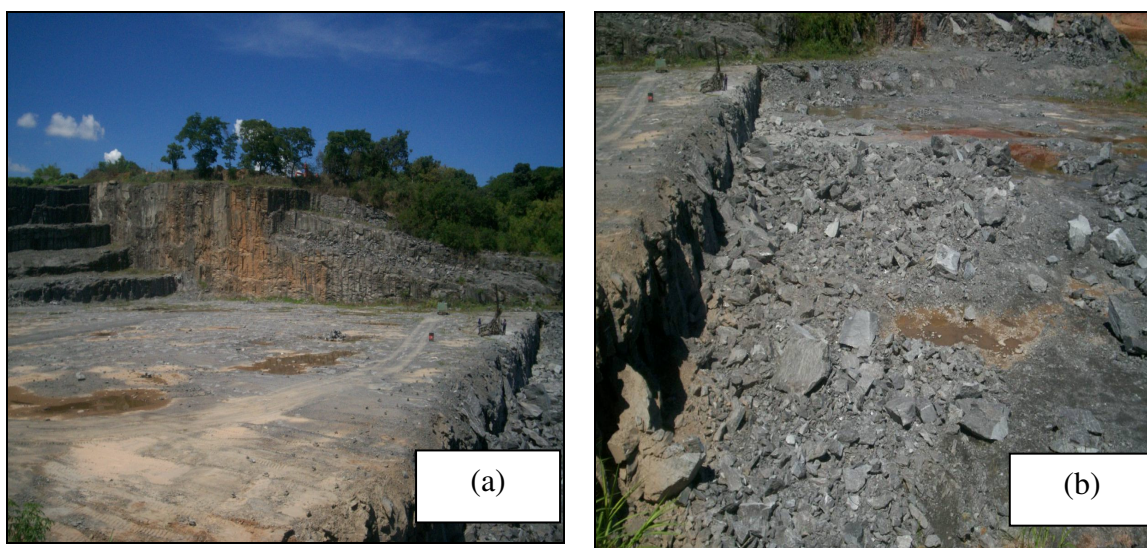


Figura 6.1 – Jazida da rocha explorada: (a) Frente e lavra e bancada; (b) blocos fragmentados após detonação

Algumas empresas utilizam o dispositivo denominado *drop all* (Figura 6.2), sendo que o mesmo tem como característica diminuir as dimensões dos blocos fragmentados com a detonação. O processo consiste em fazer cair de uma determinada altura uma bola de aço que é içada com ajuda de uma pá carregadeira, como resultado final obtém-se blocos de menores dimensões bem como também economia com o material de detonação, uma vez que este processo substitui uma nova detonação.



Figura 6.2 – Dispositivo *drop all* fragmentando os blocos maiores.

A rocha de micaxisto após sofrer a fragmentação na frente de lavras e bancadas é transportada para a área de britagem (Figura 6.3) sofrendo diminuição da granulometria até atingir as dimensões desejadas. O material britado segue por correias onde são depositados nos pátios de estocagem.



Figura 6.3 – Vista do Britador em funcionamento

Na etapa final do processo ocorre à estocagem do material nos pátios (Figura 6.4), sendo que algumas empresas realizam a lavagem do material denominado pó de micaxisto.

Nesta etapa ocorre a geração dos finos (filer) e dá água que é destinada às bacias de decantação (Figura 6.4).



Figura 6.4 – Materiais depositados nos pátios das empresas

## 6.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

### 6.3.1 Análises Químicas

Foram realizados análises de pH em ( $H_2O$ ,  $CaCl_2$ ,  $KCl$ ), complexo sortido, micronutrientes, saturação de bases e capacidade de troca catiônica (CTC) nas amostras de solo, nas misturas de solo e finos (Misturas 1, 2, 3 e 4). A Tabela 6.1 apresenta os resultados das análises químicas realizadas nas amostras.

O pH dos solos é de grande importância, pois é um fator que influencia fortemente na agregação das partículas e, conseqüentemente, na distribuição estrutural entre os vazios e

sólidos do solo (CARDOSO<sup>6</sup>, 2002 apud REZENDE 2003). A determinação do pH foi feita em : água, KCl e CaCl<sub>2</sub>. Além da determinação do pH em H<sub>2</sub>O, KCl, CaCl<sub>2</sub>, obteve-se também a diferença aritmética entre os valores de pH em KCl e em H<sub>2</sub>O, que é representado pela equação:  $\Delta\text{pH}=\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ . Esta determinação é importante, pois um valor de  $\Delta\text{pH}$  negativo indica que ocorre na amostra predominância de argilas silicatadas, enquanto  $\Delta\text{pH}$  positivo está relacionado com o predomínio de óxidos de ferro e alumínio. Outra correlação importante a partir da obtenção deste índice é que quando o  $\Delta\text{pH}$  é negativo indica que a quantidade de alumínio trocável é elevada e quando positiva, essa quantidade é baixa, consequentemente a determinação deste índice indica se o alumínio está com sua maior parte na forma trocável ou não trocável.

Tabela 6.1 - Resultado das análises químicas do solo e das misturas

Características	Solo	Misturas			
		1	2	3	4
% de solo	100,0	70,0	20,0	80,0	70,0
% de fíler	0,0	30,0	80,0	0,0	0,0
% de pó	0,0	0,0	0,0	20,0	30,0
pH em água	5,5	6,8	6,8	6,3	6,4
pH em KCl	5,3	6,5	6,4	5,6	5,7
pH em CaCl <sub>2</sub>	5,1	6,5	6,3	5,5	5,7
$\Delta\text{pH}$ (KCl - água)	- 0,2	- 0,3	- 0,4	- 0,7	- 0,7
Ca cmolc/dm <sup>3</sup> (mE/100mL)	0,2	2,6	2,6	0,7	0,7
Mg cmolc/dm <sup>3</sup> (mE/100mL)	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2
K cmolc/dm <sup>3</sup> (mE/100mL)	0,09	0,53	0,53	0,45	0,46
Al cmolc/dm <sup>3</sup> (mE/100mL)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Acidez total H+Al cmolc/dm <sup>3</sup> (mE/100mL)	2,9	1,9	2,1	2,4	2,1
CTC (mEq/100 cm <sup>3</sup> )	3,29	5,23	5,23	3,75	3,46
Saturação de Alumínio (%Al)	-	-	-	-	-
Saturação de Bases (V%)	11,85	63,67	62,03	36,00	39,31
Matéria Orgânica (g/dm <sup>3</sup> )	11,0	9,0	7,0	8,0	8,0
Fósforo (mg/dm <sup>3</sup> )	0,3	23,0	18,8	3,4	6,4
Ca/Mg (%)	2,0	13,0	8,67	3,50	3,50

<sup>6</sup> CARDOSO, F.B.F. **Propriedades e comportamento mecânico de solos do planalto central brasileiro**. 2002. 357. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 2002.



O solo apresentou pH moderadamente ácido com valor máximo de 5,5. Geralmente, os valores de pH dos solos encontram-se no intervalo de 4 a 7, sendo que valores menores indicam a presença de ácidos livres e valores acima, indicam a presença de solos salinos ou calcários.

Valores semelhantes foram encontrados por Rezende (2003) no Distrito Federal, ficando em torno de 5,0 para solos finos. Rufo (2009), caracterizando solo finos do Ceasa para composição de misturas solo, fosfогesso e cal, encontrou valores em torno de 6,0 o que demonstra que os valores de pH encontrados estão compatíveis com demais trabalhos realizados com solos finos da região. As misturas de solo+fíler e solo+pó de micaxisto, apresentaram valores de pH mais elevados, fato este decorrente da incorporação dos finos que apresentam em sua composição compostos ricos em oxi-hidróxidos. Os valores de  $\Delta$ pH tanto do solo como das misturas, apresentou valores negativos, o que determina a presença óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, indicando a presença de minerais pouco lixiviados.

Para quantificação do percentual de matéria orgânica, utiliza-se a oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação foi titulado com a solução de sulfato ferroso amoniacal (Sal de Mohr). O dicromato consumido é correlacionado à oxidação do carbono orgânico, e a percentagem de matéria orgânica é calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724. Este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média do húmus, o carbono participa com 58%.

Os valores de matéria orgânica variaram de 7 a 11% ficando dentro da normalidade para solos do cerrado e sobre intenso processo de laterização. Guerra (2007), afirma que solos com menos de 3,5% de matéria orgânica possuem agregados instáveis, enquanto outros autores defendem a idéia de que solos com menos de 2,0% de matéria orgânica possuem baixa estabilidade de agregados. De acordo com o seu conteúdo orgânico, os solos podem ser classificados em dois grupos gerais: minerais e orgânicos. No caso do solo estudado define-se como sendo solo com valores do teor de matéria orgânica correlacionáveis com latossolos.

A CTC do solo é definida como sendo a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas. Esses cátions adsorvidos são removidos por soluções salinas de amônio, cálcio, bário e soluções de ácidos diluídas e posteriormente determinadas por métodos volumétricos, de emissão ou absorção atômica. Para obtenção da CTC os íons foram determinados isoladamente e posteriormente à

soma de bases foi obtido para a determinação da CTC. A partir dos íons obtidos é possível determinar outras relações diferentes CTC tais como: Sat. Bases, Sat. Al, Ca/Mg, Ca/K, Ca/CTC, Mg/CTC, K/CTC, H+Al/CTC.

Verifica-se que os valores de CTC são baixos, apresentando valor máximo de 5,23 mE/100mL, para as misturas com filer. Lima (2003) afirma que geralmente os valores de CTC dos solos são considerados baixos, no entanto a quantidade de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  faz com que esses valores cresçam consideravelmente, fato este observado para as misturas, uma vez que as mesmas apresentam um acréscimo na quantidade desses metais. Silveira e Mendonça (2009), analisando perfis de solos em intenso processo de intemperização, constataram que os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  exercem influência direta nos valores de CTC. Esses mesmos autores também identificaram que a profundidade também pode influenciar, uma vez que, os metais são lixiviados ao longo do perfil e depositado nas camadas mais profundas.

Já os valores de Saturação de Bases (V%), variaram de 11,85% (solo) a 63,67% (mistura 1). Isso significa que a percentagem de saturação por bases (V%) da CTC para um pH 7,0 é um parâmetro que reflete quantos por cento dos pontos de troca de cátions potencial do complexo coloidal do solo estão ocupados por bases, ou seja, quantos por cento das cargas negativas, passíveis de troca a pH 7,0, estão ocupados por  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  e, às vezes,  $\text{Na}^+$ , em comparação com aqueles ocupados por H e Al. É um parâmetro utilizado para separar solos considerados férteis (V% >50) de solos de menor fertilidade (V% <50). Neste caso, nas misturas contendo filer obteve-se um acréscimo significativo do valor de (V%), sendo classificados neste caso como materiais eutróficos.

Quanto aos valores de fósforo, observa-se também um acréscimo do teor quando acrescenta-se o filer, fato este determinado pela quantidade de fósforo que contém o resíduo. Luz (2008) determinou por espectrômetro de fluorescência de raios-X que o fósforo é um dos materiais constituintes, explicando assim o acréscimo de fósforo nas amostras com maior teor de filer nas misturas.

### **6.3.2 Difração de raios-X**

O Quadro 6.1 apresenta o resultado da difração de raios-X nas misturas estudadas, e as Figuras 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12 demonstram os gráficos dos difratogramas obtidos.

Quadro 6.1 – Minerais identificados nas misturas

Amostras	Mineral Principal	Minerais Subordinados	Mineral Traço
Mistura 1 (30% fíler+70% solo)	Quartzo	Gibsita, Caolinita e Muscovita	Hematita e Clorita
Mistura 2 (20%fíler+80%solo)	Quartzo	Gibsita, Caolinita e Muscovita	Hematita e Clorita
Mistura 3 (20% pó de micaxisto+80%solo)	Quartzo	Gibsita, Caolinita e Muscovita	Hematita e Clorita
Mistura 4 (30% pó de micaxisto+70%solo)	Quartzo	Gibsita, Caolinita e Muscovita	Hematita e Clorita

Observa-se que os minerais presentes em todas as misturas não se diferem nas diferentes proporções de solo e resíduo, sendo os mesmos são resultantes da própria composição mineralógica do solo e da rocha de micaxisto. O mineral principal em todas as amostras ficou condicionado à presença do quartzo, que é resultante da rocha moída. Já o mineral subordinado muscovita também é resultante da rocha de micaxisto. Os minerais subordinados caolinita e gibsita e os minerais traços hematita e clorita são resultantes do solo proveniente do CEASA, o que confirma as classificações realizadas por Luz (2008) de que este solo é um solo tropical laterítico.

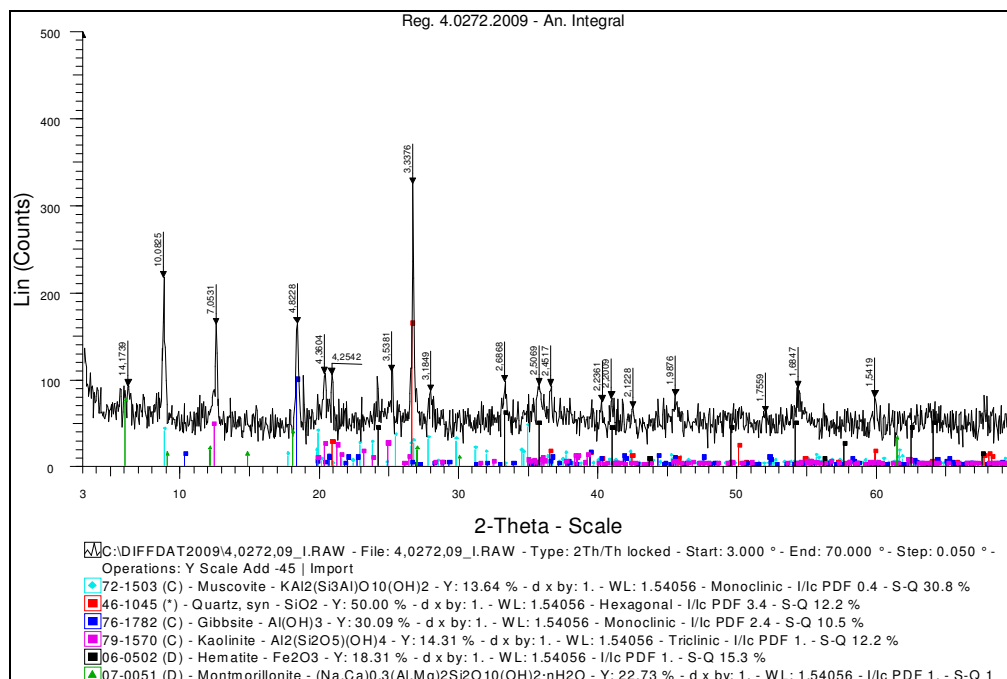


Figura 6.5 – Difratograma da mistura composta por 30%fíler+70%solo (mistura 1) - Análise Integral

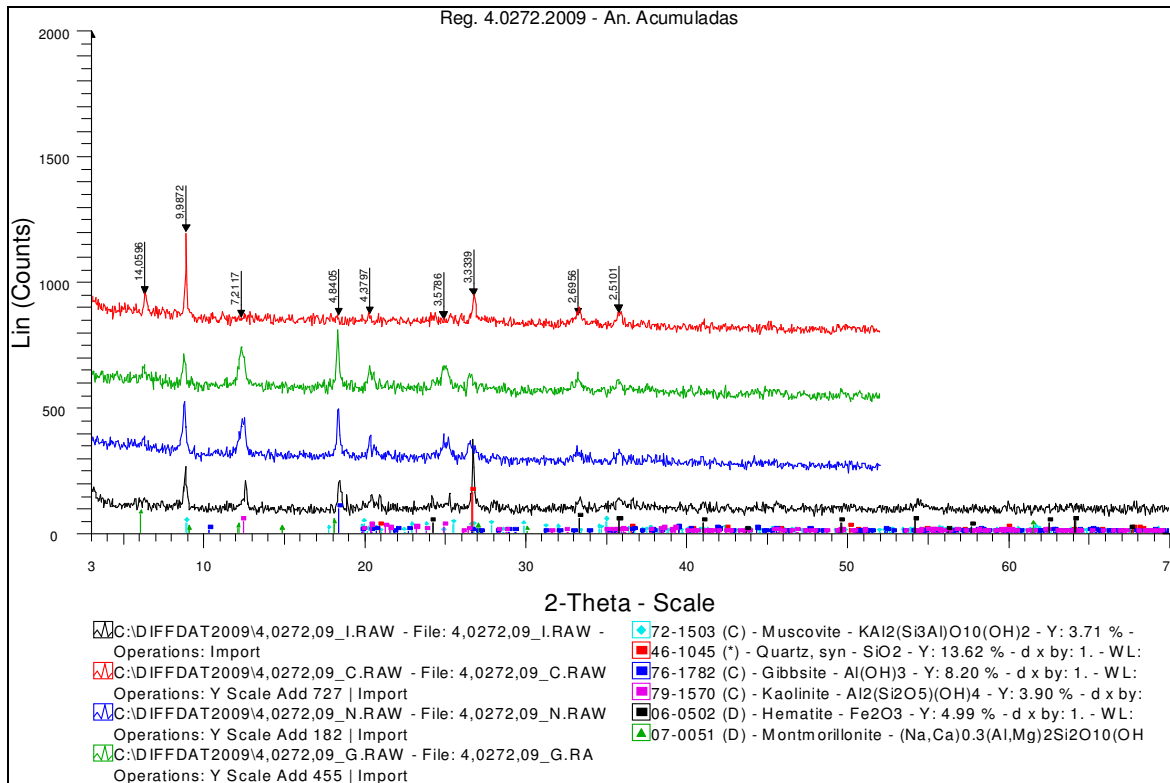


Figura 6.6 - Difratoograma da mistura composta por 30%filer+70%solo (mistura 1) - Análise Acumulada

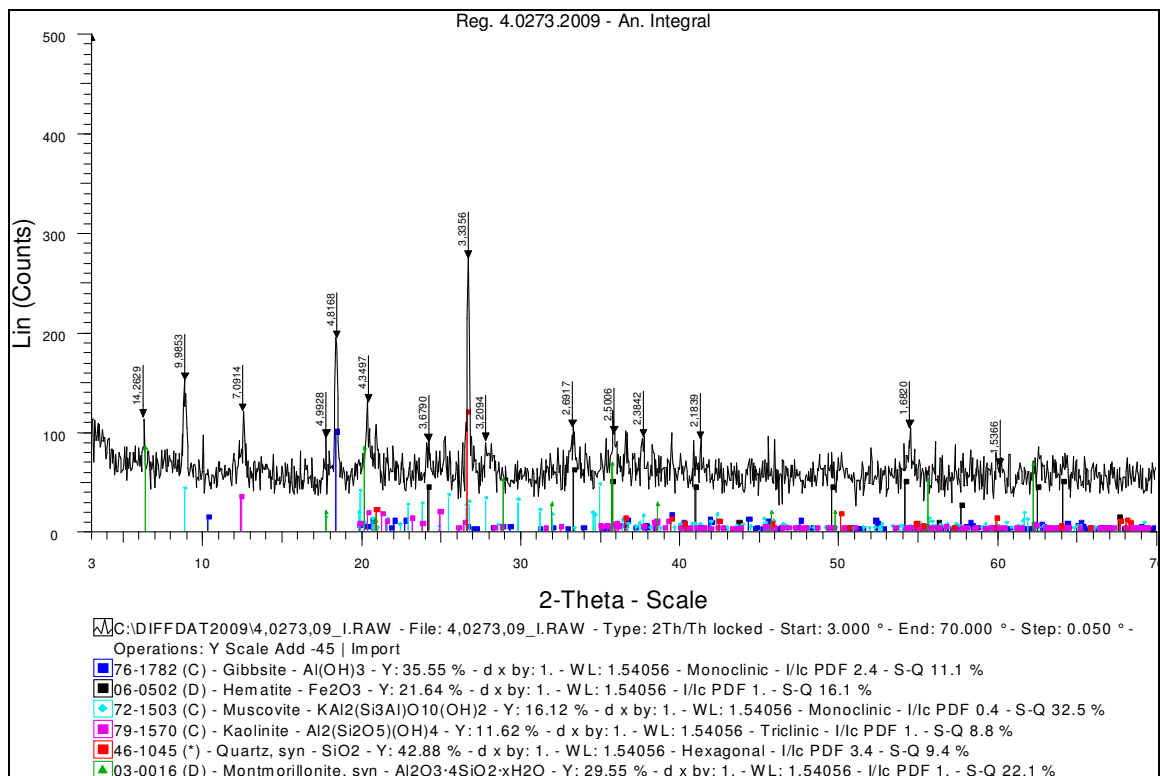


Figura 6.7 - Difratoograma da mistura composta por 20%filer+80%solo (mistura 2) - Análise Integral

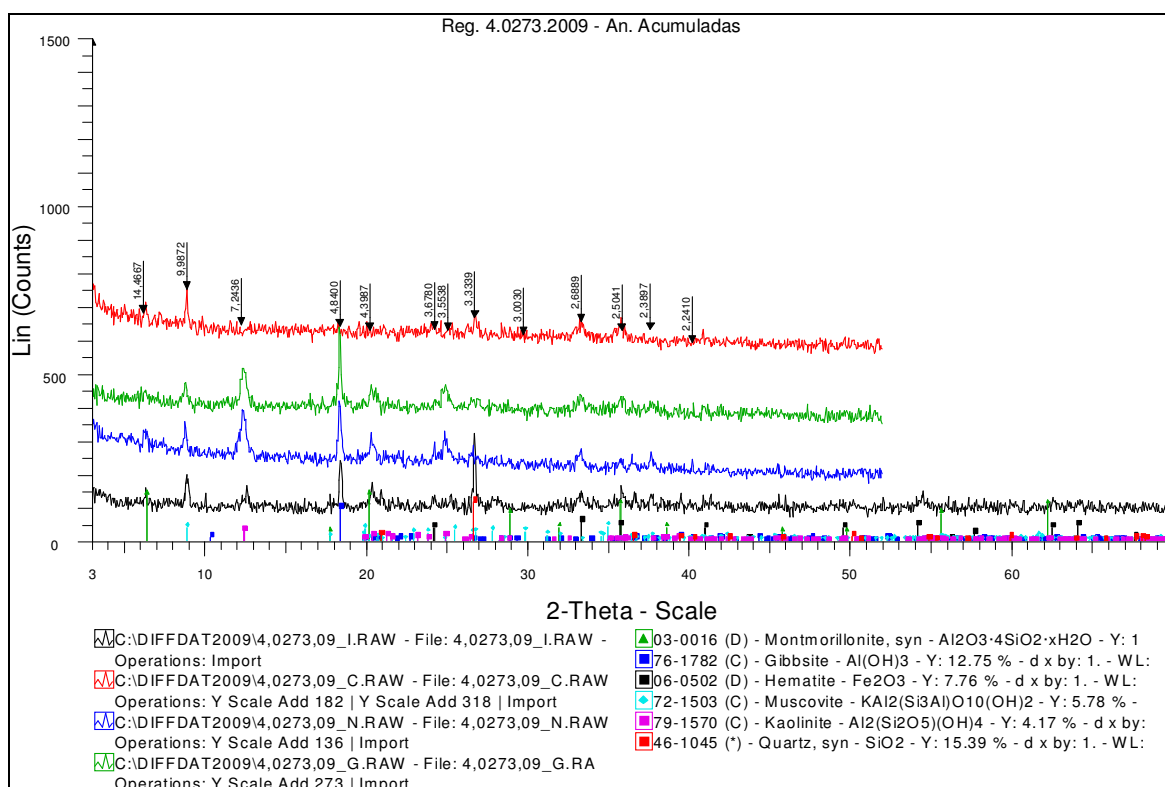


Figura 6.8 - Difratoograma da mistura composta por 20% filer+80% solo (mistura 2) – Análise Acumulada

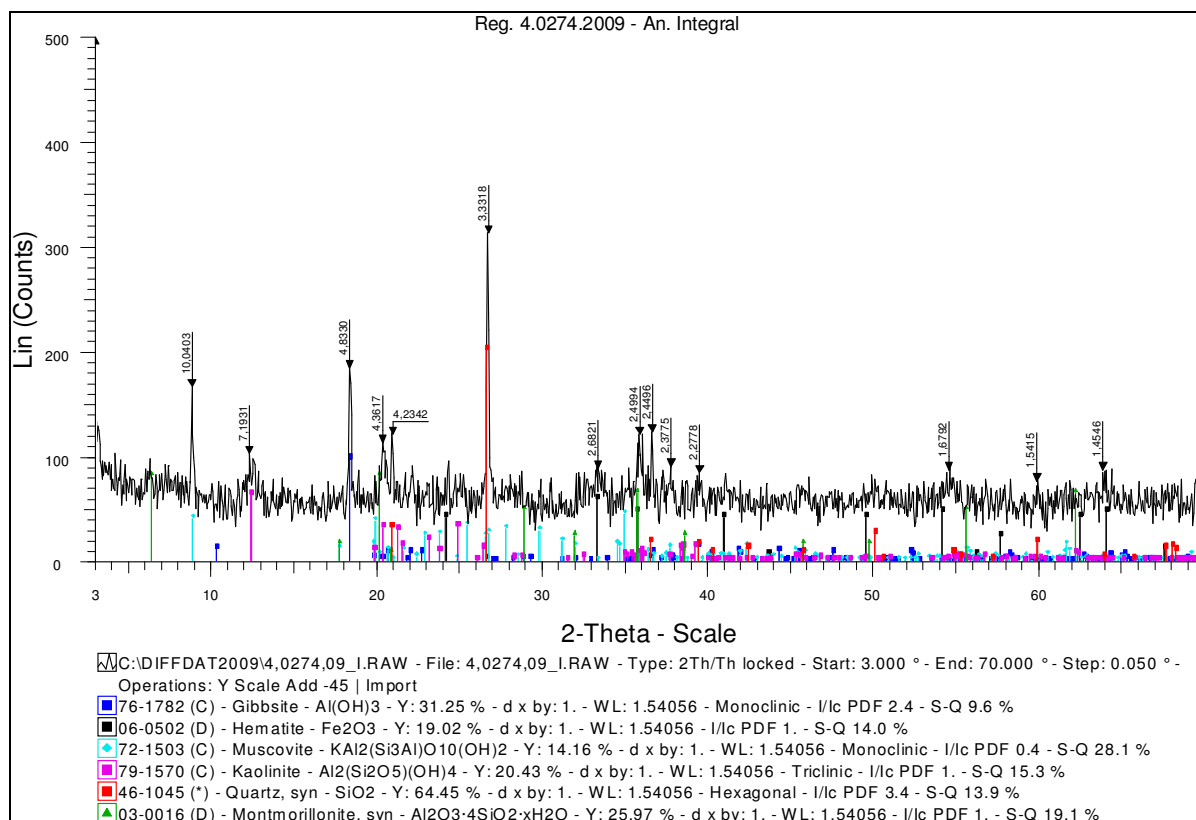


Figura 6.9 - Difratoograma da mistura composta por 20% pó de micaxisto+80% solo (mistura 3) – Análise Integral

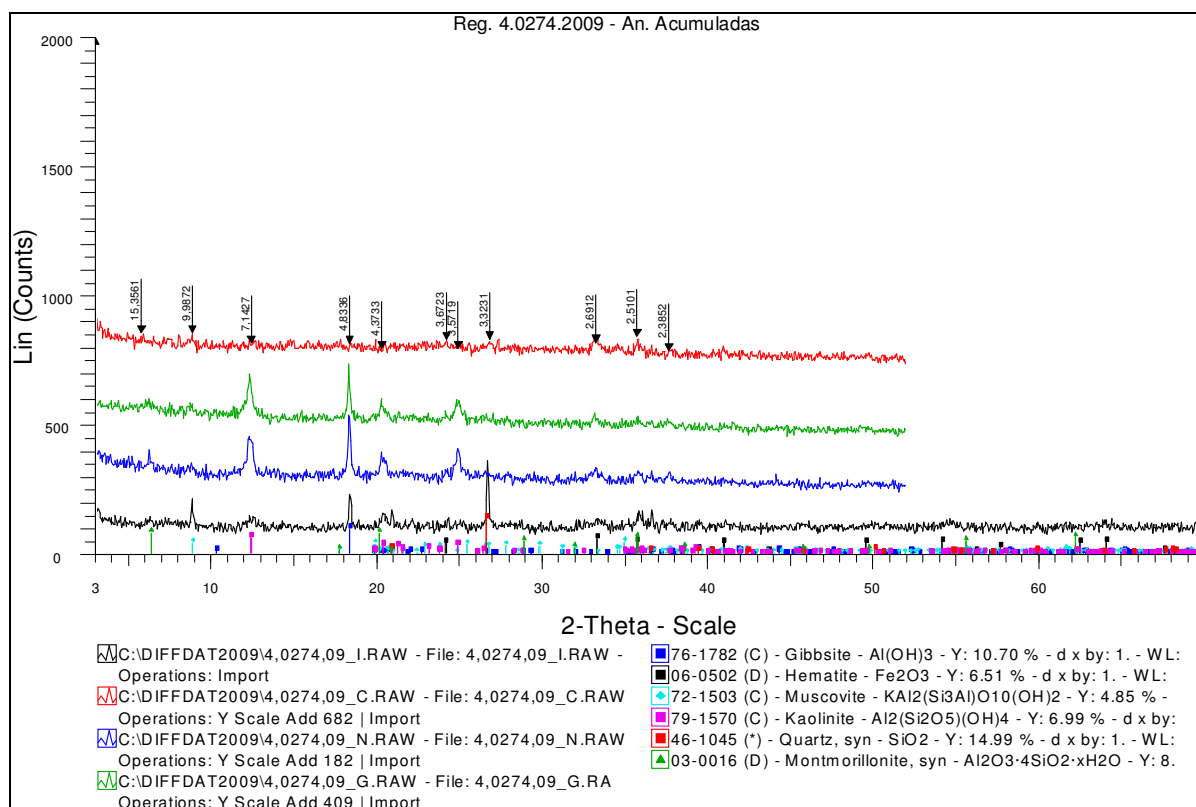


Figura 6.10 - Difratoograma da mistura composta por 20% pó de micaxisto filer+80% solo (mistura 3) – Análise Acumulada

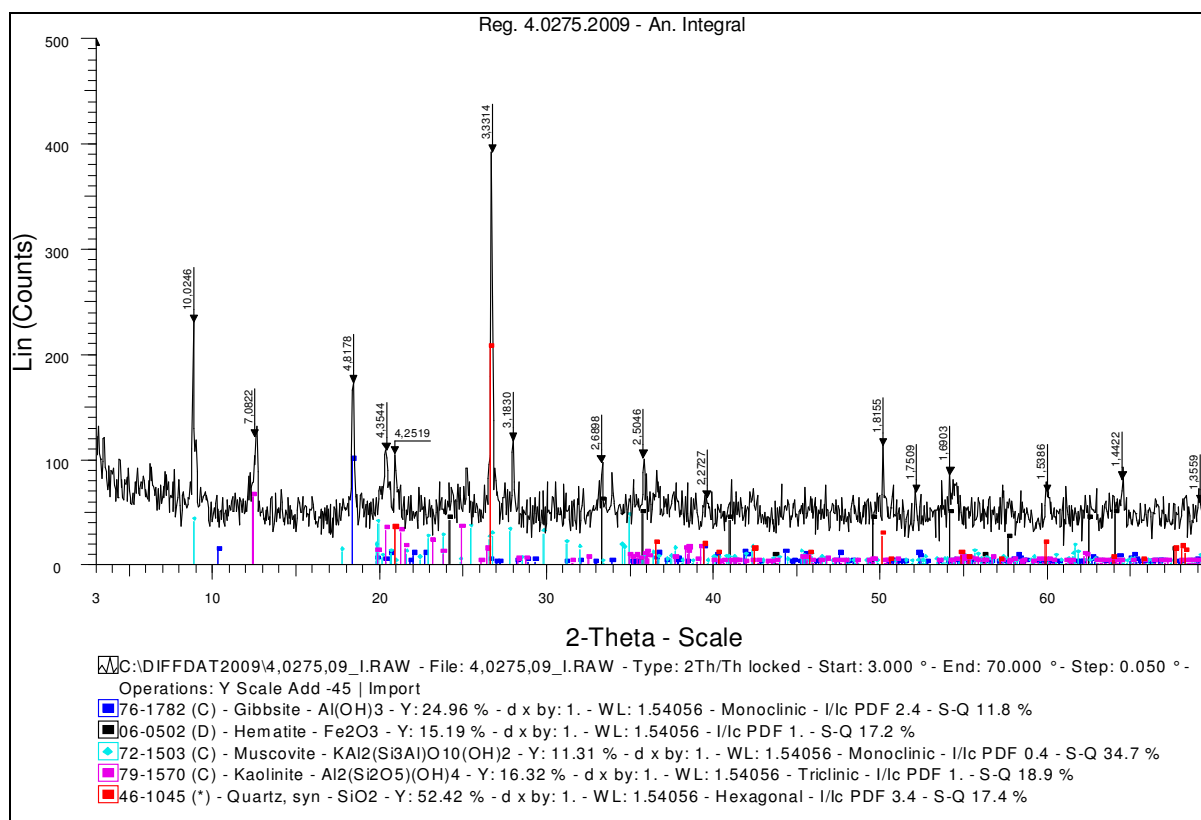


Figura 6.11 - Difratoograma da mistura composta por 30% pó de micaxisto+70% solo (mistura 4) – Análise Integral

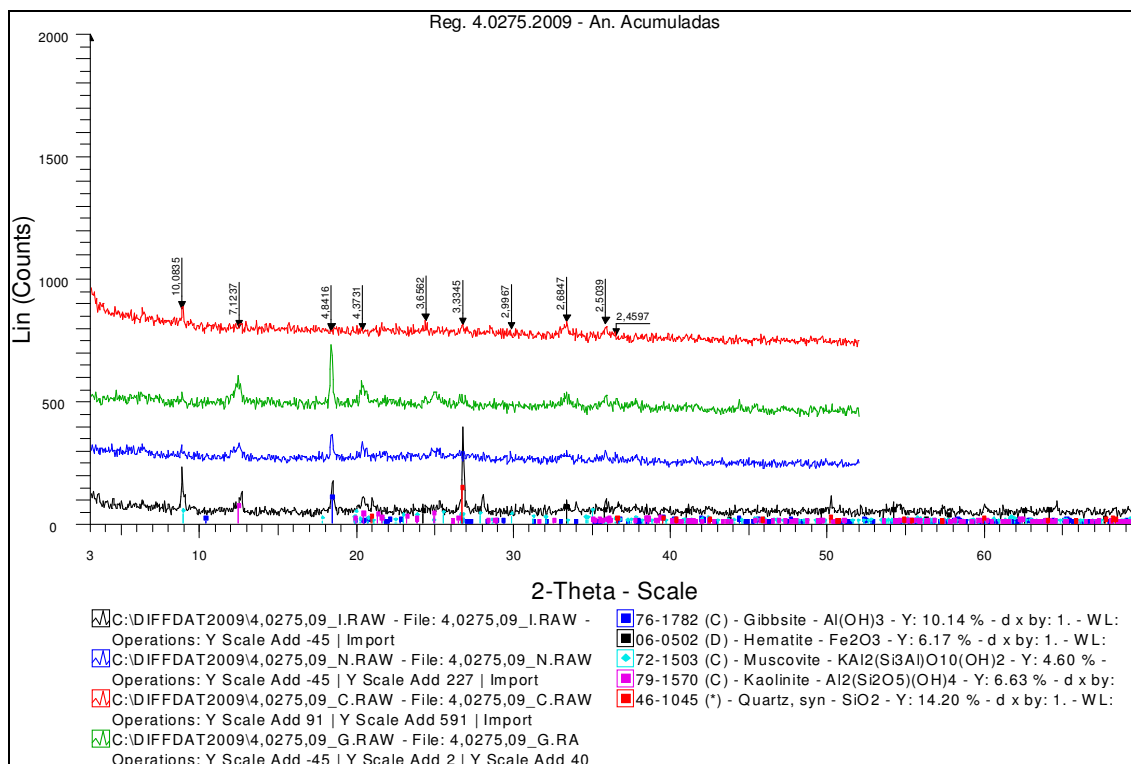


Figura 6.12 - Difratoograma da mistura composta por 30% pó de micaxisto+70% solo (mistura 4) – Análise Acumulada

### 6.3.3 Microscopia eletrônica de varredura

Para realização deste ensaio, foram confeccionados corpos de prova utilizando-se as mesmas energias de compactação adotadas na execução do trecho experimental, sendo elas: modificada (misturas 1, 3 e 4) e intermediária (mistura 2). Tentou-se também utilizar as umidades ótimas estabelecidas durante a compactação das misturas em laboratório determinadas por Luz (2008) e Araújo (2008), sendo elas: 14,8% (mistura 1), 16,5% (mistura 2), 14,5% (mistura 3) e 14,0% (mistura 4). Vale ressaltar que as imagens foram obtidas na mesma direção da compactação, não sendo possível verificar outras posições contrárias as da compactação.

As Figuras 6.13, 6.14, mostram as imagens obtidas para a mistura 1, enquanto as Figuras 6.15, 6.16, demonstram as imagens feitas para a mistura 2.

Nas Figuras 6.13 e 6.14 (mistura 1), 6.15 e 6.16 (mistura 2) podem ser observadas as ampliações a 50X e 100X, respectivamente. Pode-se observar que a estrutura das misturas apresenta-se homogênea, onde os grãos constituintes não aparecem muito individualizados estando a maioria deles ligados por uma massa aparentemente amorfa. Isto ocorre em função da granulometria do solo e do filler serem praticamente as mesmas. Além disso, não ocorre diferença da estrutura em função da variação da quantidade de filler.

Ainda com relação às misturas 1 e 2, pode-se avaliar a existência ou não de diferenças microestruturais em função da mudança da energia de compactação utilizada. Neste caso, pode-se observar que em termos de índice de vazios, praticamente não é possível constatar diferenças significativas. No entanto, nas imagens verifica-se a existência de maior contato entre as partículas dos materiais quando se utiliza a energia modificada (Figuras 6.13 e 6.14).

Na energia intermediária ainda é possível visualizar alguns grãos individualizados (Figuras 6.15 e 6.16). Este resultado pode ser confrontado com valores de resistência obtidos por Luz (2008), onde para a mistura 1 obteve-se um CBR de 60% e para a mistura 2, CBR de 43%. Assim, conclui-se que o maior contato entre as partículas proporcionado pela compactação na energia modificada gera maior resistência.

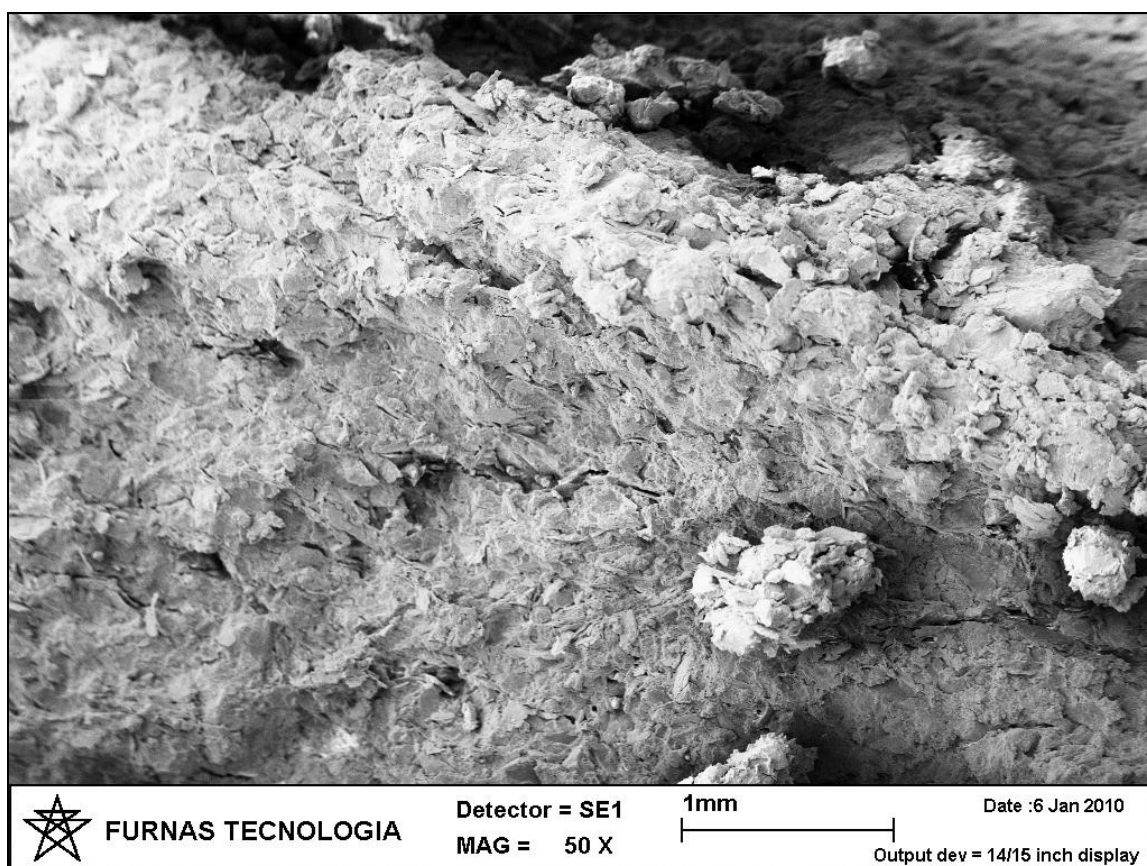


Figura 6.13 – Microscopia mistura 1- aumento de 50X



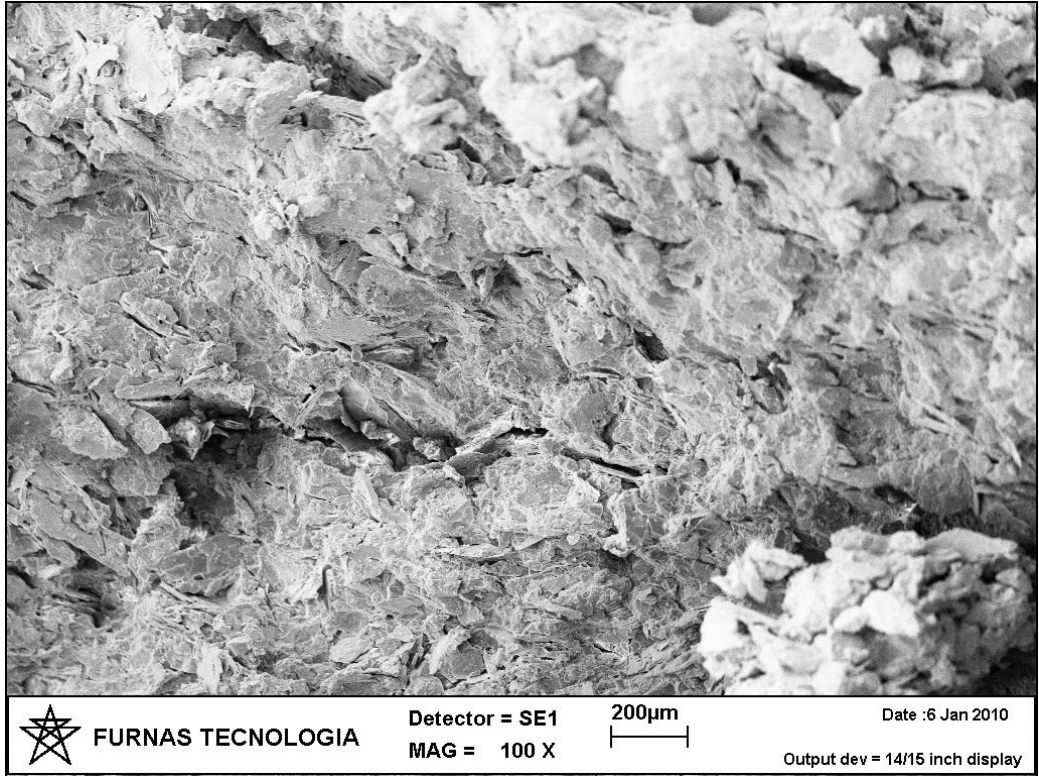


Figura 6.14 – Microscopia mistura 1 – aumento 100X

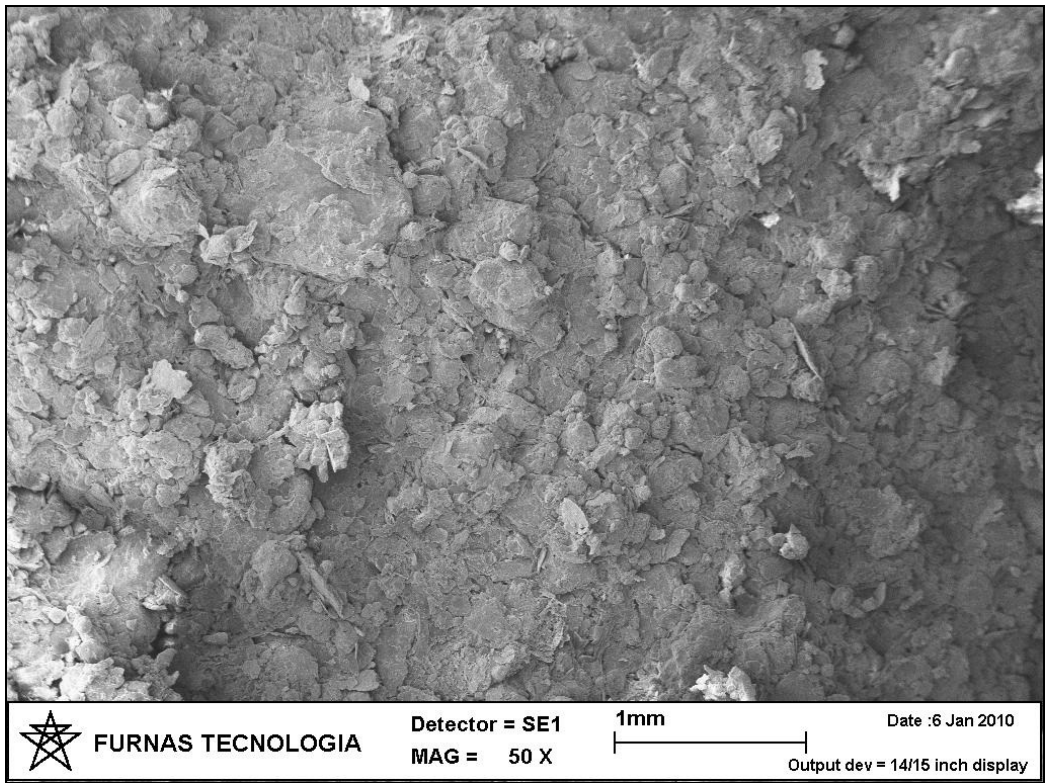


Figura 6.15 – Microscopia mistura 2 – aumento 50X

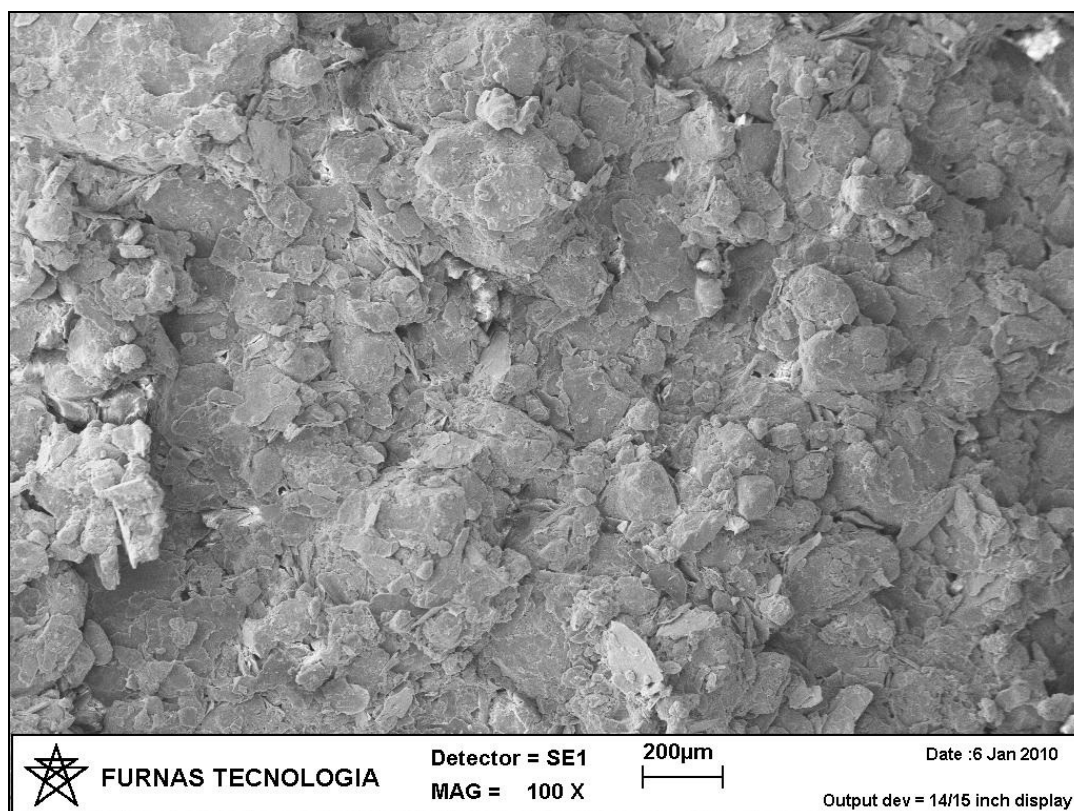


Figura 6.16 – Microscopia mistura 2 – aumento 100X

As Figuras 6.17 e 6.18 mostram os detalhes para as imagens obtidas na mistura 3, enquanto as Figuras 6.19 e 6.20 tem-se as imagens para a mistura 4.

A partir da obtenção das imagens de ampliações de 50X e 100X para ambas misturas, nota-se uma diferenciação em relação a estruturação obtida para as misturas com solo filler. Nestas composições de solo e pó de micaxisto, as imagens aparecem com concreções e pequenas depressões. Isto se deve ao fato do pó de micaxisto apresentar granulometria mais grossa que o filler. Com relação à energia de compactação não é possível identificar diferença significativa, uma vez que o trecho executado com pó de micaxisto utilizou-se a mesma energia (modificada). Apesar da composição das misturas serem diferentes, nas imagens obtidas não é possível observar mudanças estruturais, uma vez que a diferença é apenas de 10% em relação à quantidade de pó de micaxisto presente nas misturas.

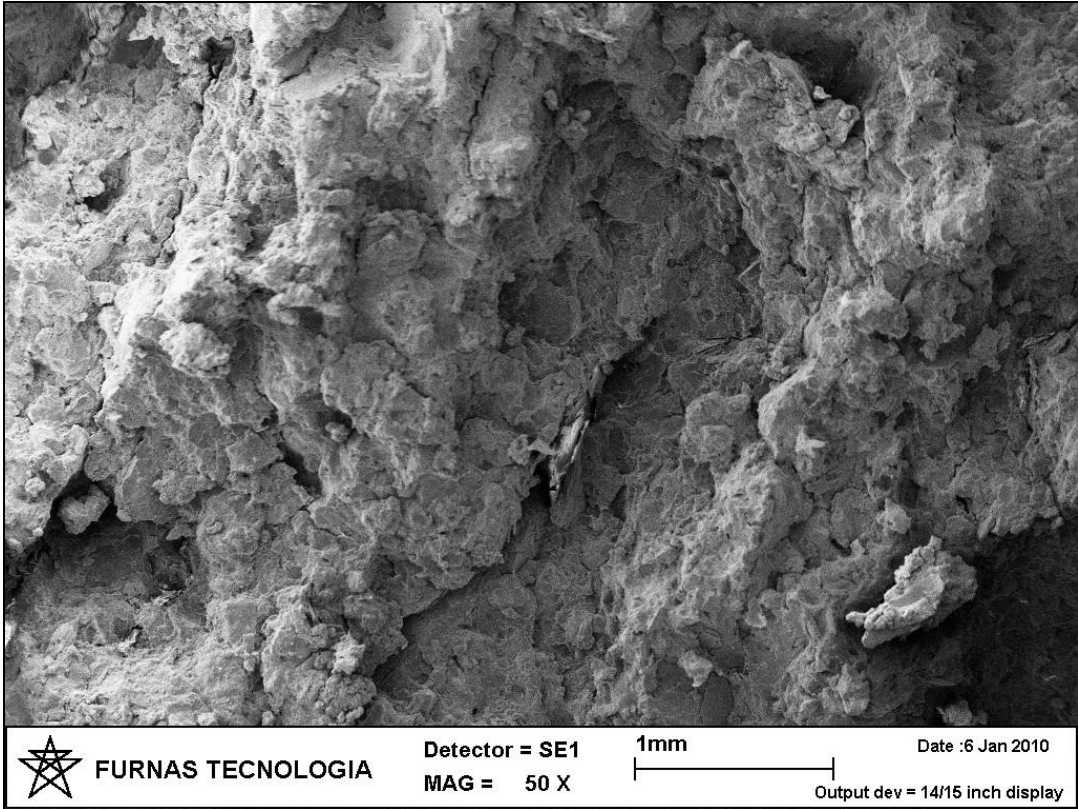


Figura 6.17 – Microscopia mistura 3 – aumento 50X

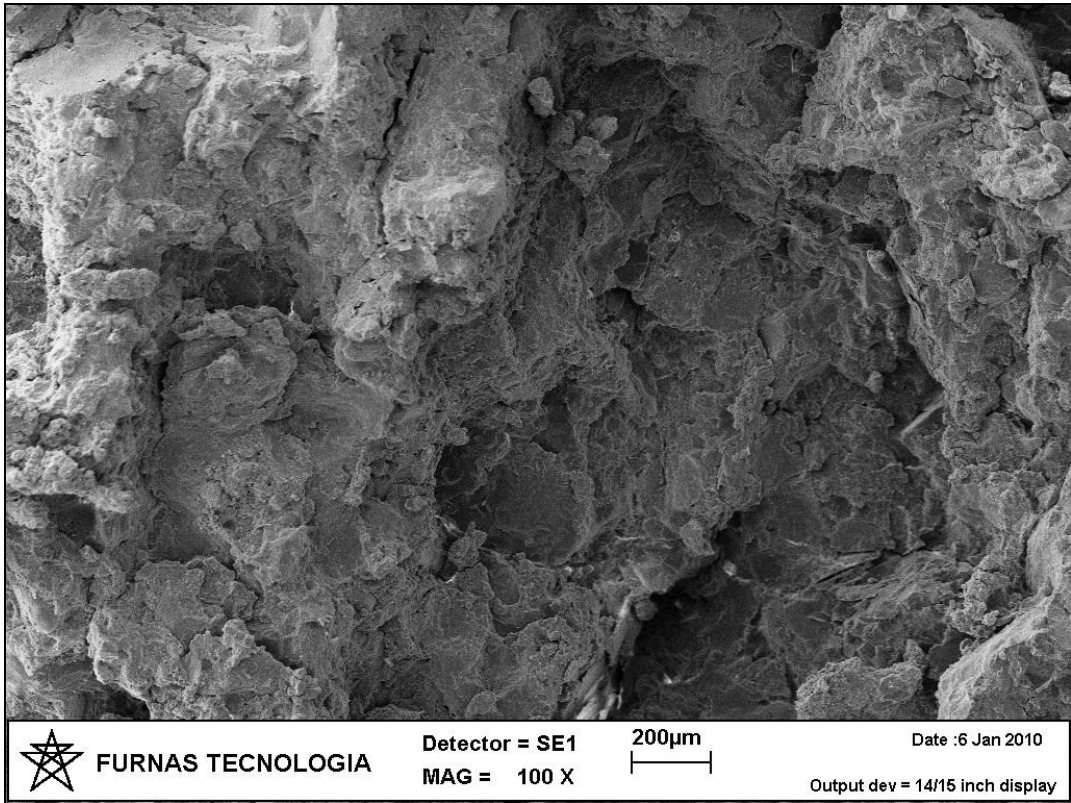


Figura 6.18 – Microscopia mistura 3 aumento 100X

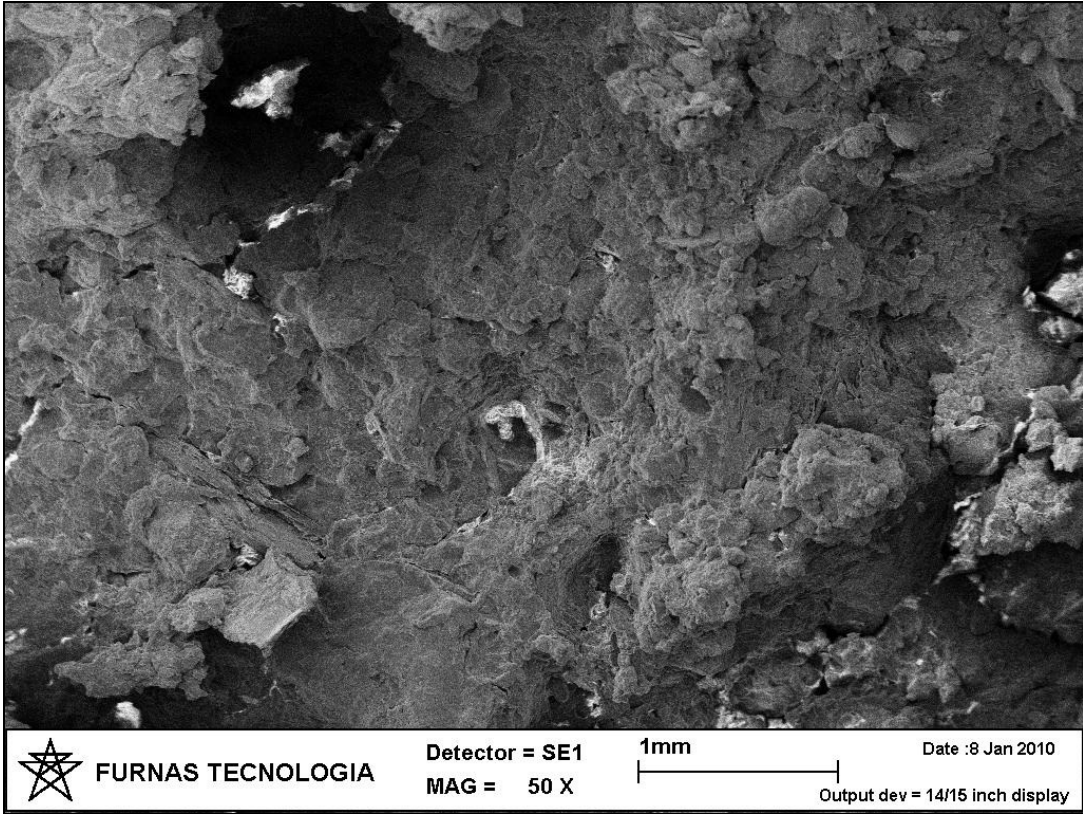


Figura 6.19 – Microscopia mistura 4 – aumento 50X

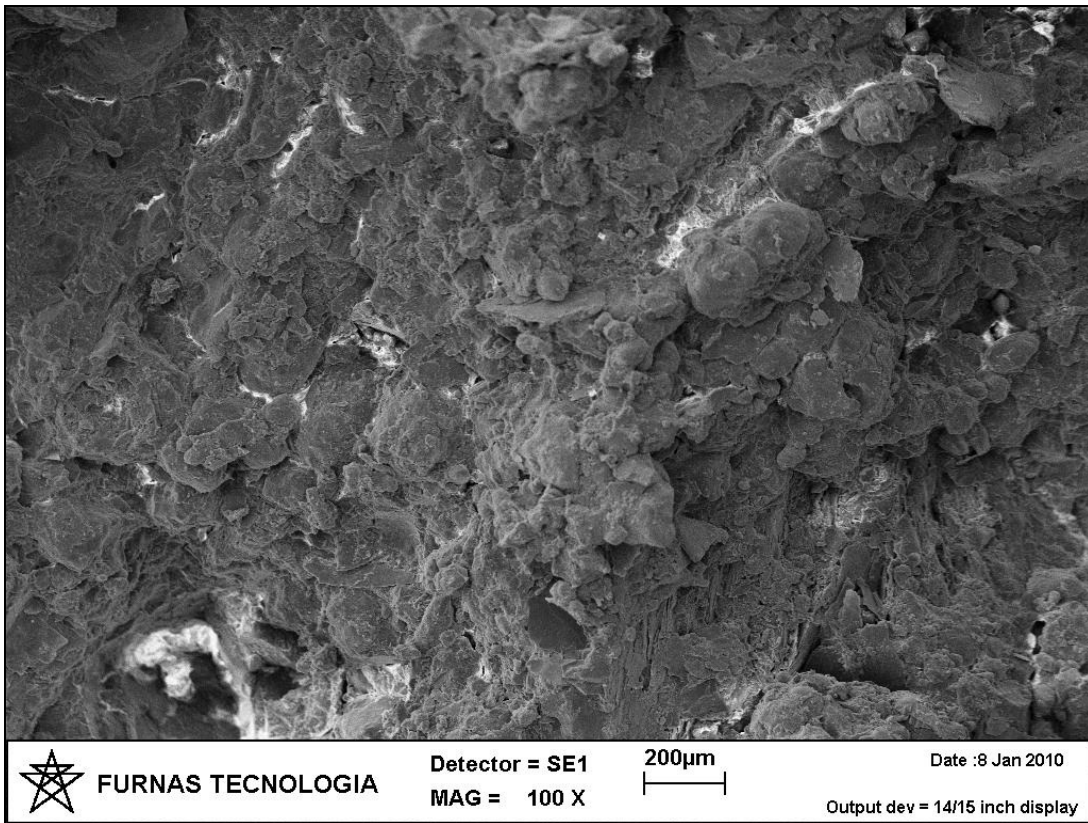


Figura 6.20 – Microscopia mistura 4 – aumento 100X

## 6.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CAMPO

### 6.4.1 Prova de Carga Sobre Placa

#### 6.4.1.1 Sub-trecho solo+filer

As Tabelas 6.2 e 6.3 apresentam os resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa realizado sobre o revestimento no sub-trecho solo+filer, determinados para um tempo de cinco minutos para cada carga aplicada, bem como na fase de descarregamento, onde  $d_t$  corresponde ao deslocamento total,  $k_{placa}$  corresponde ao módulo de reação e  $d_e$  corresponde ao deslocamento elástico, sendo todos os parâmetros obtidos para a tensão de 560 kPa. As Figuras 6.21 e 6.22 apresentam as curvas tensão versus deslocamento obtidas para os períodos de junho e novembro de 2009, respectivamente.

Destaca-se que o ensaio de prova de carga sobre placa, por não possuir uma normatização que especifique limites mínimos e máximos de deslocamentos, apresenta carência em definições mais concretas de valores admissíveis. No entanto, a partir deste ensaio é possível observar os deslocamentos obtidos quando aplica-se carga sobre a superfície da estrutura que deseja analisar e junto com resultados obtidos em outros ensaios de campo, auxiliar na interpretação do comportamento estrutural do pavimento.

Tabela 6.2 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+filer (junho 2009)

Estaca	$d_t$ (mm)	$d_e$ (mm)	$k_{placa}$ (kPa/mm)
E 01 BD	0,81	0,62	691,3
E 02 Eixo	0,62	0,16	903,2
E03 BE	1,17	0,83	478,6
<b>Média</b>	<b>0,86</b>	<b>0,53</b>	<b>691,0</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo,  $d_t$  = deslocamento total,  $d_e$  = deslocamento elástico,  $k_{placa}$  = módulo de reação para o ensaio de prova de carga sobre placa.

Tabela 6.3 - Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+filer (novembro 2009)

Estaca	$d_t$ (mm)	$d_e$ (mm)	$k_{placa}$ (kPa/mm)
E 01 BD	1,67	1,02	335,3
E 02 Eixo	0,54	0,29	1037,0
E03 BE	1,33	0,53	421,0
<b>Média</b>	<b>1,18</b>	<b>0,61</b>	<b>597,7</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo,  $d_t$  = deslocamento total,  $d_e$  = deslocamento elástico,  $k_{placa}$  = módulo de reação para o ensaio de prova de carga sobre placa.

Analisando os dados encontrados, pode-se observar que foram obtidos valores de médios de  $d_i$ , variando de 0,86 mm (junho) a 1,18 mm (novembro). Já na fase elástica, obteve-se valores médios de  $d_e$  igual a 0,53 mm (junho) e 0,61 mm (novembro). Observa-se que as variações de deslocamentos obtidas para o eixo da via estão menores do que aquelas observadas para os bordos direito e esquerdo, demonstrando um bom comportamento estrutural para o eixo da via. Essa maior resistência observada para o eixo pode ser explicada por dois fatores: melhor compactação durante a execução e ausência de dispositivos de drenagem o que permite a percolação da água da chuva pelos bordos, podendo até comprometer a resistência dos materiais da sub-base e base da secção do pavimento.

Para o módulo de reação ( $k_{placa}$ ), observa-se valores médios variando de 691,0 a 597,5 kPa/mm, mostrando que a estrutura do pavimento apresentou perda de resistência entre os períodos avaliados. Este comportamento pode ter ocorrido devido à ação da água da chuva, já que no mês de novembro de 2009 foi medido um índice pluviométrico de 194,9 mm contra 31,3 mm no mês de junho de 2009 (dados fornecidos pelo 10º DISME GO/TO do Instituto Nacional de Meteorologia).

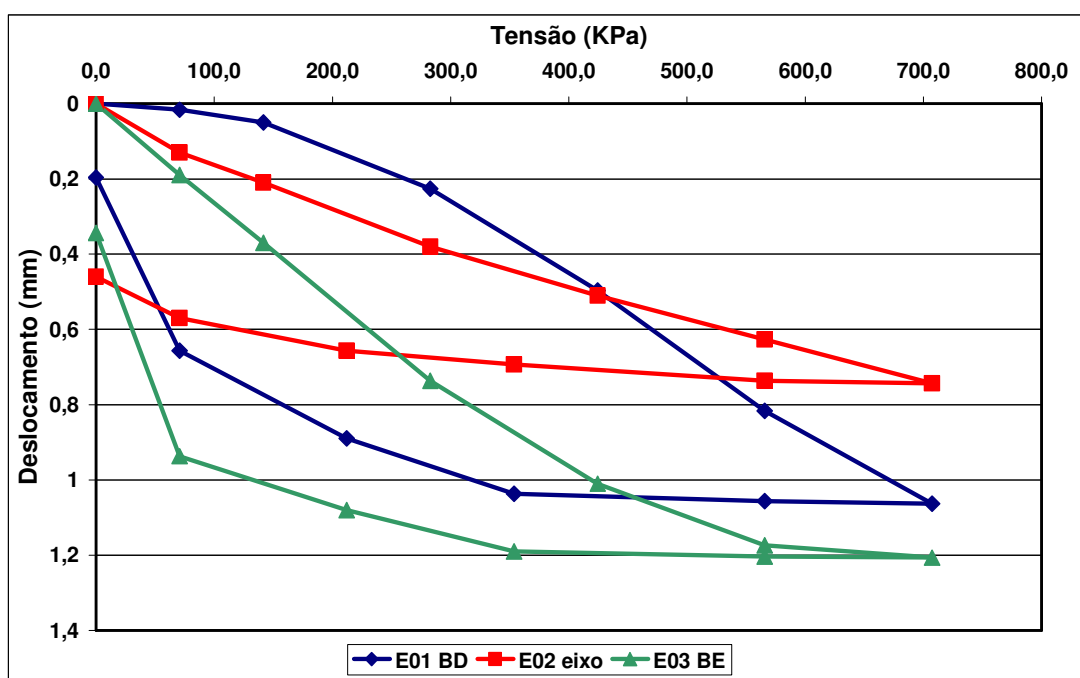


Figura 6.21 – Curva Tensão X Deslocamento (junho 2009) sub-trecho solo+filer

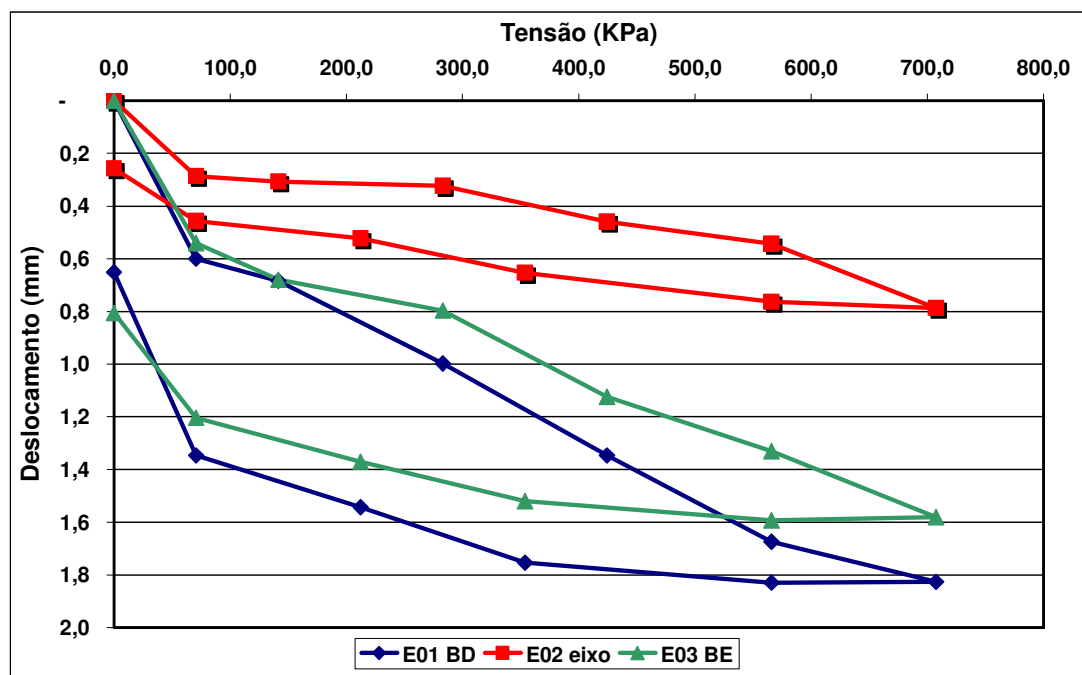


Figura 6.22 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro 2009) sub-trecho solo+filer

#### 6.4.1.2 Sub-trecho solo+brita 1

As Tabelas 6.4 e 6.5 apresentam os resultados do ensaio de prova de carga sobre placa para o sub-trecho executado utilizando como material constituinte das camadas de sub-base e base a mistura de solo+brita 1. As Figuras 6.23 e 6.24 demonstram as curvas tensão x deslocamento para o ensaio de prova de carga sobre placa realizado sobre o revestimento em dois períodos amostrais, junho e novembro de 2009.

Tabela 6.4 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+brita 1 (junho 2009)

Estaca	$d_t$ (mm)	$d_e$ (mm)	$k_{placa}$ (kPa/mm)
E 07 BD	0,59	0,19	949,1
E 08 Eixo	0,49	0,23	1142,8
E09 BE	0,87	0,08	643,6
<b>Média</b>	<b>0,65</b>	<b>0,16</b>	<b>911,8</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo,  $d_t$  = deslocamento total,  $d_e$  = deslocamento elástico,  $k_{placa}$  = módulo de reação para o ensaio de prova de carga sobre placa.

Tabela 6.5 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+brita 1 (novembro 2009)

Estaca	$d_t$ (mm)	$d_e$ (mm)	$k_{placa}$ (kPa/mm)
E 07 BD	0,89	0,23	629,2
E 08 Eixo	1,07	0,33	523,3
E09 BE	0,92	0,29	608,6
<b>Média</b>	<b>0,96</b>	<b>0,28</b>	<b>587,0</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo,  $d_t$  = deslocamento total,  $d_e$  = deslocamento elástico,  $k_{placa}$  = módulo de reação para o ensaio de prova de carga sobre placa.

Para o sub-trecho solo+brita 1, verifica-se que grande parte das estacas ensaiadas apresentou baixos valores de deslocamento tanto para os bordos como para o eixo. Entre as duas etapas de ensaio, verifica-se aumento dos deslocamentos, o que pode estar relacionado com a queda de resistência durante o período chuvoso.

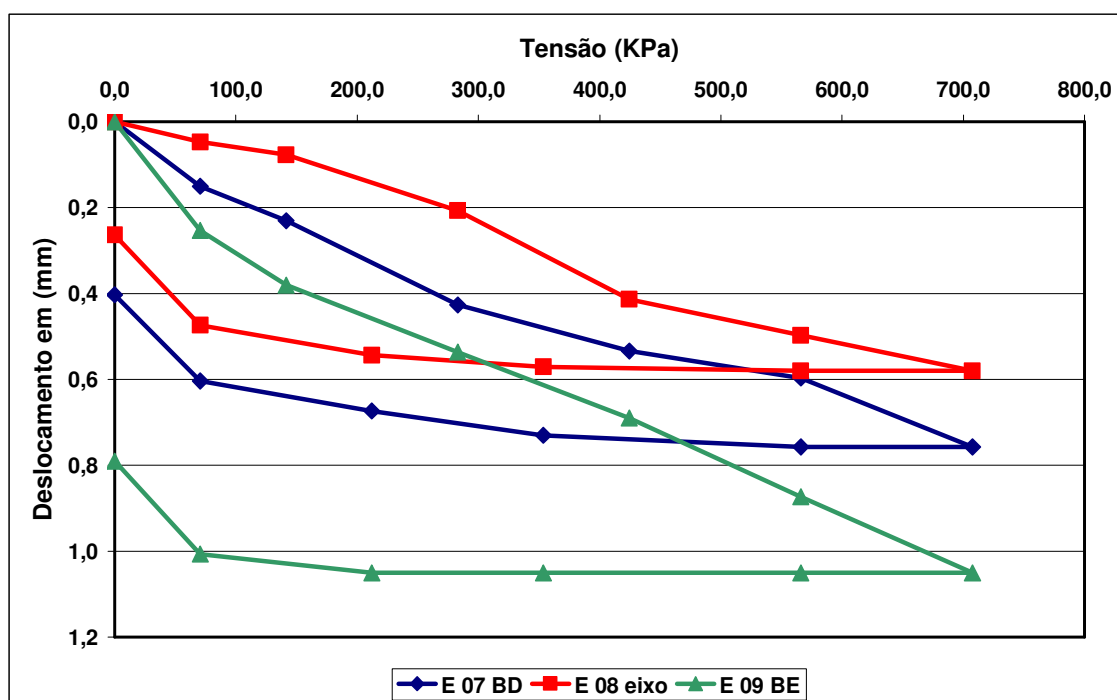


Figura 6.23 – Curva Tensão X Deslocamento (junho 2009) sub-trecho solo+brita 1

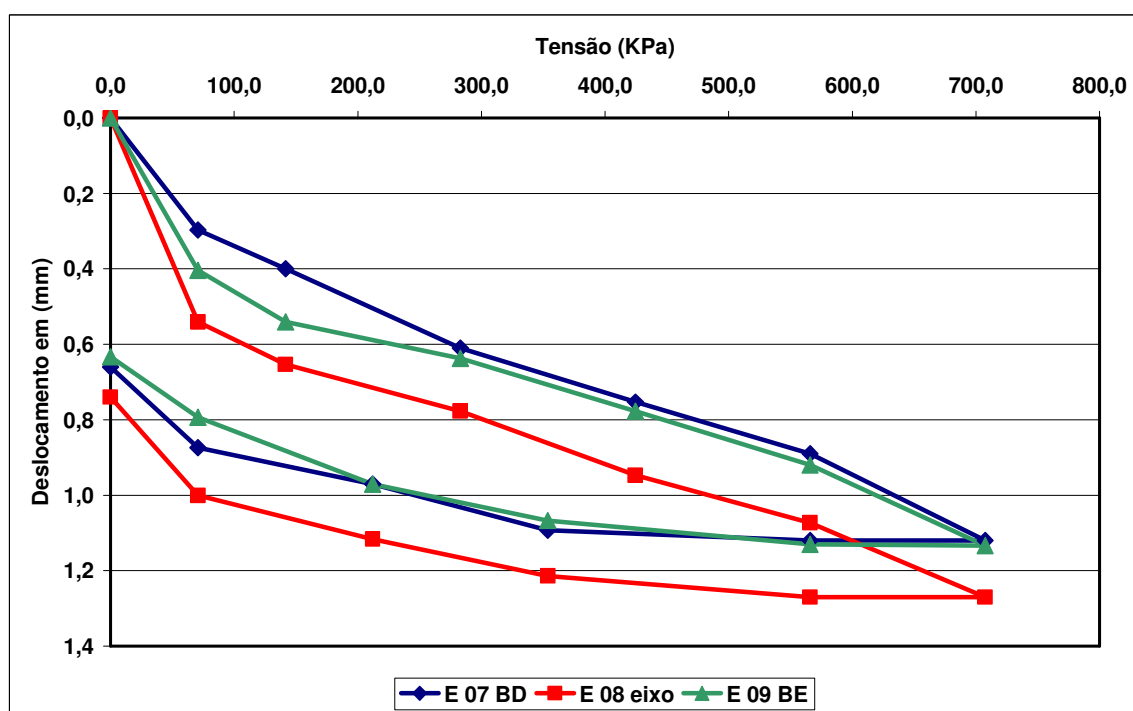


Figura 6.24 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro 2009) sub-trecho solo+brita 1



### 6.4.1.3 Sub-trecho cascalho laterítico

Os resultados obtidos para ensaio de prova de carga sobre placa para o sub-trecho composto pelo material tradicional (cascalho), são apresentados nas Tabelas 6.6 e 6.7 e nas Figuras 6.25 e 6.26.

Tabela 6.6 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho cascalho laterítico (junho 2009)

Estaca	$d_t$ (mm)	$d_e$ (mm)	$k_{placa}$ (kPa/mm)
E 17 BD	0,95	0,64	589,4
E 18 Eixo	0,95	0,32	589,4
E19 BE	0,58	0,27	965,5
<b>Média</b>	<b>0,82</b>	<b>0,41</b>	<b>714,7</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo,  $d_t$  = deslocamento total,  $d_e$  = deslocamento elástico,  $k_{placa}$  = módulo de reação para o ensaio de prova de carga sobre placa.

Tabela 6.7 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho cascalho laterítico (novembro 2009)

Estaca	$d_t$ (mm)	$d_e$ (mm)	$k_{placa}$ (kPa/mm)
E 17 BD	1,18	0,47	474,5
E 18 Eixo	1,20	0,38	466,6
E19 BE	0,65	0,15	861,5
<b>Média</b>	<b>1,01</b>	<b>0,33</b>	<b>600,8</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo,  $d_t$  = deslocamento total,  $d_e$  = deslocamento elástico,  $k_{placa}$  = módulo de reação para o ensaio de prova de carga sobre placa.

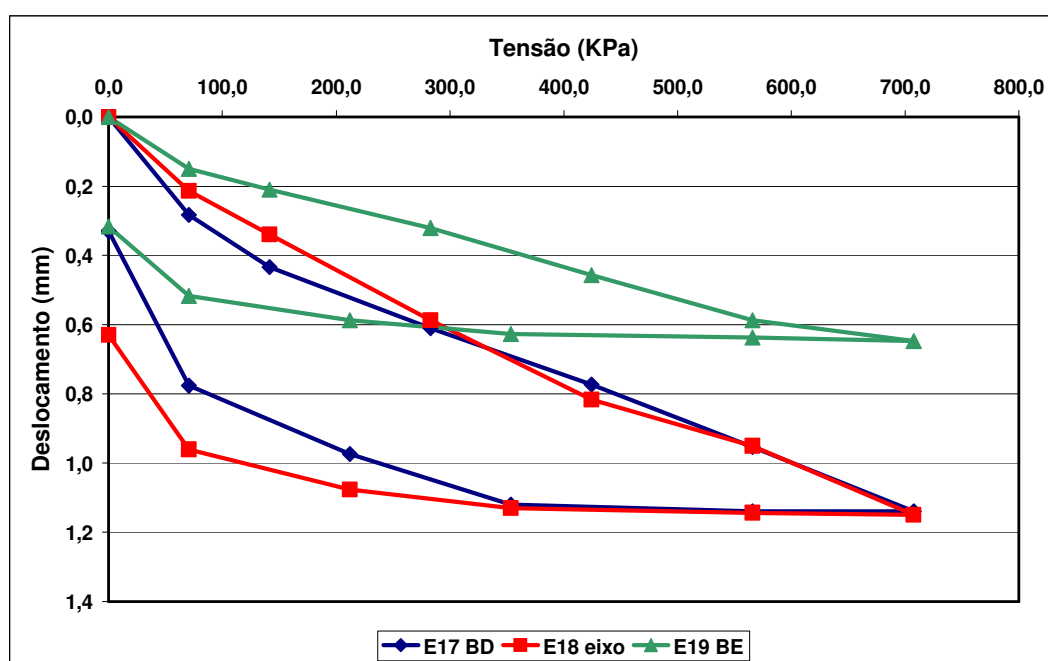


Figura 6.25 – Curva Tensão X Deslocamento (junho 2009) sub-trecho cascalho laterítico

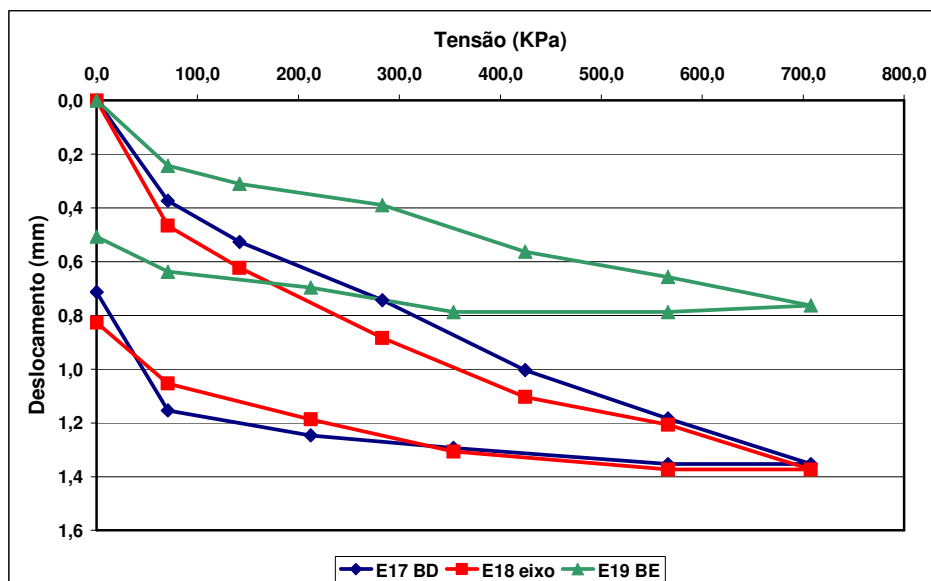


Figura 6.26 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro 2009) sub-trecho cascalho laterítico

Ao analisar os valores obtidos para o sub-trecho de cascalho laterítico pode-se verificar similaridades entre os resultados obtidos em ambos os períodos analisados e nas diferentes estacas ensaiadas. Nota-se que as estacas situadas no bordo direito e no eixo apresentaram maiores deslocamentos quando comparadas com a situada no bordo esquerdo. Este fato pode ser explicado pelo aparecimento de um buraco (panela) em regiões próximas às estacas 17 e 18, o que compromete a resistência do material em função da alta umidade proporcionada pela percolação de água na estrutura do pavimento. Esta panela provavelmente surgiu em detrimento de rachaduras provocada por pás carregadeiras que transitavam pelo local (Figura 6.27).



Figura 6.27 – Detalhe da panela provocada por maquinário local.

O módulo de reação da placa obteve valor máximo de 965,5kPa/mm para o primeiro período analisado e 861,5kPa/mm para a segunda fase de desenvolvimento dos experimentos em campo. Ao analisar as curvas de tensão versus deslocamento (Figuras 6.25 e 6.26), pode-se observar grande similaridade das mesmas em todas as estacas ensaiadas e em ambos períodos amostrais. Este fato pode estar correlacionado ao bom desempenho do material em campo apresentando.

#### 6.4.1.4 Sub-Trecho solo+pó de micaxisto

Os valores das deformações determinada para o sub-trecho executando com solo acrescido de pó de micaxisto estão apresentados nas Tabelas 6.8 e 6.9, para ambos os períodos amostrados, obtidos para um tempo de cinco minutos para cada carga aplicada, bem como na fase de descarregamento. Nas Figuras 6.28 e 6.29 é possível verificar a curva tensão x deformação obtidas.

Tabela 6.8 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009)

Estaca	$d_t$ (mm)	$d_e$ (mm)	$k_{placa}$ (kPa/mm)
E 27 BD	1,05	0,37	533,3
E 28 Eixo	0,57	0,30	982,4
E29 BE	0,93	0,42	602,1
<b>Média</b>	<b>0,85</b>	<b>0,36</b>	<b>705,9</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo,  $d_t$  = deslocamento total,  $d_e$  = deslocamento elástico,  $k_{placa}$  = módulo de reação para o ensaio de prova de carga sobre placa.

Tabela 6.9 – Resultados obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009)

Estaca	$d_t$ (mm)	$d_e$ (mm)	$k_{placa}$ (kPa/mm)
E 27 BD	1,14	0,63	491,2
E 28 Eixo	1,84	0,18	304,3
E29 BE	0,64	0,25	875,0
<b>Média</b>	<b>1,20</b>	<b>0,35</b>	<b>556,8</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo,  $d_t$  = deslocamento total,  $d_e$  = deslocamento elástico,  $k_{placa}$  = módulo de reação para o ensaio de prova de carga sobre placa.

Ao analisar os dados obtidos, pode-se observar valores em junho de 2009 de  $d_t$  com média 0,85 mm (junho) e de 1,20 mm (novembro). Já os módulos de reação  $k_{placa}$  apresentaram valores máximos de 982,4 kPa/mm em junho de 2009 e 875,0 kPa/mm em novembro de 2009. Neste sub-trecho é possível notar um melhor desempenho estrutural para

a estaca situada no eixo para o mês de junho. No entanto, no mês de novembro o eixo apresentou o maior valor de deslocamento. Este comportamento não seria esperado e até o momento não se sabe quais seriam os motivos que levaram a isso. Já nas estacas situadas no bordo direito e esquerdo ocorrem pequenas variações de deslocamento em função do período avaliado.

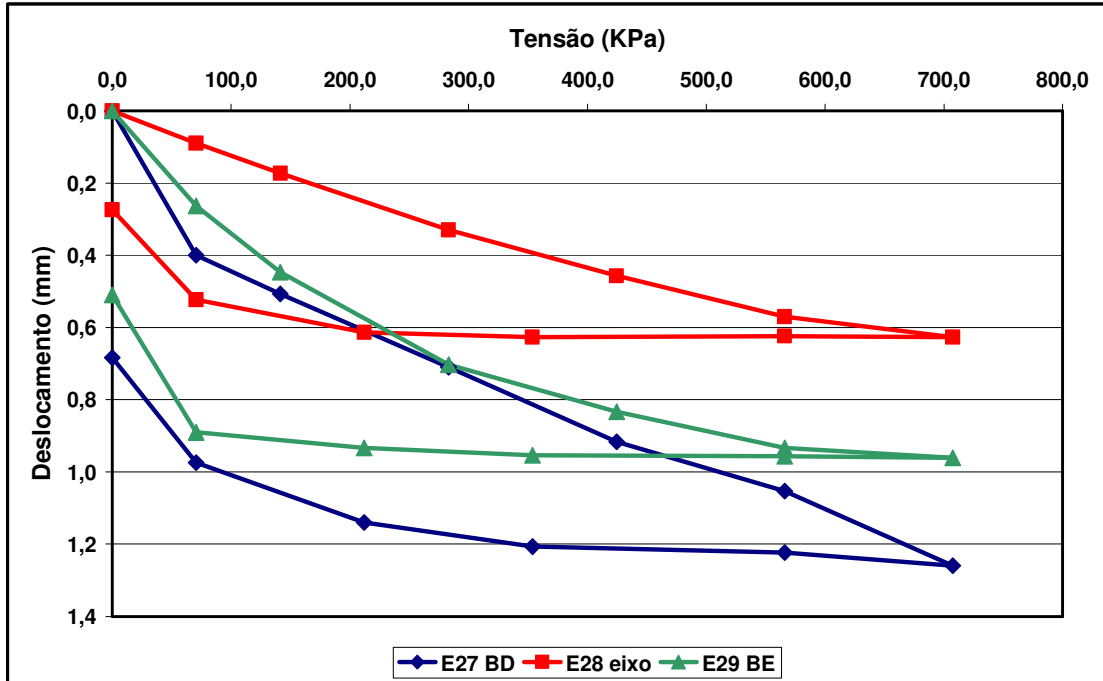


Figura 6.28 – Curva Tensão X Deslocamento (junho de 2009) sub-trecho solo+pó de micaxisto

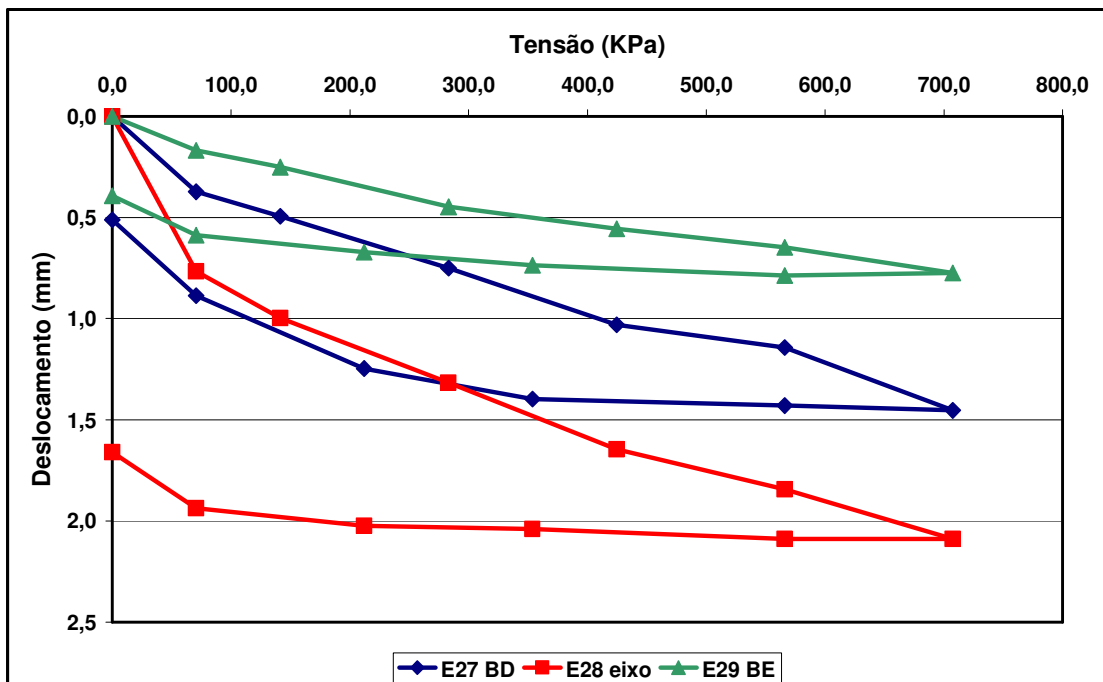


Figura 6.29 – Curva Tensão X Deslocamento (novembro de 2009) sub-trecho solo+pó de micaxisto

## 6.4.2 Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP)

### 6.4.2.1 Sub-Trecho solo+filer

Na Figura 6.30 observa-se as curvas de DCP, que consiste em uma representação gráfica da relação entre o número de golpes acumulado para a penetração da haste do equipamento (abscissas) e a profundidade (ordenadas). É possível identificar curvas com características bem heterogêneas, sendo que no bordo direito tem-se diferenças de inclinação mais nítidas e no eixo foram necessários mais golpes para realizar a penetração da haste. Assim, com os dados apresentados na Tabela 6.10 e com as curvas apresentadas na Figura 6.30 pode-se afirmar que as camadas de sub-base e base apresentam menor resistência no bordo direito. Esta conclusão é semelhante àquela já apresentada no ensaio de prova de carga sobre placa, sendo que a provável explicação desse fato é a influência da água da chuva.

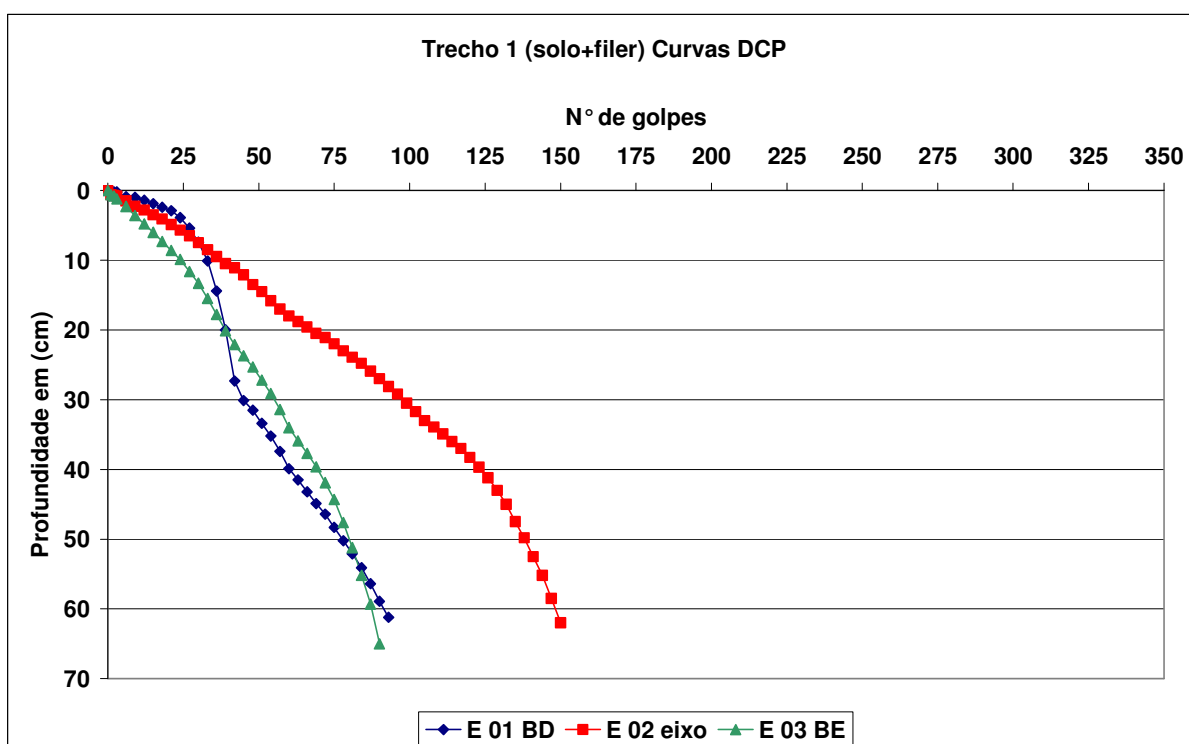


Figura 6.30 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+filer

Na Figura 6.31 tem-se a relação entre os índices de penetração (DN) em mm/golpes e a profundidade. Neste gráfico, é possível observar os locais onde ocorrem as mudanças comportamentais do material e as referidas camadas existentes no pavimento. No

entanto, para o bordo direito ocorre uma inversão no sentido do diagrama, sendo este fato explicado pela baixa resistência da segunda camada e consequentemente aumento do DN.

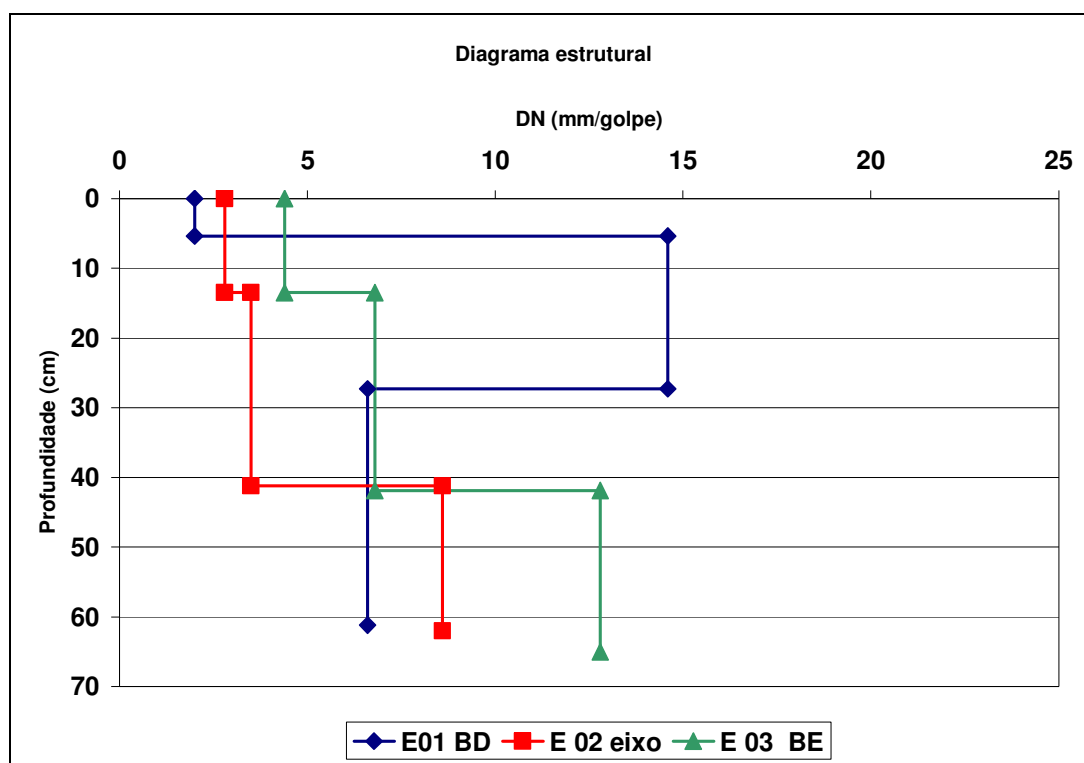


Figura 6.31 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+filer

Para este sub-trecho, verifica-se a existência de três camadas distintas ao longo do perfil de pavimento analisado. Na base é possível identificar uma camada superior mais resistente com espessura variando entre 5,4 cm a 13,5 cm, sendo que esta grande resistência em campo é explicada pela secagem realizada durante a fase executiva o que necessariamente conferiu resistência para essa primeira camada. Apesar das energias de compactação e dos teores de fíler serem diferentes na camada de sub-base e base, nesse ensaio não é possível identificar precisamente onde ocorre a mudança entre as camadas. Isto mostra a existência de homogeneidade devido aos materiais utilizados na mistura.

No projeto, foi dimensionada a espessura de 15 cm tanto para sub-base como para a base. Sendo assim, a soma das duas camadas seria algo em torno de 30 cm. No ensaio com o DCP, foram obtidos valores variando entre 27 cm e 42 cm, mostrando que o pavimento pode ter sido executado com espessuras maiores que aquelas definidas em projeto

A Tabela 6.10 demonstra os resultados da profundidade (obtida com a penetração da haste), espessura (das camadas) e índice de penetração (DN) determinados a partir do ensaio de Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) para o sub-trecho solo+filer.

Tabela 6.10 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+filer (novembro de 2009)

Estaca		Profundidade (cm)	Espessura (cm)	DN (mm/golpe)
Estaca 01 BD	Camada 1	5,4	5,4	2,0
	Camada 2	27,3	21,9	14,6
	Camada 3	61,20	39,3	6,6
Estaca 02 Eixo	Camada 1	13,5	13,5	2,8
	Camada 2	41,2	27,7	3,5
	Camada 3	62,0	34,3	8,6
Estaca 03 BE	Camada 1	13,3	13,3	4,4
	Camada 2	41,9	28,6	6,8
	Camada 3	65,0	36,4	12,8

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Na literatura existem diferentes maneiras de obter-se o valor de CBR em função do Índice de Penetração (DN). Neste trabalho adotou-se algumas das correlações realizadas em pavimentos executados no Brasil. Sendo assim, Heyn (1986 apud RESPLANDES, 2007) estudando rodovias no estado do Paraná utilizando o DCP, obtendo a seguinte correlação demonstrada na equação 6.1:

$$CBR = 443,5 \times (DN)^{-1,3} \quad (6.1)$$

Onde:

CBR: capacidade de suporte (%);

(DN):  $DN$  = índice de penetração obtido no ensaio com DCP (mm/golpes).

Outra correlação entre CBR e DN foi obtida no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA) pelos pesquisadores Oliveira e Vertamtti (1997 apud RESPLANDES, 2007), estudando solos tradicionais empregados em rodovias no estado de São Paulo, chegando à seguinte Equação 6.2:

$$\log CBR = 2,49 - 1,057 \times (\log DN) \quad (6.2)$$

onde:

$CBR$  e  $DN$  são variáveis já definidas anteriormente

Lopes et al. (2007) demonstraram em seu trabalho uma correlação para a mistura estudada nesta pesquisa, obtendo a Equação 6.3 descrita a seguir:

$$\log(\text{CBR}) = \log(-1,4799 \cdot \text{DN} + 39,68) \quad (6.3)$$

onde:

*CBR* e *DN* são variáveis já definidas neste item.

Na Tabela 6.11, estão apresentados os resultados de DN e respectivos valores de CBR obtidos por meio das correlações descritas anteriormente para o sub-trecho solo+filer.

Tabela 6.11 – Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para o sub-trecho solo+filer (novembro de 2009)

Estaca		DN (mm/golpe)	CBR (%)		
			Heyn (1986)	O. e V. (1997)	Lopes et al. (2007)
Estaca 01 BD	Camada 1	2,0	180,1	148,1	36,7
	Camada 2	14,6	13,5	18,1	18,0
	Camada 3	6,6	38,1	42,0	29,9
Estaca 02 Eixo	Camada 1	2,8	116,1	104,0	35,5
	Camada 2	3,5	86,9	82,2	34,5
	Camada 3	8,6	27,0	31,7	26,9
Estaca 03 BE	Camada 1	4,4	64,6	64,5	33,1
	Camada 2	6,8	36,6	40,7	29,6
	Camada 3	12,8	16,1	20,8	20,7

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Ao analisar os resultados encontrados, verifica-se que as equações de Heyn e Oliveira e Vertamtti geralmente superestimam os valores de CBR para os materiais existentes no trecho experimental. Mesmo assim, pode-se observar que o subleito dessa via apresenta valores maiores do que os normalmente encontrados nos subleitos da região (CBR entre 5% e 10%). Isto pode ser explicado pelo fato de que antes de ser pavimentada, esta via já havia recebido um revestimento primário e já estava aberta ao tráfego. Esta situação proporcionou a compactação do subleito e conseqüente aumento de resistência. Os valores de CBR obtidos para o solo-filer por meio da correlação especialmente determinada para esta mistura (LOPES et al., 2007) foram menores do que aqueles determinados em laboratório por Luz (2008).



### 6.4.2.2 Sub-Trecho solo+brita 1

Na Figura 6.32 observa-se as curvas de DCP, resultado da representação gráfica do número de golpes (abscissas) acumulada para a penetração da haste do equipamento, com a profundidade (ordenadas). Para este sub-trecho é possível identificar em todas as estacas ensaiadas a presença de curvas mais alongadas, o que demonstra a necessidade de mais golpes para penetração da haste na secção do pavimento. Somente na curva característica do bordo direito é mais nítida as mudanças de inclinações. A partir dos resultados de espessura, índice de penetração e a tendência mostrada na curva DCP, pode-se afirmar que este sub-trecho apresenta boa resistência em todas as estacas ensaiadas, o que demonstra que o pavimento apresenta até o momento desempenho estrutural satisfatório.

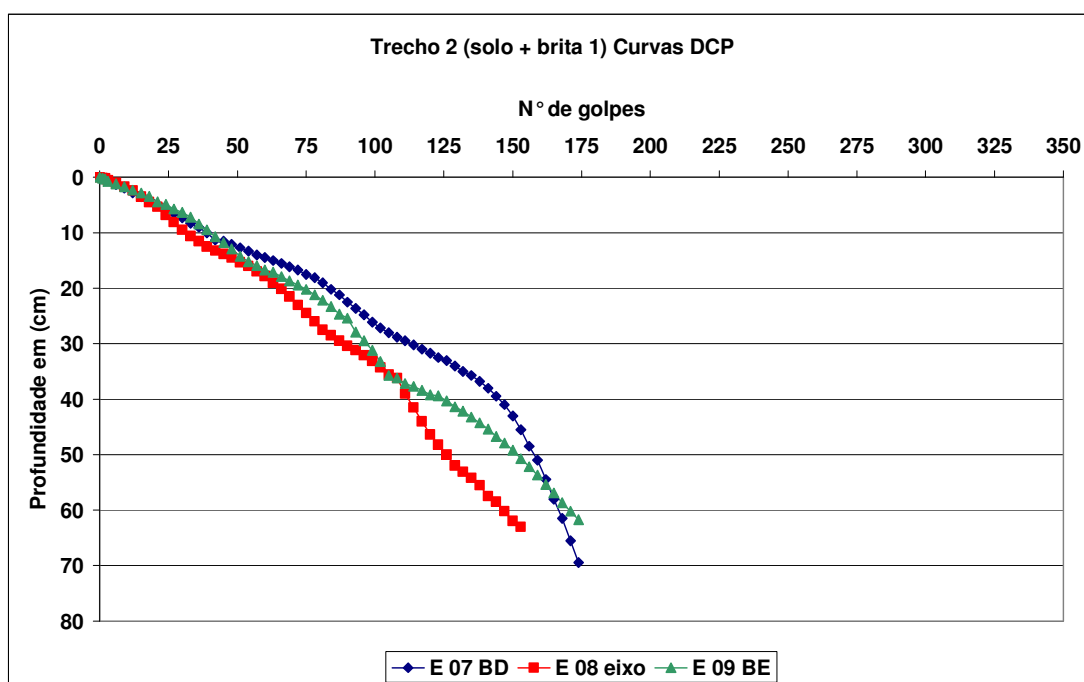


Figura 6.32 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+brita 1

Na Figura 6.33 tem-se a relação entre os índices de penetração (DN) em mm/golpes e a profundidade obtida para o sub-trecho solo+brita 1. Ao analisar o diagrama estrutural nota-se claramente os locais que são definidos a mudança de resistência comportamental do material utilizado para a confecção das camadas de sub-base e base. Neste gráfico, é possível observar os locais onde ocorrem as mudanças comportamentais do material e as referidas camadas existentes no pavimento. Também é possível observar elevados valores de (DN), o que permite identificar camadas com alta resistência estrutural.

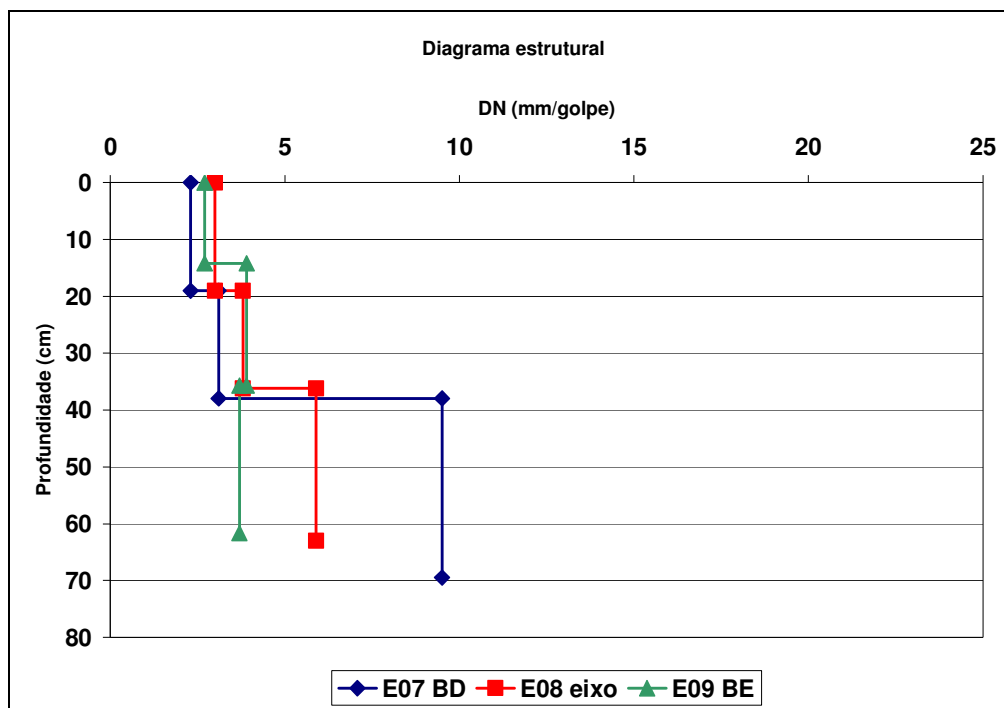


Figura 6.33 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+brita 1

Para este sub-trecho também é possível identificar a existência de três camadas. A primeira camada superior mais resistente que corresponde à base do pavimento, com espessura variando de 14,2 cm a 19,0 cm. Apesar da base e sub-base terem sido compactadas na mesma energia, nota-se a existência de uma segunda camada correspondente à sub-base com resistência um pouco menor que a base e espessura variando entre 17,2 cm e 21,5 cm. Em seguida, tem-se o subleito que corresponde à camada 3 da Tabela 6.12.

No ensaio com o DCP foram obtidos valores variando entre 35,7 cm e 38,0 cm para a soma das camadas de sub-base e base. No entanto ressalta-se que a espessura determinada em projeto está em torno de 15 cm para as camadas o que daria uma composição de 30 cm para as duas camadas situadas na parte superior, isto mostra que o pavimento executado com solo-brita também apresentam valores maiores dos que foram definidos em projeto.

Os resultados de profundidade, espessura e DN obtidos no ensaio de Penetrômetro Dinâmico de Cone (DCP) para o sub-trecho solo + brita 1, estão demonstrados na Tabela 6.12.

Tabela 6.12 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+brita 1 (novembro de 2009)

Estaca		Profundidade (cm)	Espessura (cm)	DN (mm/golpe)
Estaca 07 BD	Camada 1	19,0	19,0	2,3
	Camada 2	38,0	19,0	3,1
	Camada 3	69,5	50,5	9,5
Estaca 08 Eixo	Camada 1	19,0	19,0	3,0
	Camada 2	36,2	17,2	3,8
	Camada 3	63,0	45,8	5,9
Estaca 09 BE	Camada 1	14,2	14,2	2,7
	Camada 2	35,7	21,5	3,9
	Camada 3	61,7	40,2	3,7

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Para análise dos valores de CBR, que é obtido a partir dos valores de DN, utilizou-se as mesmas correlações aplicadas para o sub-trecho solo+filer. Além disso, ainda utilizou-se a correlação elaborada por Angelone *et al.* (1991 *apud* RIBEIRO, 2006), através de ensaios realizados na Argentina, obtendo a Equação 6.4:

$$CBR = 450 \times (DN)^{-1,05} \quad (6.4)$$

onde: *CBR* e *DN* são variáveis já definidas anteriormente.

A terceira correlação utilizada para avaliação da base, consiste na Equação 6.5 formulada nos estudos de Harison (1987 *apud* RIBEIRO, 2006):

$$\log(CBR) = 2,81 - 1,32 \times (\log DN) \quad (6.5)$$

onde: *CBR* e *DN* são variáveis já definidas anteriormente.

A Tabela 6.13, estão apresentados os resultados de DN e respectivos valores de CBR obtidos por meio das correlações descritas anteriormente, para o sub-trecho solo+brita 1.

Tabela 6.13 – Valores de CBR obtidos por correlação de cinco autores para o sub-trecho solo+brita 1 (novembro de 2009)

Estaca		DN (mm/golpe)	CBR (%)				
			Heyn (1986)	O. e V. (1997)	-	Angelone (1991)	Harisson (1987)
Estaca 07 BD	Camada 1	2,3	150,1	128,1	-	187,6	215,0
	Camada 2	3,1	101,8	93,4	-	137,1	145,0
	Camada 3	9,5	23,7	28,6	-	42,3	33,0
Estaca 08 Eixo	Camada 1	3,0	106,3	96,7	-	141,9	151,3
	Camada 2	3,8	78,1	75,3	-	110,7	110,8
	Camada 3	5,9	44,1	39,6	-	69,7	62,0
Estaca 09 BE	Camada 1	2,7	121,9	108,1	-	158,5	173,9
	Camada 2	3,9	75,5	73,3	-	107,7	107,0
	Camada 3	3,7	80,9	77,5	-	113,9	114,7

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Observa-se que todas as correlações utilizadas, resultaram em elevados valores de CBR. Sendo assim, no caso do solo-brita recomenda-se a definição de uma equação específica para este tipo de material. Ressalta-se que a correlação Lopes et al., (2007) é específica para materiais mais finos, sendo a mesma determinada para a mistura solo-fíler.

### 6.4.2.3 Sub-Trecho cascalho laterítico

Na Figura 6.34 é possível observar as curvas características de o DCP. Para o sub-trecho de cascalho laterítico nota-se similaridades com as curvas DCP do trecho anterior (solo+brita 1). Ou seja, ambos possuem suas curvas mais alongadas, sendo possível visualizar que esse alongamento ocorre principalmente nas estacas localizadas no bordo esquerdo e no eixo, o que evidencia uma melhor resistência desses materiais nessas camadas das referidas estacas.

Com análise das curvas de DCP é possível distinguir quando ocorre a mudança na resistência do material empregado na confecção das camadas da secção do pavimento. Isso é possível a partir da verificação na mudança das inclinações das curvas.

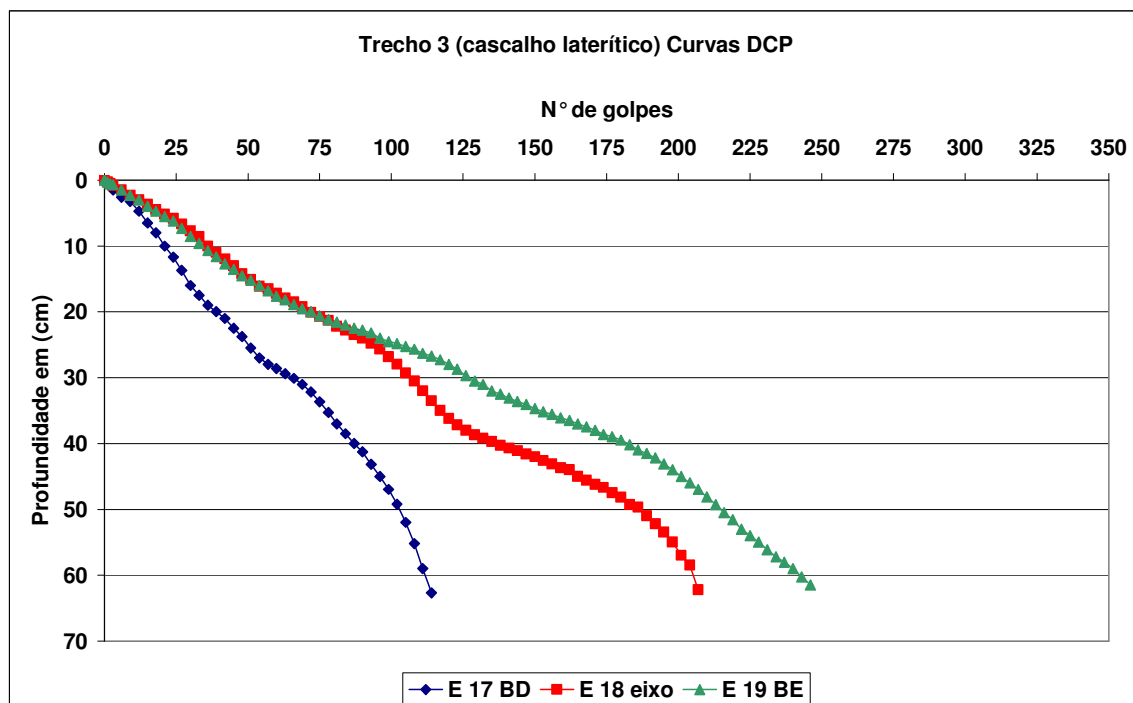


Figura 6.34 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho cascalho laterítico

Na Figura 6.35 tem-se o diagrama estrutural que demonstra a relação entre os índices de penetração (DN) em mm/golpes e a profundidade obtida na secção do pavimento para o sub-trecho cascalho laterítico. Com a representação do diagrama estrutural é possível notar os locais onde ocorrem à mudança de resistência, isso se torna possível a partir da observação conferida pelos índices de penetração encontrados.

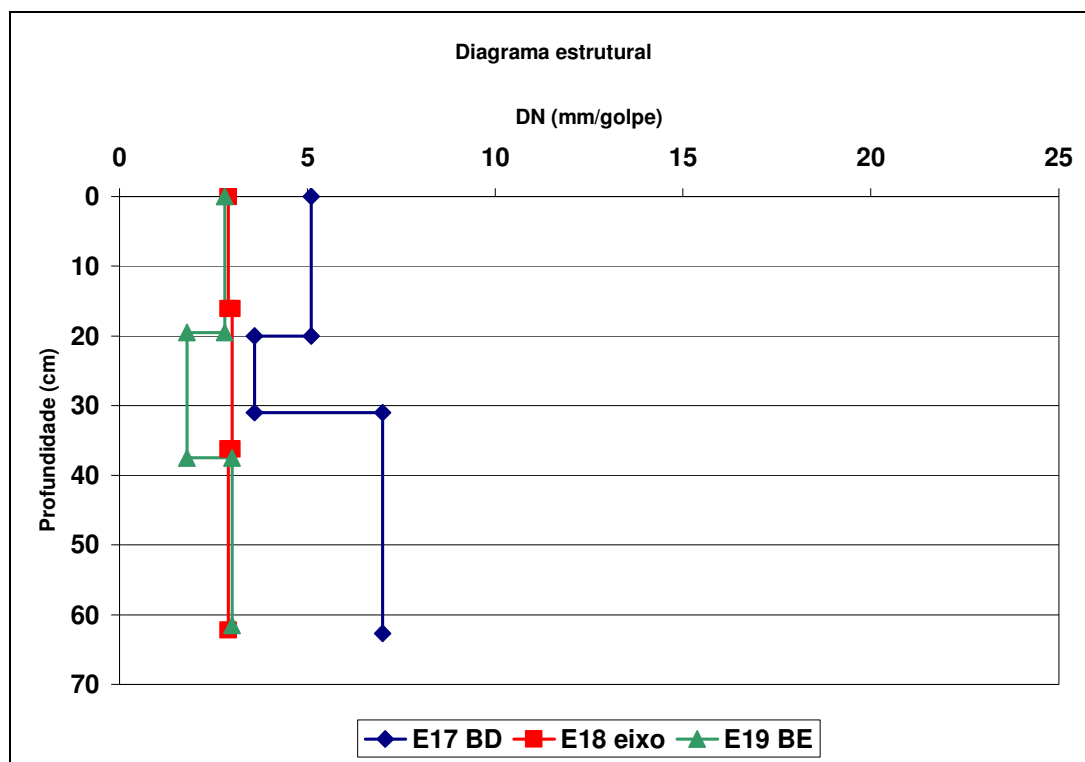


Figura 6.35 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho cascalho laterítico

Neste sub-trecho também é possível identificar uma primeira camada mais resistente com espessura variando de 16,1 cm a 20 cm, correspondente à base do pavimento. Tem-se também a segunda camada identificada como a sub-base, com espessura variando de 11,0 cm a 20,1 cm. Em termos de resistência, a sub-base apresenta-se igual ou até melhor do que a base. Isto pode ter ocorrido ou por procedimentos adotados durante a construção ou por degradação da base ao longo do período analisado.

Para o sub-trecho de cascalho laterítico os resultados de profundidade, espessura e DN (índice de penetração) obtidos no ensaio de Penetrômetro Dinâmico de Cone estão demonstrados na Tabela 6.14.

Tabela 6.14 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho cascalho laterítico (novembro de 2009)

Estaca		Profundidade (cm)	Espessura (cm)	DN (mm/golpe)
Estaca 17 BD	Camada 1	20,0	20,0	5,1
	Camada 2	31,0	11,0	3,6
	Camada 3	62,7	51,7	7,0
Estaca 18 Eixo	Camada 1	16,1	16,1	2,9
	Camada 2	36,2	20,1	3,0
	Camada 3	62,2	42,1	2,9
Estaca 19 BE	Camada 1	19,5	19,5	2,8
	Camada 2	37,5	18,0	1,8
	Camada 3	61,5	43,5	3,0

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Para o cálculo do CBR que é obtido à partir do índice de penetração (DN) encontrado, utilizou-se as mesmas correlações aplicadas para as análises realizadas nos sub-trechos anteriores.

Na análise da correlação de DN x CBR para materiais granulares, foram utilizadas as equações, descrita por Heyn (1986 *apud* RESPLANDES, 2007), por Harison (1987 *apud* RIBEIRO, 2006), e ainda a equação utilizada por Lopes et al. (2007) para um cascalho laterítico retirado de outra jazida e compactado na energia Proctor intermediário (Equação 6.6).

$$\text{CBR (\%)} = -10,547 \times \text{Ln}(\text{DN}) + 140,71 \quad (6.6)$$

onde: *CBR* e *DN* são variáveis já definidas anteriormente.

Na Tabela 6.15, é possível observar os valores de DN com os resultados de CBR obtidos por meio das correlações descritas anteriormente, para o sub-trecho cascalho laterítico.

Tabela 6.15 – Valores de CBR obtidos por correlação de cinco autores para o sub-trecho cascalho laterítico

Estaca		DN (mm/golpe)	CBR (%)				
			Heyn (1986)	O. e V. (1997)	-	Lopes (2007)	Harisson (1987)
Estaca 17 BD	Camada 1	5,1	53,3	55,2	-	123,5	75,1
	Camada 2	3,6	83,8	79,7	-	127,1	119,0
	Camada 3	7,0	35,4	39,5	-	120,1	49,4
Estaca 18 Eixo	Camada 1	2,9	111,1	100,2	-	129,4	158,3
	Camada 2	3,0	106,3	96,7	-	129,1	151,3
	Camada 3	2,9	111,1	100,2	-	129,4	158,3
Estaca 19 BE	Camada 1	2,8	116,3	104,0	-	129,8	165,8
	Camada 2	1,8	206,5	165,9	-	134,5	297,1
	Camada 3	3,0	106,3	96,7	-	129,1	151,3

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Quanto aos valores de CBR, pode-se observar resultados bem acima ao definido em projeto (62,3%). As correlações que mais se aproximaram do valor de projeto foram as de Heyn (1986) e Oliveira e Vertametti (1997) para a Estaca 17.

#### 6.4.2.4 Sub-Trecho solo+pó de micaxisto

Nas Figuras 6.36 e 6.37 têm-se as curvas de DCP, onde é possível observar curvas mais alongadas e homogêneas.

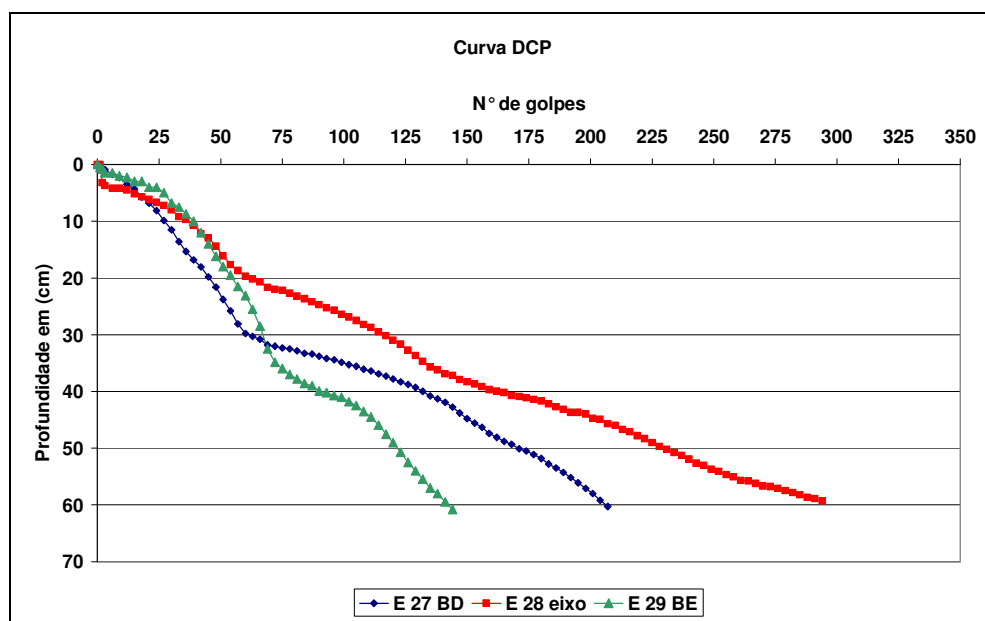


Figura 6.36 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009)

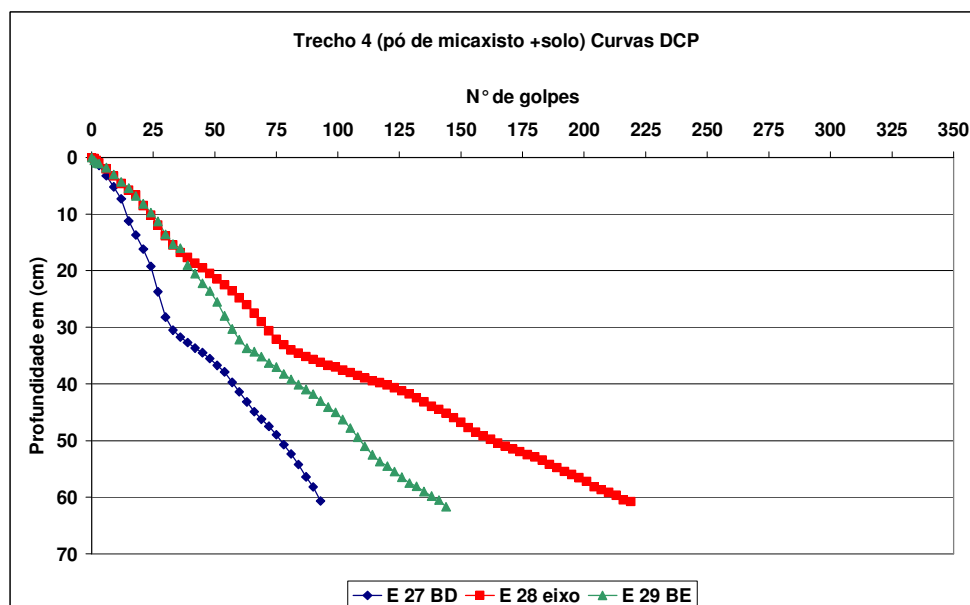


Figura 6.37 – Curvas DCP ao longo do perfil analisado no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009)

Quanto aos valores de (DN) pode-se notar a existência de uma grande variação ao longo das camadas, o que proporciona uma grande heterogeneidade nos índices de penetração. A partir do diagrama estrutural é possível verificar a relação entre os índices de penetração e a profundidade alcançada, além de permitir verificar onde ocorre a mudança de resistência de uma camada para outra, conforme pode ser observados nas Figuras 6.38 e 6.39.

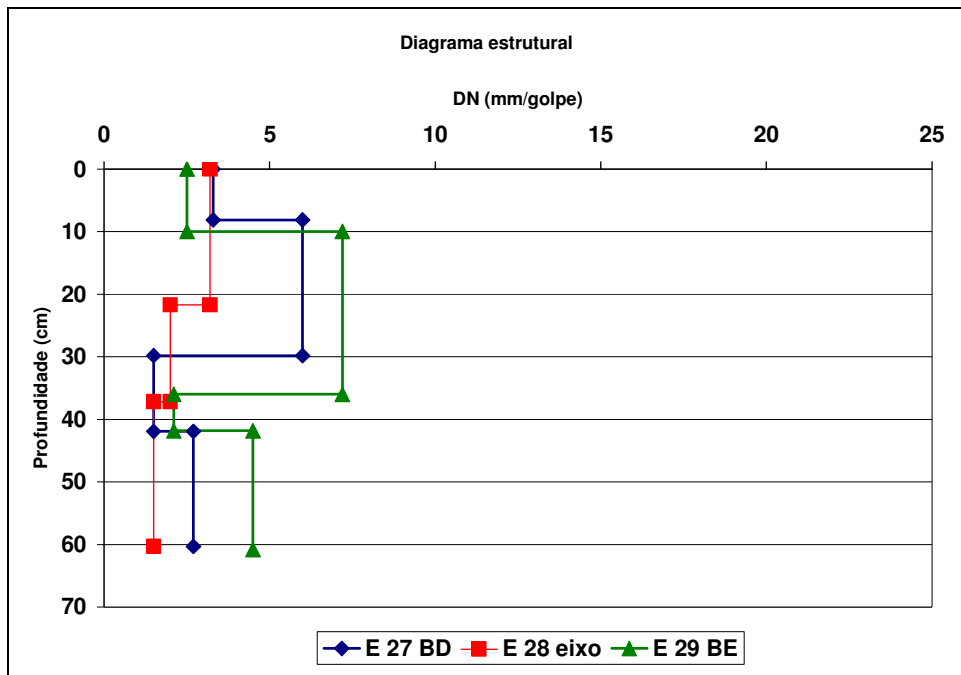


Figura 6.38 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009)

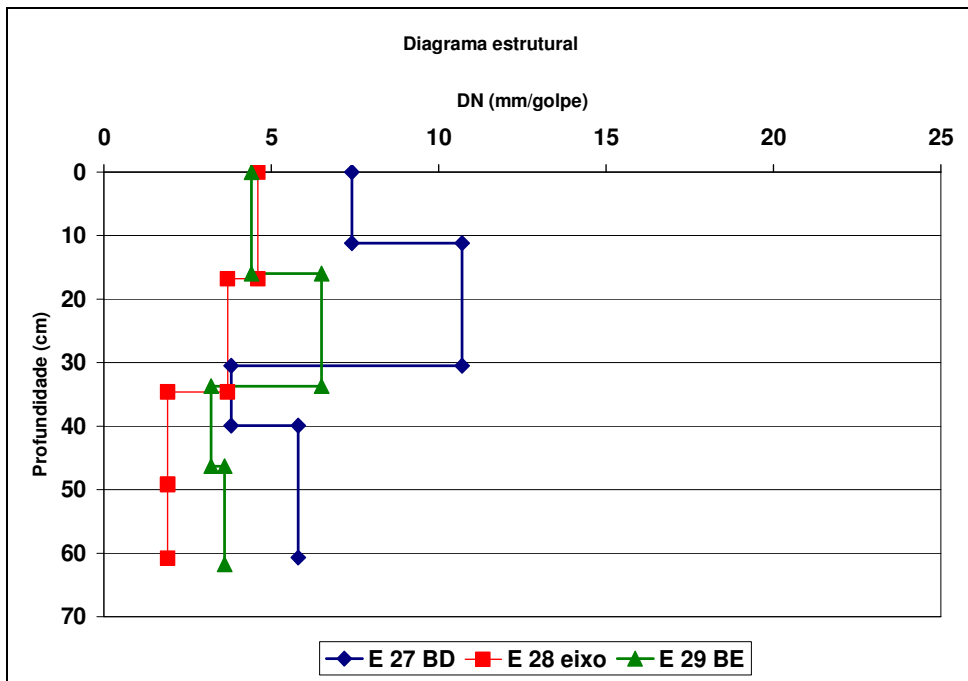


Figura 6.39 - Diagrama Estrutural no ensaio de DCP no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009)



Para esse sub-trecho observa-se uma situação diferente daquela observada nos demais trechos analisados (solo+filer, solo+brita 1, cascalho laterítico), onde verifica-se a existência de até 4 camadas com diferentes resistências.

Para a base, em alguns pontos é possível detectar a presença de uma primeira camada mais resistente (camada 1, estacas 27 e 29, junho de 2009) com cerca de 10 cm de profundidade. Já em novembro de 2009 é possível observar esta primeira camada apenas para a Estaca 27. A existência dessa primeira camada mais resistente pode ser explicada pelo trincamento proposital gerado durante o processo construtivo (ARAÚJO, 2008).

Quando a camada superficial mais resistente é identificada, não é possível diferenciar a mudança de comportamento entre a base e a sub-base. No entanto, nos ensaios realizados no eixo, tanto em junho como em novembro de 2009, observa-se a diferenciação entre base (camada 2) e sub-base (camada 3), sendo que a sub-base apresenta maior resistência.

Verifica-se que nos bordos foram observadas duas camadas de comportamentos diferentes para o subleito (camadas 3 e 4) o subleito é composto de duas camadas (camada 3 e 4) e que estas apresentam elevados valores de DN. Em termos gerais, o subleito apresenta-se bastante resistente, estando até mesmo melhor que os dados obtidos para a base e para a sub-base. Este fato não é comum de ser observado nas obras, mas no caso desta via, sabe-se que antes dela ser pavimentada ela já funcionava como via urbana com revestimento primário, recebendo tráfego inclusive de caminhões. Esse tráfego já proporcionou a compactação do subleito que foi aproveitado para a pavimentação do trecho.

Conforme já explicado na metodologia, somente no sub-trecho solo+pó de micaxisto foi possível realizar os ensaios de DCP, em ambos períodos amostrais aqui realizados (junho 2009) e (novembro (2009)). Isso se deu em função do defeito no equipamento logo após a realização do ensaio neste referido sub-trecho, ficando os demais sem cobertura para o respectivo ensaio.

Nas Tabelas 6.16 e 6.17 é possível observar os resultados de índice de penetração (DN), profundidade e espessura obtidos para junho (2009) e novembro (2009).

Tabela 6.16 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho de 2009)

Estaca		Profundidade (cm)	Espessura (cm)	DN (mm/golpe)
Estaca 27 BD	Camada 1	8,1	8,1	3,3
	Camada 2	29,8	21,7	6,0
	Camada 3	41,9	12,1	1,5
	Camada 4	60,3	18,4	2,7
Estaca 28Eixo	Camada 1	-	-	-
	Camada 2	21,7	21,7	3,2
	Camada 3	37,2	15,5	2,0
	Camada 4	60,3	23,1	1,5
Estaca 29 BE	Camada 1	10,0	10,0	2,5
	Camada 2	36,0	26,6	7,2
	Camada 3	41,8	5,8	2,1
	Camada 4	60,8	19,0	4,5

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Tabela 6.17 – Resultados obtidos no ensaio de DCP para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro de 2009)

Estaca		Profundidade (cm)	Espessura (cm)	DN (mm/golpe)
Estaca 27 BD	Camada 1	11,2	11,2	7,4
	Camada 2	30,5	19,3	10,7
	Camada 3	39,9	20,4	3,8
	Camada 4	60,7	40,3	5,8
Estaca 28Eixo	Camada 1	-	-	-
	Camada 2	16,8	16,8	4,6
	Camada 3	34,6	17,8	3,7
	Camada 4	60,8	43,0	3,8
Estaca 29 BE	Camada 1	16,0	16,0	4,4
	Camada 2	33,7	17,7	6,5
	Camada 3	46,3	28,6	3,2
	Camada 4	61,7	33,1	3,6

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Para obtenção de CBR que é obtido a partir do índice de penetração (DN) encontrado, utilizou-se as mesmas correlações aplicadas para as análises realizadas nos sub-trechos anteriores, sendo elas: Heyn (1986 *apud* RESPLANDES, 2007), Harison (1987 *apud* RIBEIRO, 2006) e Lopes et al., (2007).

Nas Tabelas 6.18 e 6.19 tem-se os valores de CBR para os dois períodos de análises em campo.

Tabela 6.18 – Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho 2009)

Estaca		DN (mm/golpe)	CBR (%)		
			Heyn	O. e V	Lopes
Estaca 27 BD	Camada 1	3,3	91,4	85,5	34,6
	Camada 2	6,0	43,0	46,3	30,7
	Camada 3	1,5	261,8	201,3	37,4
	Camada 4	2,7	117,3	104,8	35,5
Estaca 28 eixo	Camada 1	-	-	-	-
	Camada 2	3,2	94,6	88,0	34,8
	Camada 3	2,0	173,3	143,9	36,6
	Camada 4	1,5	261,8	201,3	37,4
Estaca 29 BE	Camada 1	2,5	130,6	114,4	35,8
	Camada 2	7,2	33,9	38,2	28,9
	Camada 3	2,1	164,9	138,2	36,5
	Camada 4	4,5	62,4	62,7	32,9

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Tabela 6.19 – Valores de CBR obtidos por correlação de três autores para o sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro 2009)

Estaca		DN (mm/golpe)	CBR(%)		
			Heyn (1986)	O. e V (1997)	Lopes et al. (2007)
Estaca 27 BD	Camada 1	7,4	32,8	37,2	28,7
	Camada 2	10,7	20,3	25,2	24,8
	Camada 3	3,8	78,1	75,3	34,0
	Camada 4	5,8	45,1	48,1	31,0
Estaca 28 Eixo	Camada 1	-	-	-	-
	Camada 2	4,6	60,9	61,5	32,8
	Camada 3	3,7	80,9	77,5	34,2
	Camada 4	3,8	78,1	75,3	34,0
Estaca 29 BE	Camada 1	4,4	64,6	64,5	33,1
	Camada 2	6,5	38,9	42,7	30,0
	Camada 3	3,2	97,7	90,3	34,9
	Camada 4	3,6	83,8	79,7	34,3

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Analisando os valores de CBR (%) para ambos os períodos em campo, nota-se que os resultados encontrados para as correlações obtidas durante o mês de junho apresentam os valores superestimados, no entanto é possível notar que em determinadas estacas e em camadas específicas para a sub-base e base os resultados encontrados foram os que mais se aproximaram dos definidos para a confecção das camadas da secção do pavimento.

Vale ressaltar que as correlações permitem obter uma estimativa de CBR no material que está confinado nas camadas das secções do pavimento, e que as mesmas podem

não ser perfeitas em função do material que foi utilizado para defini-las, no entanto a partir das mesmas e possível verificar a resistência do material in loco.

### 6.4.3 Viga Benkelman

#### 6.4.3.1 Sub-Trecho solo+filer

Os ensaios de determinação das deflexões utilizando a viga Benkelman foram realizados sobre o revestimento, nos bordos direito e esquerdo, nas trilhas de roda externas de cada um dos quatro sub-trechos avaliados. Esses ensaios foram realizados utilizando uma viga com relação a/b de 2:1, sendo a= 2,44 m e b= 1,22 m. Os resultados encontrados podem ser observados nas Tabelas 6.20 e 6.21, onde são apresentadas a deflexão real ou verdadeira medida no ponto de prova ( $D_0$ ), a deflexão medida a 25 cm do ponto de prova ( $D_{25}$ ), o raio de curvatura (R) e o valor do produto R. $D_0$  para junho de 2009 e novembro de 2009.

Tabela 6.20 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+filer (junho de 2009)

Estaca	$D_0$ (x $10^{-2}$ mm)	$D_{25}$ (x $10^{-2}$ mm)	R (m)	R. $D_0$ (mx $10^{-2}$ mm)
E 1 BD	90,0	36,0	57,8	5208,3
E 2 BD	100,0	74,0	120,1	12010
E 3 BD	92,0	66,0	120,1	12010
<b>Médias do BD</b>	<b>94,0</b>	<b>58,7</b>	<b>99,3</b>	<b>9742,8</b>
E 0+10 BE	22,0	20,0	1562,5	34375
E 1+10 BE	56,0	54,0	1562,5	87500
E 2+10 BE	30,0	28,0	1562,5	46875
E 3+10 BE	28,0	26,0	1562,5	43750
<b>Médias do BE</b>	<b>34,0</b>	<b>32,0</b>	<b>1562,5</b>	<b>53125</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Tabela 6.21 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho solo+filer (novembro de 2009)

Estaca	$D_0$ (x $10^{-2}$ mm)	$D_{25}$ (x $10^{-2}$ mm)	R (m)	R. $D_0$ (mx $10^{-2}$ mm)
E 0 BD	154,0	114,0	78,1	12031,2
E 1 BD	166,0	116,0	62,5	10375,0
E 2 BD	184,0	92,0	33,9	6250,0
E 3 BD	158,0	106,0	60,1	9495,1
E 4 BD	150,0	74,0	41,1	6167,7
<b>Médias</b>	<b>162,4</b>	<b>100,4</b>	<b>55,1</b>	<b>8863,8</b>
E 0+10 BE	100,0	64,0	86,8	8680,5
E 1+10 BE	70,0	18,0	60,0	4206,3
E 2+10 BE	86,0	30,0	55,8	4799,1
E 3+10 BE	38,0	16,0	142,0	5397,7
E 4+10 BE	48,0	32,0	192,3	9375,0
<b>Médias</b>	<b>68,4</b>	<b>32,0</b>	<b>108,0</b>	<b>6491,8</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Observa-se que os valores de deflexão máxima ( $D_0$ ) após dois anos de execução variaram entre 22,0 e 100,0 x 10<sup>-2</sup> mm em junho de 2009 e entre 38,0 e 184,0 x 10<sup>-2</sup> mm em novembro de 2009. De acordo com a Norma PRO-011 (DNER, 1979), os valores de raio de curvatura menores de 100 metros sugerem a existência de problemas estruturais, o que foi observado em grande parte das estacas ensaiadas e com variação de período junho/novembro de 2009, isso pode ser explicado pelo fato do trecho experimental não possuir sistema de drenagem onde a umidade no período chuvoso pode estar influenciando no desempenho, uma vez que pode conferir valores de umidade acima dos valores ótimos.

Outra análise que se pode efetuar é em que condição se encontra o pavimento a partir do produto  $R.D_0$  proposto por Paiva e Causim (2000), sendo valores de  $R.D_0 < 5500$  indicam uma possível existência de problemas no pavimento, ou pode-se utilizar a relação  $(D_0/D_{25}) < 2,316$ . Neste caso, as estaca E 01 BD, E 1+10 BE, E 2+10 BE, E 3+10 BE apresentaram valores abaixo do limite especificado.

Avaliando-se os valores médios obtidos para os parâmetros determinados, verifica-se há diferença de comportamento entre o bordo esquerdo (BE) e o bordo direito (BD). Este fato pode ser explicado pelos motivos expostos a seguir:

- Neste sub-trecho, a inclinação de todo o pavimento ocorre do bordo esquerdo para o bordo direito. Sendo assim, qualquer água que escoe na superfície é direcionada para a lateral do lado direito;
- Até o momento, não existe nenhum tipo de dispositivo de drenagem executado na via. Sendo assim, a água de superficial permanece acumulada no bordo direito e pode estar infiltrando nas camadas de base e sub-base, gerando como consequência a perda de resistência da estrutura;
- Conclui-se, então, que o bordo direito está sendo submetido a condições extremas quanto à ação da água da chuva e que por este motivo os valores de deflexões obtidos são elevados;
- Mesmo com esses elevados valores de deflexão, realizando uma inspeção visual no local, não se observa a presença de trincas e buracos, sendo verificado apenas a existência de pequenos afundamentos;
- É importante ressaltar que essa situação pode gerar a perda de resistência da estrutura independente do tipo de material utilizado na base e na sub-base. Ou seja, apenas o uso da mistura solo-fíler não pode ser responsável pela degradação prematura do pavimento.

Além da avaliação estrutural a partir dos valores determinados pelo raio de curvatura ( $R$ ) e o produto  $R \cdot D_0$  definido por Paiva e Causim (2000), a norma PRO-011 (1979) determina quais ações ou medidas devem ser adotadas a partir da obtenção da deflexão admissível ( $D_{adm}$ ), deflexão característica ( $D_c$ ) e deflexão de projeto ( $D_p$ ). Nota-se que os valores encontrados para deflexão de projeto  $D_p$  foi de  $121,7 \times 10^{-2}$  mm (junho de 2009) e  $168,6 \times 10^{-2}$  mm (novembro de 2009). A deflexão admissível  $D_{adm}$ , calculada a partir do número  $N$  definido por Luz (2008) de  $5 \times 10^6$  foi igual a  $67,8 \times 10^{-2}$  mm. Comparando  $D_p$  com  $D_{adm}$  tem-se que esse sub-trecho apresenta qualidade estrutural regular e que já seria necessário realizar reforço como medida corretiva para melhorar o desempenho do pavimento ao longo do tempo de vida útil. As Figuras 6.40, 6.41, 6.42 e 6.43 apresentam as bacias de deflexão em (junho 2009) e (novembro 2009) para bordo direito e esquerdo.

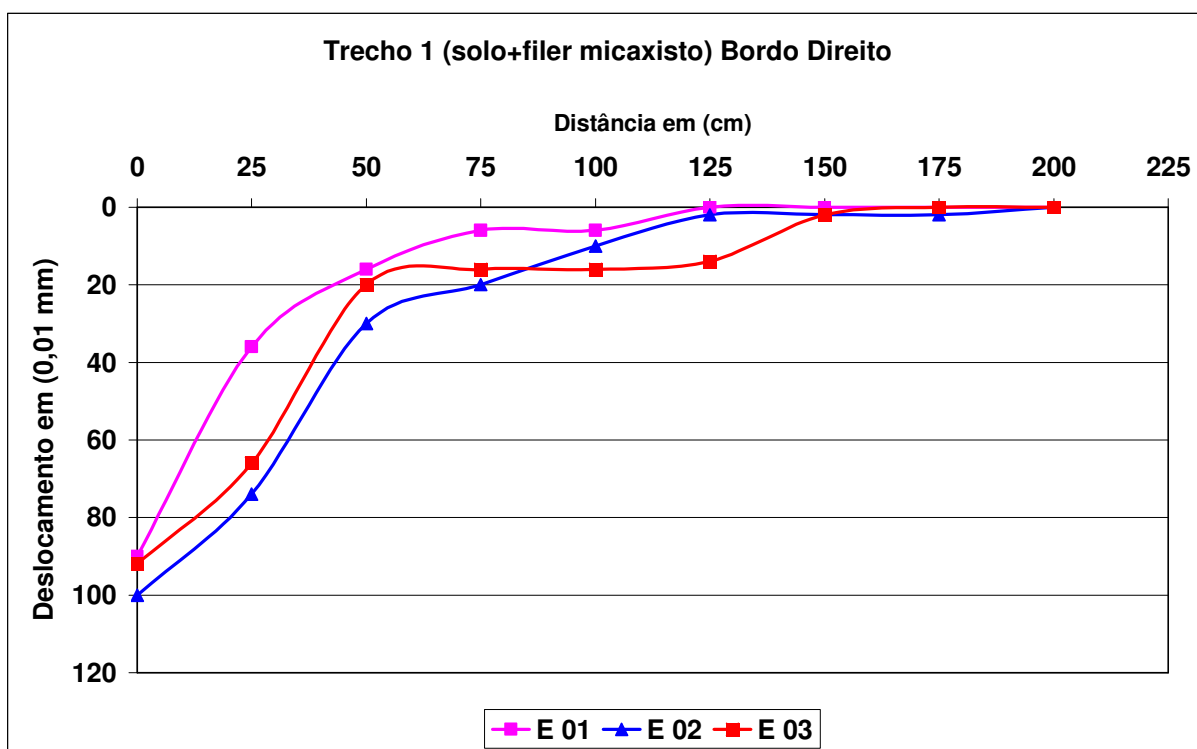


Figura 6.40 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho solo+filer

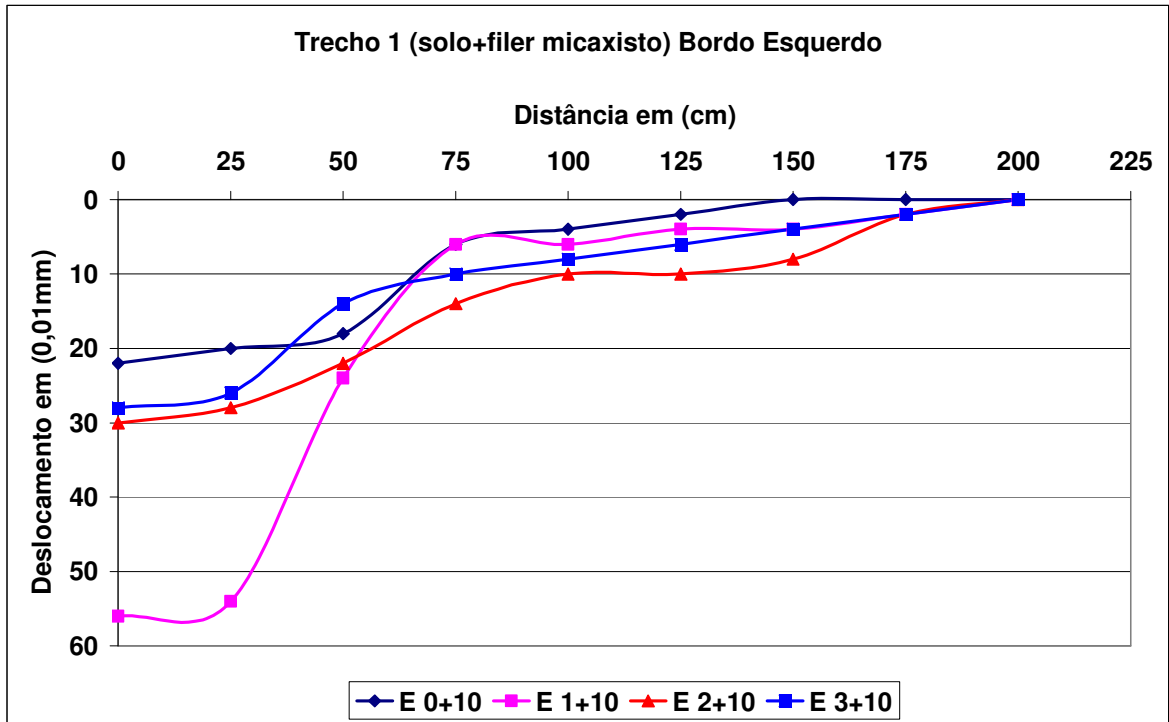


Figura 6.41 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho solo+filer

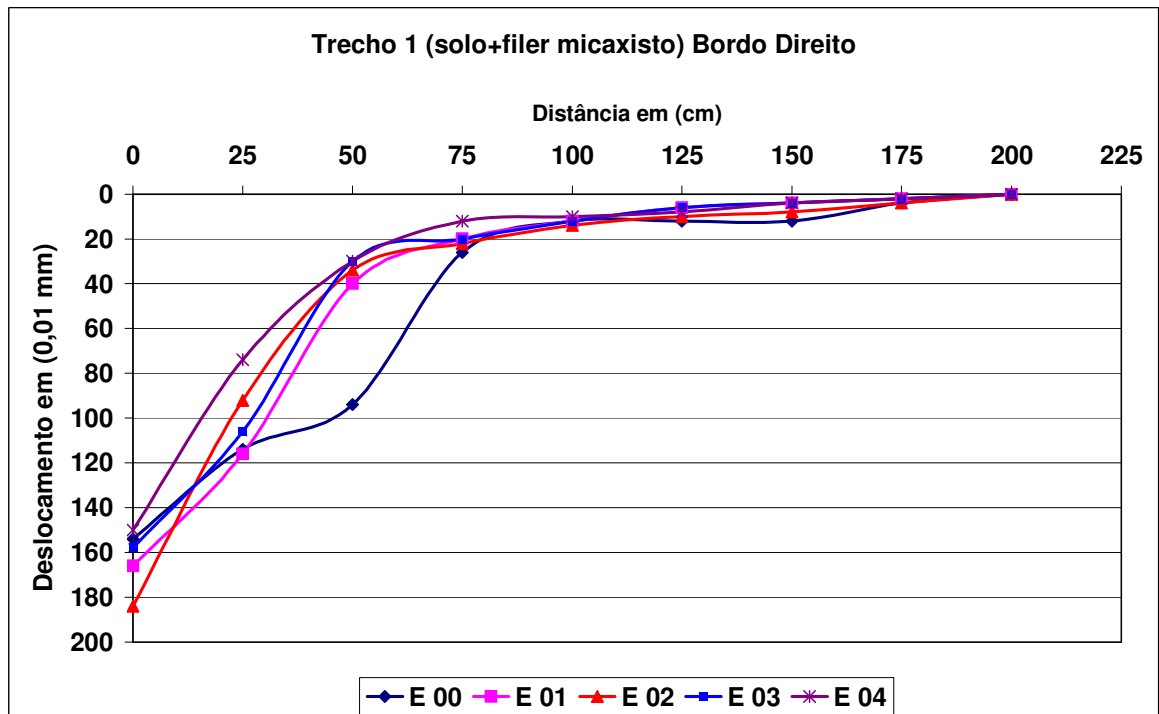


Figura 6.42 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho solo+filer

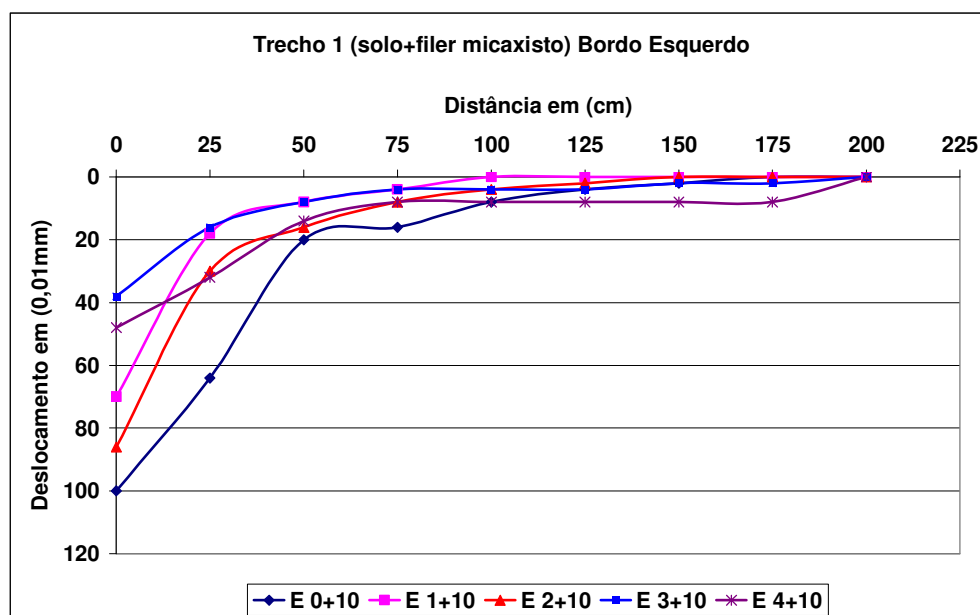


Figura 6.43 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub-trecho solo+filer

#### 6.4.3.2 Sub-Trecho solo+brita 1

As Tabelas 6.22 e 6.23 mostram a deflexão real ou verdadeira medida no ponto de prova ( $D_0$ ), a deflexão medida a 25 centímetros do ponto de prova da viga ( $D_{25}$ ), o raio de curvatura calculado ( $R$ ) e o valor do produto  $R \times D_0$ , após dois anos da execução do trecho.

Tabela 6.22 – Resumo dos Resultados dos Ensaios de Viga Benkelman no sub-trecho solo+brita 1 (junho de 2009)

Estaca	$D_0$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	$D_{25}$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	R (m)	$R \cdot D_0$ ( $m \times 10^{-2}$ mm)
E 5 BD	48,0	30,0	173,6	8332,8
E 6 BD	34,0	24,0	312,5	10625
E 7 BD	56,0	46,0	312,5	17500
E 8 BD	42,0	36,0	520,8	21873,6
E 9 BD	40,0	26,0	223,2	8928
E 10 BD	14,0	12,0	1562,5	21875
E 11 BD	40,0	36,0	781,2	31248
E 12 BD	38,0	34,0	781,2	29685,6
E 13 BD	40,0	26,0	223,2	8928
E 14 BD	36,0	28,0	390,6	14061,6
<b>Médias</b>	<b>38,8</b>	<b>29,8</b>	<b>528,1</b>	<b>17305,7</b>
E 5+10 BE	24,0	14,0	312,5	7500
E 7+10 BE	32,0	28,0	781,2	25000
E 8+10 BE	14,0	4,0	312,5	4375
E 9+10 BE	26,0	22,0	781,2	20312,5
E 10+10 BE	30,0	20,0	312,5	9375
E 11+10 BE	24,0	22,0	1562,5	37500
E 12+10 BE	18,0	8,0	312,5	5625
E 13+10 BE	30,0	22,0	390,6	11718,7
E 14+10 BE	14,0	2,0	260,4	3645,6
<b>Médias</b>	<b>23,6</b>	<b>15,8</b>	<b>558,4</b>	<b>13894,6</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo



Tabela 6.23 – Resumo dos Resultados dos Ensaios de Viga Benkelman no sub-trecho solo+brita 1 (novembro de 2009)

Estaca	$D_0$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	$D_{25}$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	R (m)	R. $D_0$ (m $\times 10^{-2}$ mm)
E 5 BD	64,0	44,0	156,2	10000,0
E 6 BD	46,0	30,0	195,3	8984,3
E 7 BD	78,0	58,0	156,2	12187,5
E 8 BD	70,0	40,0	104,1	7291,6
E 9 BD	16,0	10,0	520,8	8333,3
E 10 BD	58,0	38,0	156,2	9062,5
E 11 BD	40,0	30,0	312,5	12500,0
E 12 BD	46,0	20,0	120,1	5528,8
E 13 BD	52,0	32,0	156,2	8125,0
E 14 BD	60,0	40,0	156,2	9375,0
<b>Médias</b>	<b>53,0</b>	<b>34,2</b>	<b>203,4</b>	<b>9138,8</b>
E 5+10 BE	32,0	12,0	156,2	5008,0
E 6+10 BE	68,0	42,0	120,1	8173,0
E 7+10 BE	60,0	32,0	111,6	6696,4
E 8+10 BE	44,0	18,0	120,1	5288,4
E 9+10 BE	30,0	24,0	520,8	15625,0
E 10+10 BE	30,0	20,0	312,5	9375,0
E 11+10 BE	38,0	24,0	223,2	8482,1
E 12+10 BE	32,0	24,0	390,6	12500,0
E 13+10 BE	42,0	30,0	260,4	10937,5
E 14+10 BE	32,0	16,0	195,3	6250,0
<b>Médias</b>	<b>40,8</b>	<b>24,2</b>	<b>241,1</b>	<b>8832,7</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Para o sub-trecho solo+brita 1, nota-se que os valores de deflexão máxima ( $D_0$ ) variaram de 14,0 a 56,0  $\times 10^{-2}$  mm em junho de 2009, e entre 16,0 e 78,0  $\times 10^{-2}$  em novembro de 2009. Analisando os valores de raio de curvatura (R) em ambos os períodos avaliados, percebe-se valores acima dos preconizados pela norma que é de 100 m, indicando um bom desempenho estrutural.

Outra análise que se pode fazer para avaliar as condições que se encontram o desempenho do pavimento é o produto  $R.D_0$  e a relação  $(D_0/D_{25}) < 2,316$ , sendo que para este sub-trecho apenas as estacas E 8+10 BE e 5+10 BE apresentaram valores ligeiramente abaixo da especificação.

A partir dos valores médios obtidos, observa-se uma boa resistência estrutural. Apesar de ainda existir diferença entre as deflexões obtidas para os bordos direito e esquerdo, observa-se que esta variação é bem menor do que aquela observada para o sub-trecho de solo-fíler. Entre os dois períodos de avaliação, verifica-se ainda o aumento das deflexões medidas durante a estação chuvosa (novembro de 2009).

As Figuras 6.44, 6.45, 6.46 e 6.47 apresentam as bacias de deflexão encontradas para o sub-trecho solo+ brita 1.

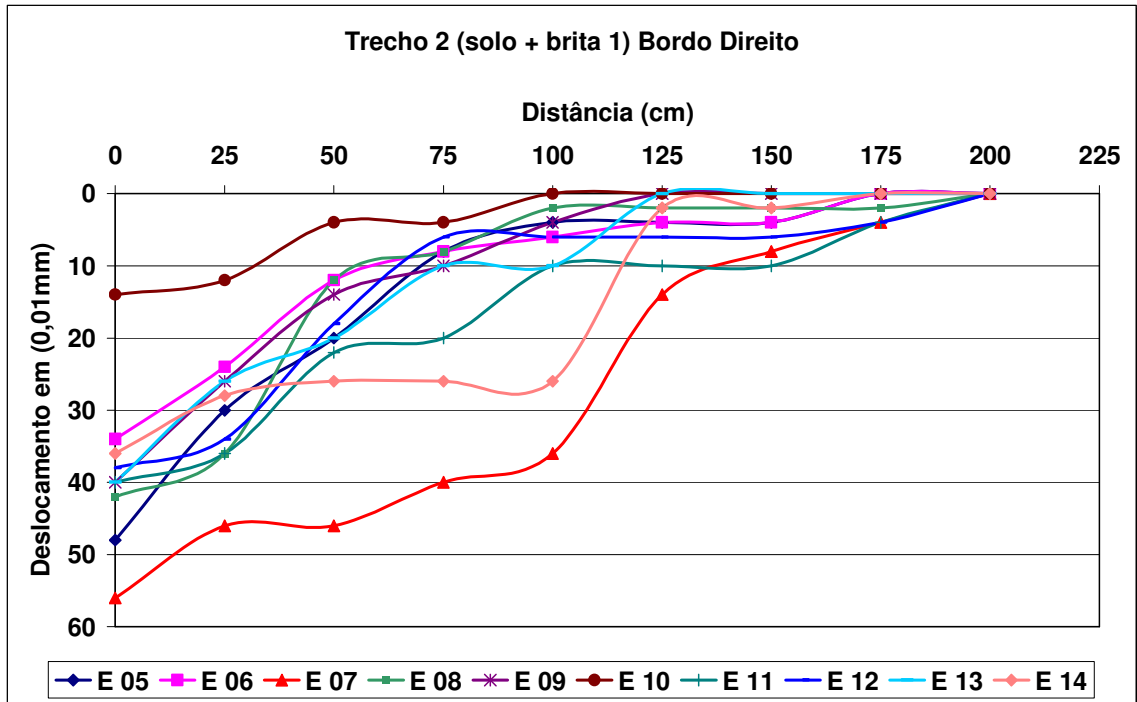


Figura 6.44 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho solo+brita 1

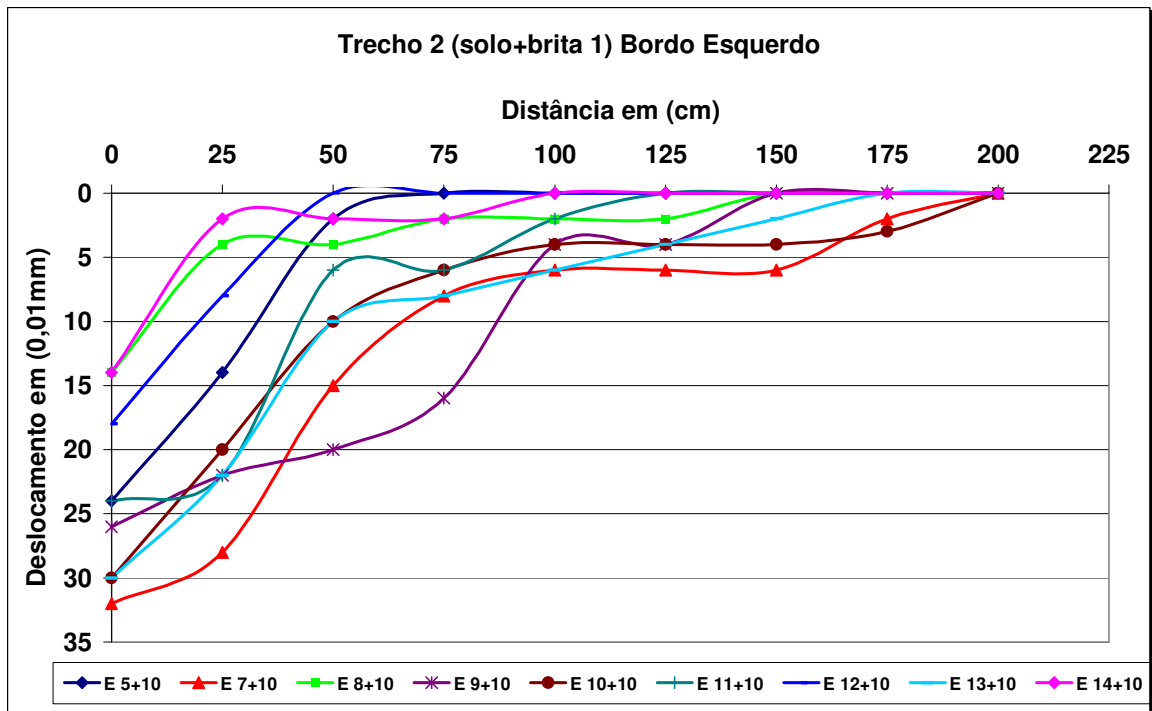


Figura 6.45 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho solo+brita 1

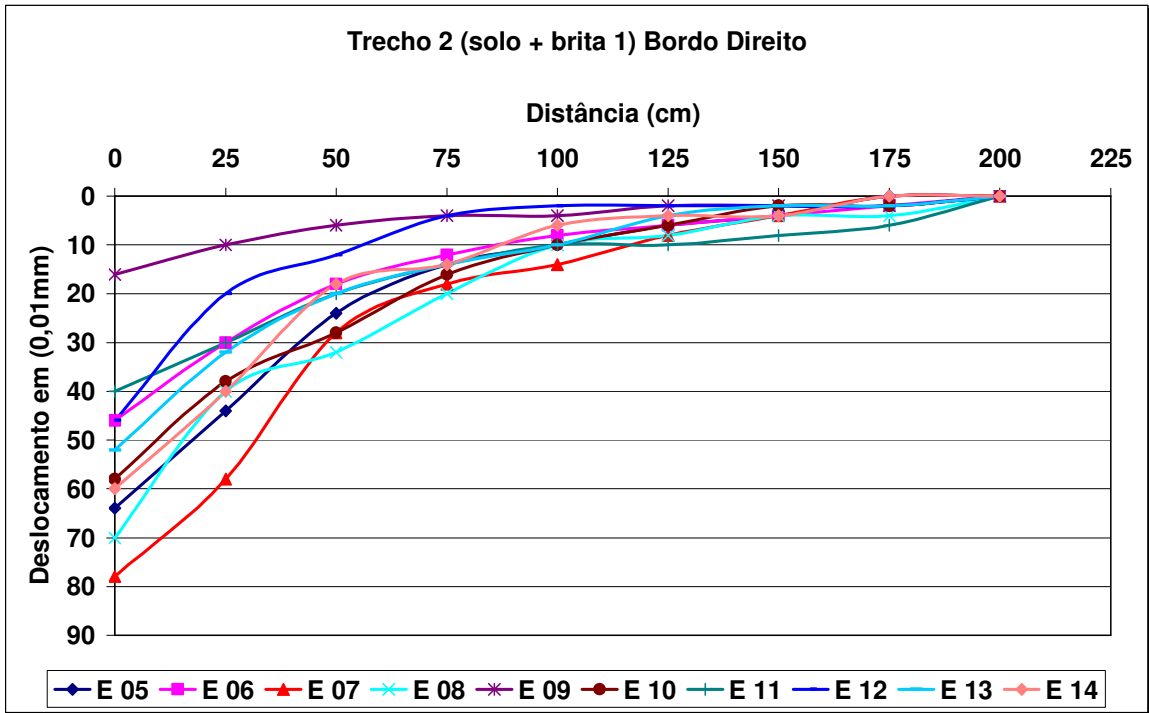


Figura 6.46 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho solo+brita 1

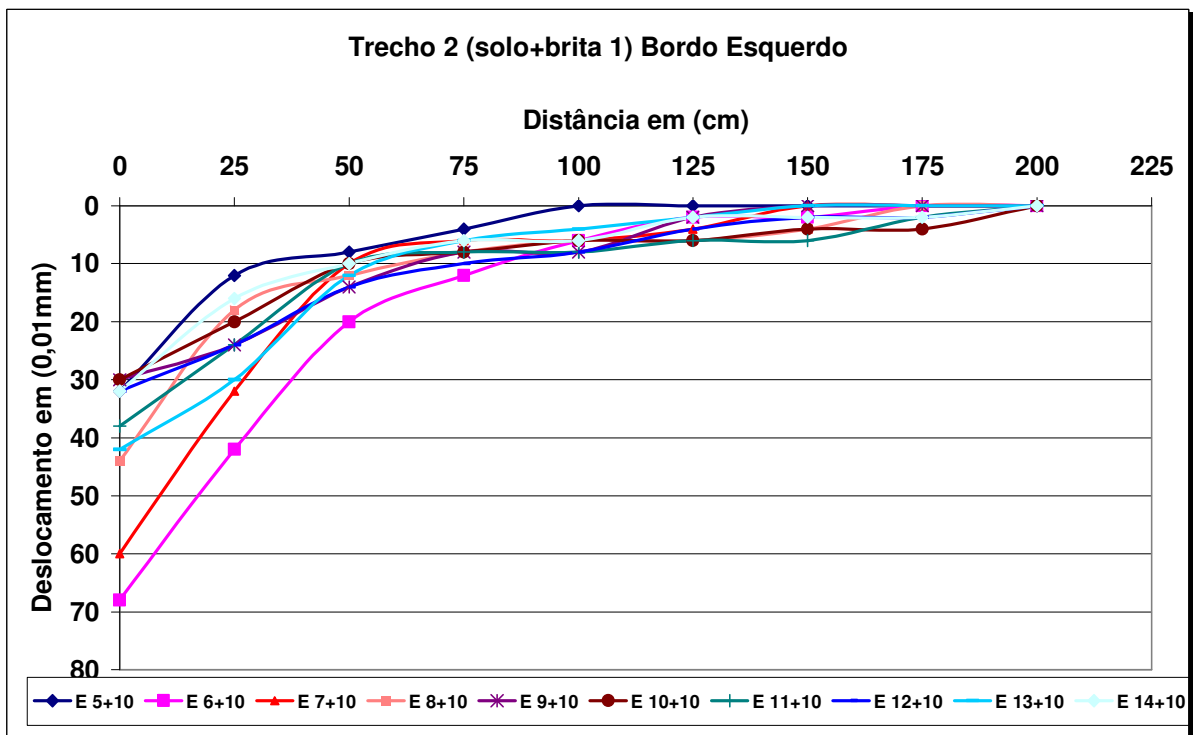


Figura 6.47 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub – trecho solo+brita 1

Apesar da pequena diferença de variação dos valores de deflexão obtidos nas curvas de deslocamento entre as estacas, tem-se que o ensaio de viga Benkelman apresentou repetibilidade neste sub-trecho e que a estrutura pode ser considerada com comportamento homogêneo.

Quanto à avaliação da qualidade estrutural obtida a partir da norma PRO-011 (DNER, 1979) tem-se valores de deflexão de projeto  $D_p$  igual a  $56,4 \times 10^{-2}$  mm (junho de 2009) e  $63,3 \times 10^{-2}$  mm (novembro de 2009). Como esses valores de deflexão de projeto são inferiores à deflexão admissível, conclui-se que o pavimento apresenta qualidade estrutural boa. Como na inspeção visual não foi identificado nenhum tipo de defeito, no momento não é necessária fazer nenhum tipo de intervenção neste sub-trecho.

#### 6.4.3.3 Sub - Trecho cascalho laterítico

As Tabelas 6.24 e 6.25 mostram a deflexão real ou verdadeira medida no ponto de prova ( $D_0$ ), a deflexão medida a 25 centímetros do ponto de prova da viga ( $D_{25}$ ), o raio de curvatura calculado (R) e o valor do produto  $R \times D_0$ , após dois anos da execução do trecho.

Tabela 6.24 – Resumo dos Resultados dos Ensaio de Viga Benkelman no sub-trecho cascalho laterítico (junho de 2009)

Estaca	$D_0$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	$D_{25}$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	R (m)	$R \cdot D_0$ ( $m \times 10^{-2}$ mm)
E 15 BD	42,0	36,0	520,8	21875
E 16 BD	44,0	24,0	156,2	6875
E 17 BD	54,0	24,0	104,1	5625
E 18 BD	36,0	18,0	173,6	6250
E 19 BD	20,0	10,0	312,5	6250,0
E 20 BD	48,0	8,0	78,1	3750
E 21 BD	32,0	30,0	1562,5	50000
E 22 BD	20,0	12,0	390,6	7812,5
E 23 BD	60,0	30,0	104,1	6250,0
E 24 BD	26,0	24,0	1562,5	40625,0
<b>Médias</b>	<b>38,2</b>	<b>21,6</b>	<b>496,5</b>	<b>15531,2</b>
E 15+10 BE	32,0	18,0	223,2	7142,8
E 16+10 BE	26,0	18,0	390,6	10156,2
E 17+10 BE	30,0	24,0	520,8	15625
E 18+10 BE	34,0	18,0	195,3	6640,62
E 20+10 BE	24,0	14,0	312,5	7500
E 21+10 BE	16,0	14,0	1562,5	25000
E 22+10 BE	24,0	18,0	520,8	12500
E 23+10 BE	17,0	13,0	781,2	13281,2
E 24+10 BE	26,0	20,0	781,2	20312,5
<b>Médias</b>	<b>25,4</b>	<b>17,4</b>	<b>587,6</b>	<b>13128,7</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Tabela 6.25 – Resumo dos Resultados dos Ensaios de Viga Benkelman no sub-trecho cascalho laterítico (novembro de 2009)

Estaca	D <sub>0</sub> (x 10 <sup>-2</sup> mm)	D <sub>25</sub> (x 10 <sup>-2</sup> mm)	R (m)	R.D <sub>0</sub> (m x 10 <sup>-2</sup> mm)
E 15 BD	74,0	60,0	223,2	16517,8
E 16 BD	64,0	54,0	312,5	20000,0
E 17 BD	108,0	48,0	52,0	5625,0
E 18 BD	54,0	28,0	120,1	6490,0
E 19 BD	52,0	28,0	130,2	6770,8
E 20 BD	90,0	50,0	78,1	7031,2
E 21 BD	80,0	40,0	78,1	6250,0
E 22 BD	68,0	46,0	142,0	9659,0
E 23 BD	82,0	30,0	60,1	4927,8
E 24 BD	56,0	38,0	173,6	9722,2
<b>Médias</b>	<b>72,8</b>	<b>42,2</b>	<b>137,0</b>	<b>9299,4</b>
E 15+10 BE	26,0	16,0	312,5	8125,0
E 16+10 BE	44,0	28,0	195,3	8593,7
E 17+10 BE	50,0	20,0	104,1	5208,3
E 18+10 BE	32,0	14,0	173,6	5555,5
E 19+10 BE	20,0	16,0	781,2	15625,0
E 20+10 BE	30,0	14,0	195,3	5859,3
E 21+10 BE	24,0	10,0	223,2	5357,1
E 22+10 BE	36,0	18,0	173,6	6250,0
E 23+10 BE	30,0	20,0	312,5	9375,0
E 24+10 BE	14,0	12,0	520,8	7291,6
<b>Médias</b>	<b>30,0</b>	<b>16,8</b>	<b>299,2</b>	<b>7724,0</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Para o sub-trecho de cascalho laterítico nota-se que os valores de deflexão máxima (D<sub>0</sub>) variaram de 16,0 a 60,0 x 10<sup>-2</sup> mm em junho de 2009, e entre 14,0 e 108,0 x 10<sup>-2</sup> em novembro de 2009. Para os valores de raio de curvatura nota-se uma variação entre 78,1 a 1562,5 m. Já os valores do produto R.D<sub>0</sub> conta-se uma variação entre 5208,3 a 40625,0 mm.

Analisando os resultados de raio de curvatura (R), nota-se que os mesmos estão em grande parte conforme os determinados pela norma PRO-011 (DNER, 1979), que preconiza valores acima de 100 m de curvatura. Para este sub-trecho somente as estacas 20 e 21 BD, apresentaram valores abaixo dos descritos pela norma. Quanto ao valor do produto R.D<sub>0</sub>, somente as estacas 20 e 23 BD, 17+10 e 21+10 BE apresentaram valores abaixo de 5500. No entanto, verificando os valores médios e o grau de variabilidade deste ensaio, pode-se inferir que o desempenho é considerado satisfatório.

Uma outra forma de avaliar a qualidade em que se encontra o pavimento e a determinação da deflexão de projeto encontrado a partir da Norma PRO-011 (DNER, 1979). Nota-se que os valores determinados de deflexão de projeto para ambos os períodos analisados foram de 58,0 x 10<sup>-2</sup> mm (junho de 2009) e 77,6 x 10<sup>-2</sup> mm (novembro de 2009). Com os dados do mês de junho, o pavimento pode ser considerado com boa qualidade estrutural. No entanto, para o mês de novembro, a deflexão de projeto foi maior que a

admissível. Neste caso, a qualidade estrutural é considerada regular e já se torna necessário dimensionar o reforço.

As Figuras 6.48, 6.49, 6.50 e 6.51 apresentam as bacias de deflexão encontradas para o sub-trecho cascalho laterítico. Observa-se que para o período seco (junho de 2009), as diferenças das deflexões medidas entre os bordos direito e esquerdo são pequenas. Já no período chuvoso (novembro de 2009), é possível notar um significativo aumento dos valores de deflexão obtidos para o bordo direito. Sendo assim, mais uma vez verifica-se o prejuízo que está ocorrendo na estrutura do bordo direito em função da inexistência de dispositivos de drenagem.

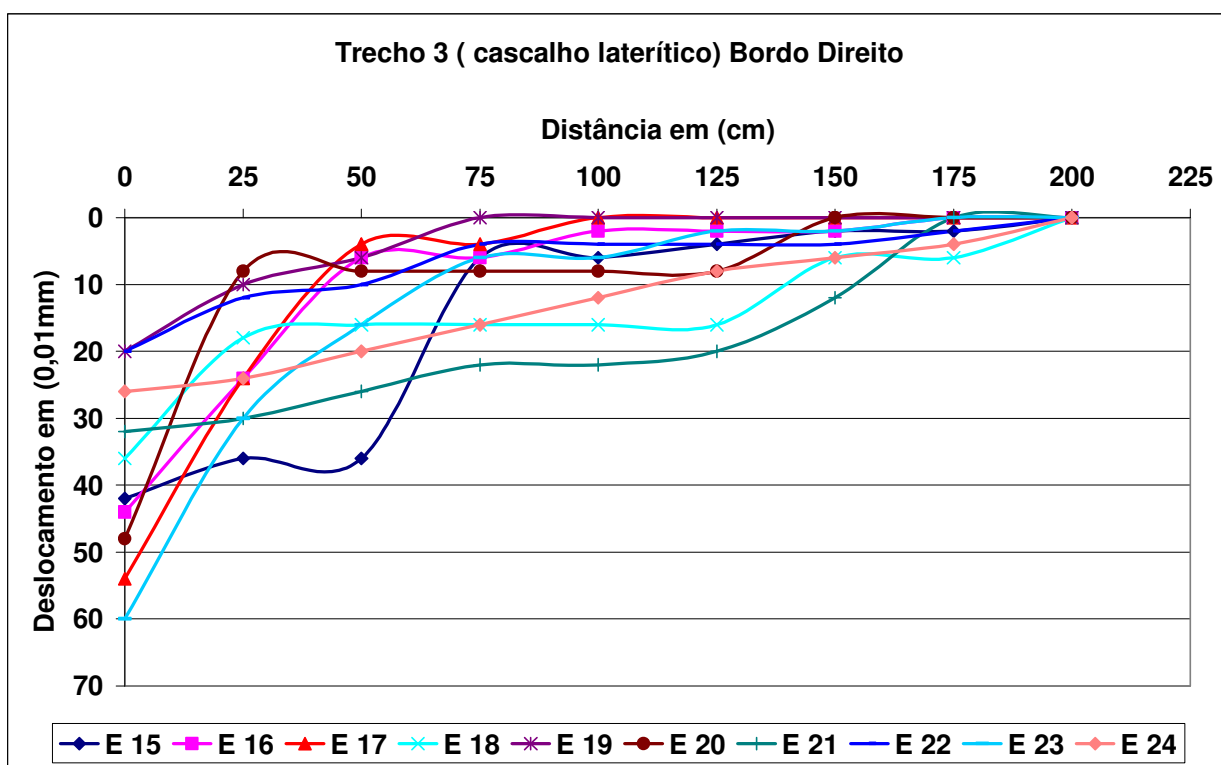


Figura 6.48 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho cascalho laterítico

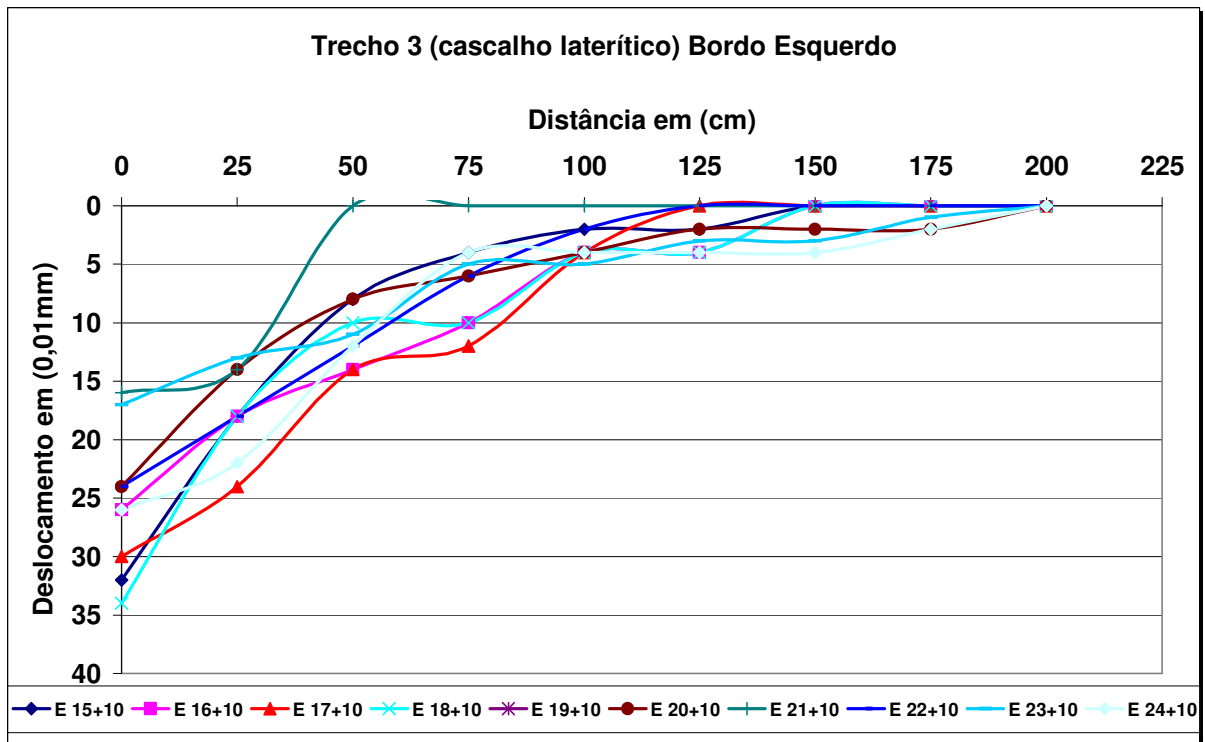


Figura 6.49 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho cascalho laterítico

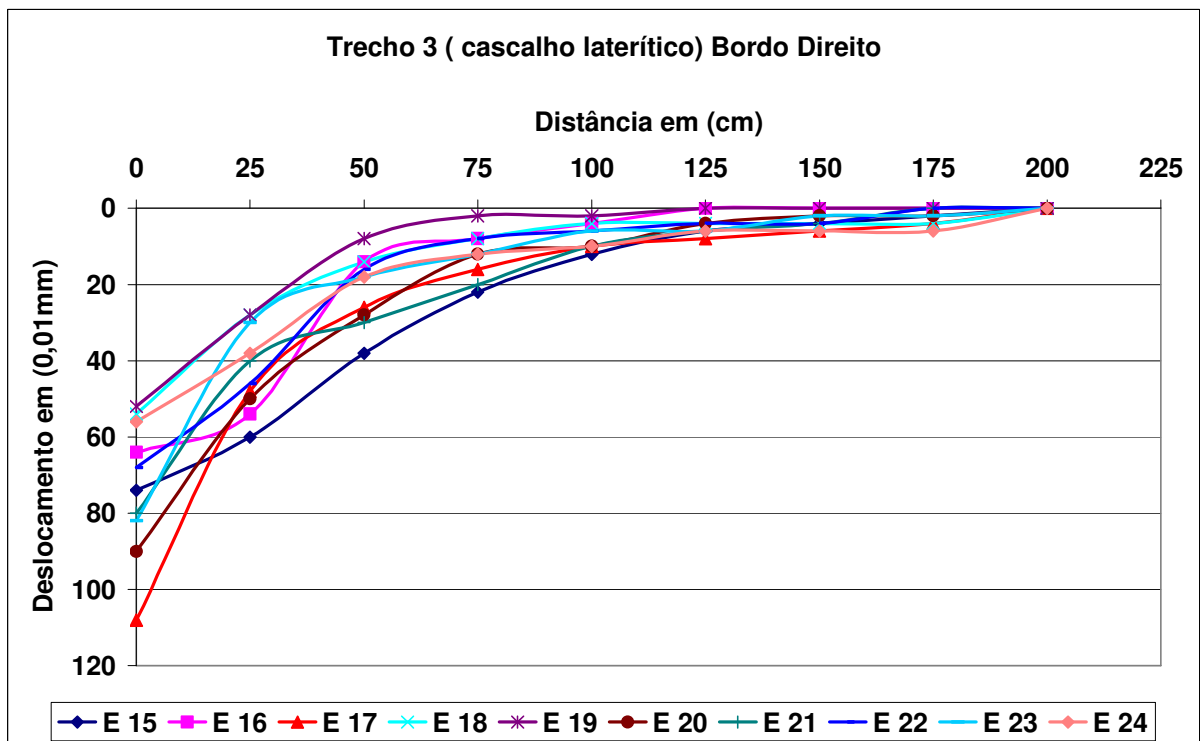


Figura 6.50 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho cascalho laterítico

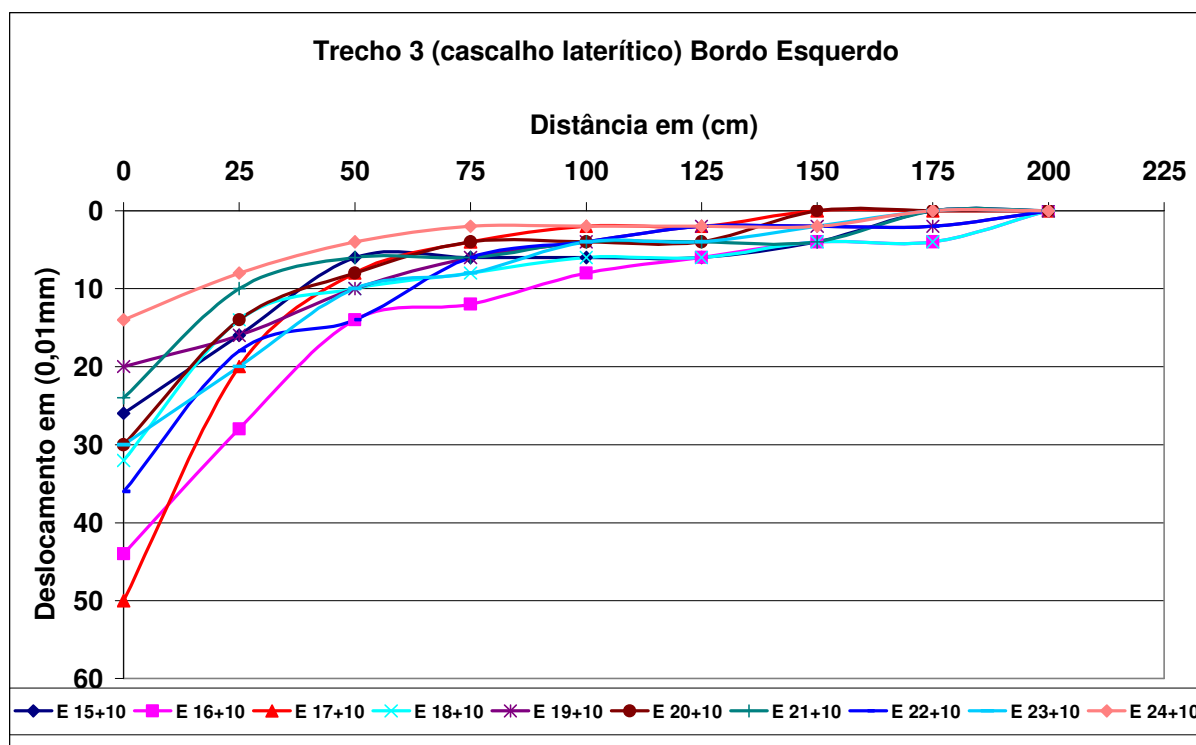


Figura 6.51 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub-trecho cascalho laterítico

#### 6.4.3.4 Sub-Trecho solo+ pó de micaxisto

As Tabelas 6.26 e 6.27 demonstram as deflexões reais ou verdadeiras medida no ponto de prova ( $D_0$ ), a deflexão medida a 25 centímetros do ponto de prova da viga ( $D_{25}$ ), o raio de curvatura calculado ( $R$ ) e o valor do produto  $R \times D_0$ , após dois anos da execução do trecho.

Tabela 6.26 – Resumo dos Resultados dos Ensaios de Viga Benkelman no sub-trecho solo+pó de micaxisto (junho de 2009)

Estaca	$D_0$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	$D_{25}$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	R (m)	$R \cdot D_0$ ( $m \times 10^{-2}$ mm)
E 25 BD	38,0	22,0	195,3	7421,8
E 26 BD	18,0	14,0	781,2	14062,5
E 27 BD	10,0	6,0	781,2	7812,5
E 28 BD	12,0	10,0	1562,5	18750
E 29 BD	62,0	34,0	111,6	6919,6
E 30 BD	66,0	36,0	104,1	6875
<b>Médias</b>	<b>34,3</b>	<b>20,3</b>	<b>589,3</b>	<b>10306,9</b>
E 25+10 BE	34,0	14,0	156,2	5312,5
E 26+10 BE	16,0	14,0	1562,5	25000
E 27+10 BE	52,0	32,0	156,2	8125
E 28+10 BE	20,0	16,0	781,2	15625
E 29+10 BE	50,0	34,0	195,3	9765,6
<b>Médias</b>	<b>34,4</b>	<b>22,0</b>	<b>570,3</b>	<b>12765,6</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo



Tabela 6.27 – Resumo dos Resultados dos Ensaios de Viga Benkelman no sub-trecho solo+pó de micaxisto (novembro de 2009)

Estaca	$D_0$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	$D_{25}$ ( $\times 10^{-2}$ mm)	R (m)	$R.D_0$ ( $m \times 10^{-2}$ mm)
E 25 BD	76,0	38,0	82,2	6250,0
E 26 BD	44,0	34,0	312,5	13750,0
E 27 BD	24,0	16,0	390,6	9375,0
E 28 BD	42,0	26,0	195,3	8203,1
E 29 BD	100,0	48,0	60,1	6009,6
E 30 BD	82,0	48,0	91,9	7536,7
<b>Médias</b>	<b>61,3</b>	<b>33,8</b>	<b>188,7</b>	<b>8520,7</b>
E 25+10 BE	34,0	16,0	173,6	5902,7
E 26+10 BE	50,0	24,0	120,1	6009,6
E 27+10 BE	66,0	34,0	97,6	6445,3
E 28+10 BE	50,0	22,0	111,6	5585,3
E 29+10 BE	60,0	26,0	91,9	5514,7
<b>Médias</b>	<b>52,0</b>	<b>24,4</b>	<b>118,9</b>	<b>5890,5</b>

Obs.: BD = bordo direito, BE = bordo esquerdo

Inicialmente, observa-se que a deflexão máxima obtida foi inferior a  $70 \times 10^{-2}$  mm, em junho de 2009 e a  $100 \times 10^{-2}$  mm em novembro de 2009, sendo que inicialmente estes valores podem ser considerados baixos, o que reflete um bom comportamento da estrutura avaliada. De acordo com a Norma PRO-011 (DNER, 1979), os valores de raio de curvatura menores de 100 metros sugerem a existência de problemas estruturais, o que não foi observado para o primeiro período analisado. Somente em novembro os valores ficaram ligeiramente inferiores, demonstrando assim a influência da umidade nas deformações recuperáveis da estrutura avaliada.

Outra análise que se pode efetuar é em que condição se encontra o pavimento a partir do produto  $R.D_0$ . Neste caso, somente a estaca E 25+10 BE apresentou valor abaixo do preconizado pela norma.

Avaliando-se os valores médios obtidos para os parâmetros determinados, verifica-se que mesmo com a variabilidade própria desse tipo de ensaio, praticamente não há diferença de comportamento entre o bordo esquerdo (BE) e o bordo direito (BD) e que o estado geral da estrutura do pavimento até então pode ser considerado satisfatório. As Figuras 6.52, 6.53, 6.54 e 6.55 demonstram as bacias de deformações para o sub-trecho solo+pó de micaxisto.

Para este sub-trecho a avaliação da qualidade estrutural obtida a partir da deflexão de projeto mostra que os valores encontrados  $71,4 \times 10^{-2}$  mm (junho de 2009) e  $79,5 \times 10^{-2}$  mm classificam o sub-trecho como de qualidade estrutural regular e que o pavimento já precisa de reforço para melhorar a sua estrutura. Além disso, na inspeção visual já foi observada a presença de trincas no revestimento (Figura 6.56).



Figura 6.56 – Detalhes das trincas no sub-trecho solo+pó de micaxisto

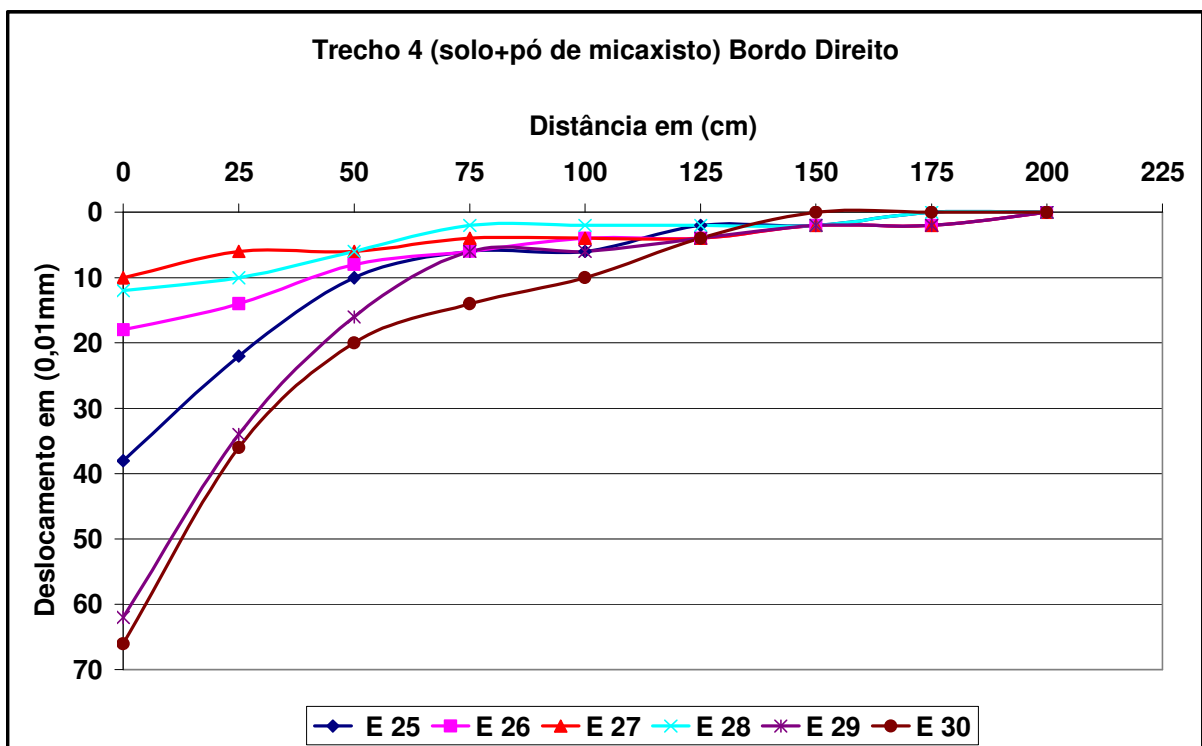


Figura 6.52 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto

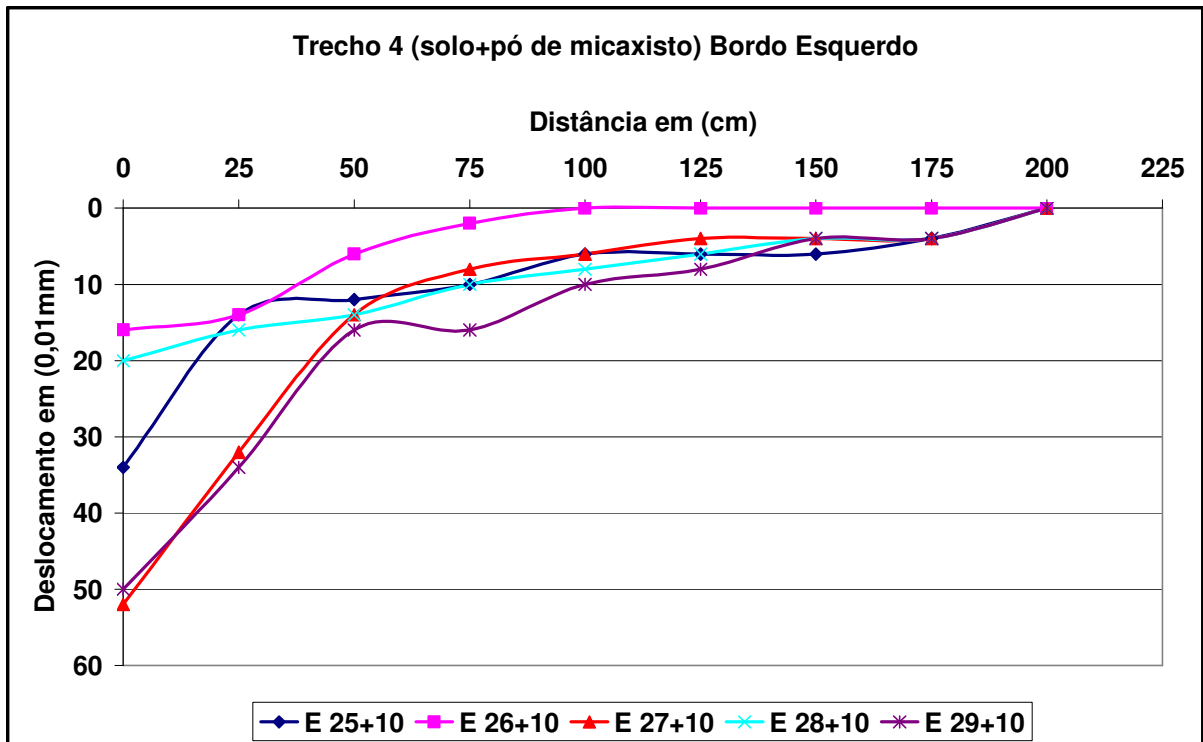


Figura 6.53 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto

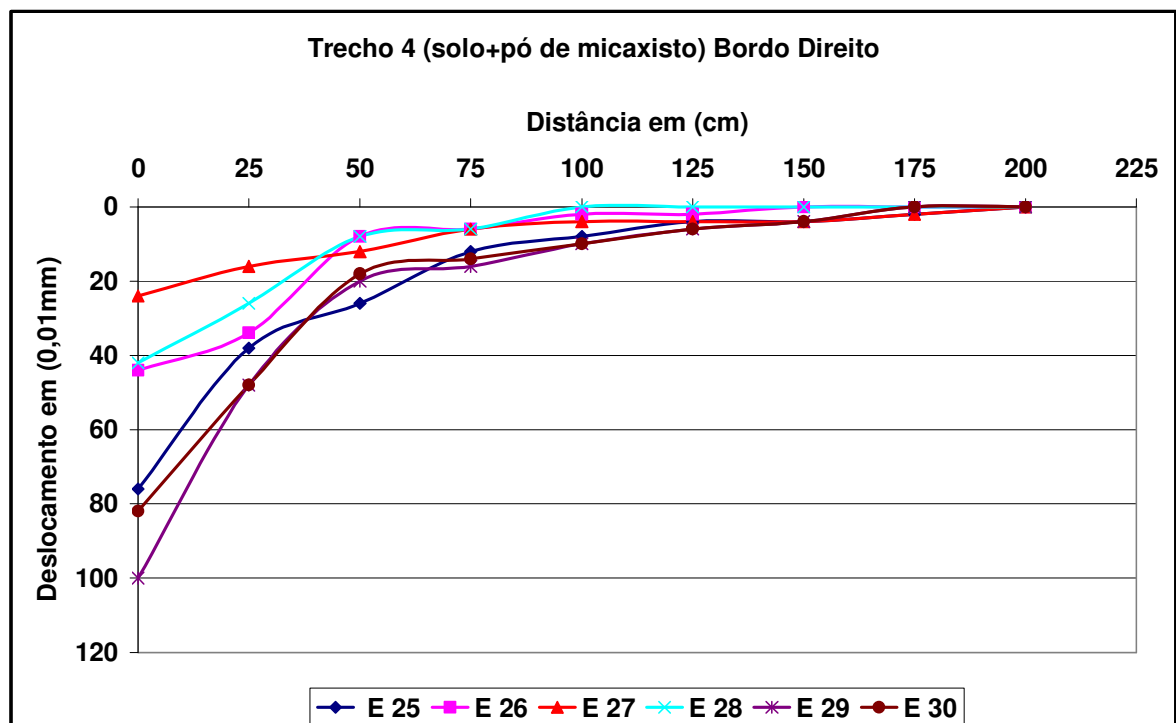


Figura 6.54 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto

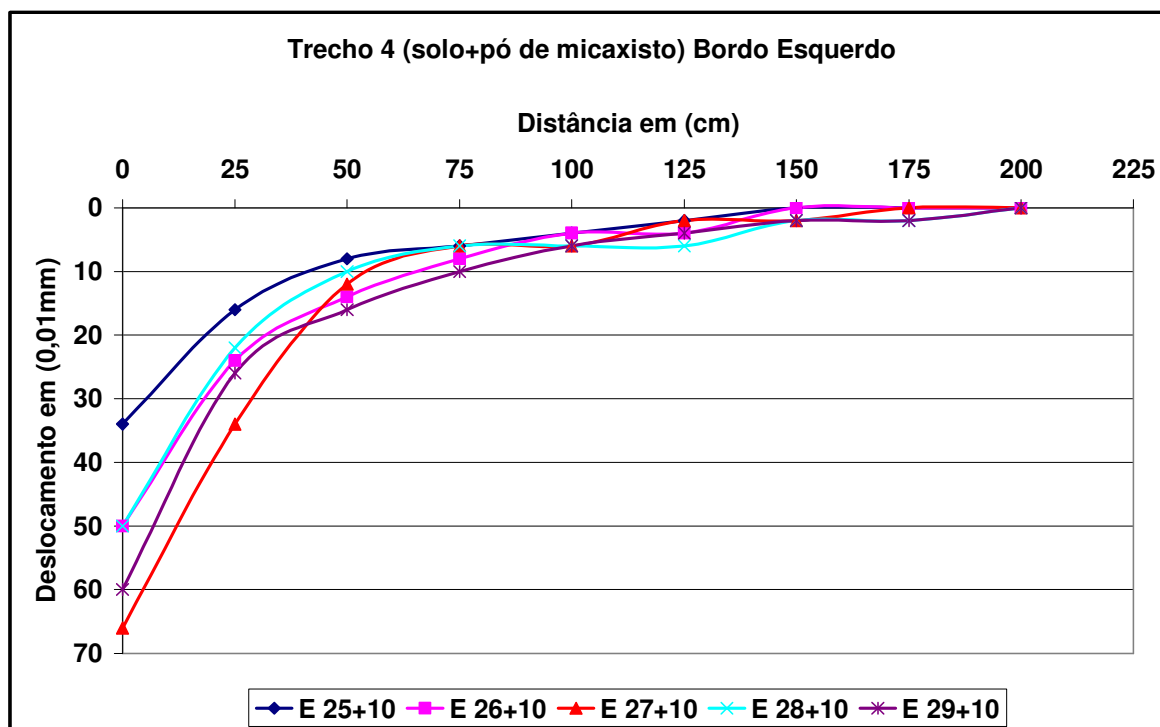


Figura 6.55 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 sub-trecho solo+pó de micaxisto

## 6.5 COMPARAÇÃO ENTRE OS SUB-TRECHOS

A Tabela 6.28 apresenta os valores médios de deslocamento total ( $d_t$ ) obtido no ensaio de prova de carga sobre placa, nos diferentes períodos avaliados, para todos os sub-trechos.

Tabela 6.28 – Valores médios de deslocamento total para os sub-trechos avaliados

Período avaliado	Solo+fíler ( $d_t$ )	Solo+brita 1 ( $d_t$ )	Cascalho laterítico ( $d_t$ )	Solo+pó de micaxisto ( $d_t$ )
<b>Junho/2009</b>	0,86 mm	0,65 mm	0,82 mm	0,85 mm
<b>Novembro/2009</b>	1,18 mm	0,96 mm	1,01 mm	1,20 mm

Obs.:  $d_t$ =deslocamento total

Ao analisar os valores médios de deslocamento total dos sub-trechos compostos por resíduos de pedreiras em suas camadas (solo+fíler e solo+pó de micaxisto), percebe-se que os mesmos apresentam grande similaridade de comportamento em ambos períodos analisados. Isso pode ser explicado pelo fato dessas composições apresentarem a maior quantidade de finos, sendo que quando submetidas à ação da água da chuva, apresentam perda de resistência maior que os materiais mais granulares (solo-brita 1 e cascalho laterítico). Ressalta-se que construção de dispositivos de drenagem eficientes poderia alterar

significativamente essas deformações, permitindo, então, que os sub-trechos executados com resíduos finos de pedreiras apresentassem bom desempenho estrutural.

Para o sub-trecho executado com cascalho laterítico, observa-se que no período de seca o deslocamento médio obtido foi semelhante aos valores determinados para os sub-trechos executados com resíduo de pedra. No entanto, na estação chuvosa, o aumento do deslocamento foi menor do que o observado para os demais sub-trechos. Sendo assim, nota-se que o cascalho apresenta maior estabilidade em função da ação da água, o que pode ser explicado pela menor quantidade de finos em sua composição.

Já o sub-trecho solo+brita 1 é o que apresenta o melhor desempenho estrutural, principalmente na estação seca. Na estação chuvosa foi observado o menor valor médio de deslocamento quando comparado com os demais materiais. No entanto, a diferença observada entre os deslocamentos totais médios dos dois períodos avaliados mostra que esse material é bastante suscetível à ação da água.

Fica evidente, então, que o fator chuva é o principal responsável pela perda de resistência dos diferentes materiais utilizados para a confecção da base e sub-base dos quatro sub-trechos experimentais, conforme dados obtidos a partir de ensaios de prova de carga sobre placa realizados em dois diferentes períodos do ano de 2009.

A Tabela 6.29 apresenta os resultados dos valores médios dos índices de penetração (DN) obtidos para os diferentes sub-trechos nos dois períodos avaliados.

Tabela 6.29 – Valores médios de DN para os diferentes sub-trechos

<b>Período avaliado</b>	<b>Solo+fíler (DN) mm/golpe</b>	<b>Solo+brita 1 (DN) mm/golpe</b>	<b>Cascalho laterítico (DN) mm/golpe</b>	<b>Solo+pó de micaxisto (DN) m/golpe</b>
<b>Junho/2009</b>	-	-	-	3,0 (base)
	-	-	-	5,0 (sub-base)
<b>Novembro/2009</b>	3,0 (base)	2,6 (base)	3,6 (base)	5,4 (base)
	8,3 (sub-base)	3,6 (sub-base)	2,8 (sub-base)	6,9 (sub-base)

Obs: DN= índice de penetração

Para todos os sub-trechos avaliados, foi possível identificar as mudanças comportamentais dos diferentes materiais utilizados para a confecção das camadas do pavimento estudado.

Para o sub-trecho solo+fíler, observou-se um índice de penetração médio em torno de 3,0 mm/golpe para a camada de base em novembro de 2009. Comparando este valor com os demais índices de penetração encontrados para os outros sub-trechos, verifica-se similaridade de resultados em função dos diferentes tipos de materiais estudados. No entanto,

a base executada com a mistura solo-pó de micaxisto apresentou DN médio maior, o que significaria menor resistência.

Em termos de sub-base, verifica-se apenas que a mistura solo-brita e o cascalho apresentaram DN nos mesmos níveis de valores que foram obtidos para a base. A mudança do comportamento para as sub-bases de solo-fíler e solo+pó de micaxisto por meio do aumento de DN podem ser explicadas pelas mudanças na dosagem de materiais ou nas energias de compactação adotadas durante a execução do trecho experimental.

Somente no sub-trecho executado com mistura de solo-pó de micaxisto foi possível analisar a variação dos valores de DN em função dos diferentes períodos de realização dos ensaios. Para os dois períodos avaliados, seco e chuvoso, observa-se uma diminuição de resistência da base e sub-base, o que mais uma vez demonstra a influência da precipitação local no desempenho estrutural do pavimento.

A Tabela 6.30 mostra os resultados dos valores médios da deflexão verdadeira no ponto de prova  $D_0$  e o raio de curvatura para os diferentes meses avaliados nos sub-trechos.

Tabela 6.30 Valores médios de  $D_0$  e Raio de curvatura para os sub-trechos avaliados.

Período avaliado	Solo+fíler		Solo+brita 1		Cascalho laterítico		Solo+pó de micaxisto	
	$D_0$ ( $10^{-2}$ mm)	R (m)	$D_0$ ( $10^{-2}$ mm)	R(m)	$D_0$ ( $10^{-2}$ mm)	R(m)	$D_0$ ( $10^{-2}$ mm)	R(m)
<b>Junho/2009</b>								
Bordo direito	94,0	99,3	38,8	528,1	38,2	496,5	34,1	589,3
Bordo esquerdo	34,0	1562,5	23,6	558,4	25,4	587,6	34,4	570,3
<b>Novembro/2009</b>								
Bordo direito	162,4	55,1	53,0	203,4	72,8	137,0	61,3	188,7
Bordo esquerdo	68,4	108,0	40,8	241,1	30,0	299,2	52,0	118,9

Obs:  $D_0$ = deflexão verdadeira, R= raio de curvatura.

Comparando-se os sub-trechos em termos de deflexões médias, nota-se que o sub-trecho solo+fíler foi o que obteve maiores deflexões recuperáveis. Para esse sub-trecho ainda é possível verificar elevados valores de deflexões entre os bordos direito e esquerdo e entre os períodos avaliados, sendo que no período chuvoso esses valores podem até dobrar quando comparados aos obtidos no mês de seca.

Já os sub-trechos solo+brita 1, cascalho laterítico e solo+pó de micaxisto foram os que tiveram os melhores resultados de deflexões reversíveis. Para estes sub-trechos, também é possível verificar a influência da água na estrutura do pavimento, o que permite afirmar mais uma vez que inexistência de dispositivos de drenagem para escoamento da água superficial está comprometendo a qualidade do pavimento em todos os sub-trechos, principalmente no

bordo direito. Nos sub-trechos de solo+brita 1 e cascalho laterítico foram obtidos os valores mais próximos de deflexões, demonstrando, assim, a grande similaridade de resistência entre os sub-trechos executados com materiais mais granulares.

Com os dados apresentados até o momento, é possível destacar que tivesse sido executado um projeto de drenagem adequado para o trecho em questão, provavelmente os problemas observados, após dois anos e meio de construção da via, não existiriam e que os materiais alternativos e ambientalmente corretos empregados poderiam estar se comportando de forma semelhante àqueles tradicionalmente utilizados nos serviços de pavimentação da região.

Em relação aos valores de raio de curvatura, o sub-trecho solo+fíler foi o único que apresentou valores médios abaixo do preconizado pela Norma PRO-011 (DNER, 1979) que é de 100 m. Já os demais sub-trechos tiveram seus valores bem acima do limite definido pela norma, demonstrando assim uma resistência estrutural variando de boa a regular.

As Figuras 6.57, 6.58, 6.59 e 6.60 demonstram as bacias de deflexões médias obtidas para os sub-trechos em cada bordo verificado e em cada período de análise. Nesses gráficos é possível observar que tanto na estação seca (junho de 2009) como na estação chuvosa (novembro de 2009), o bordo direito do sub-trecho de solo-fíler apresenta o pior desempenho.

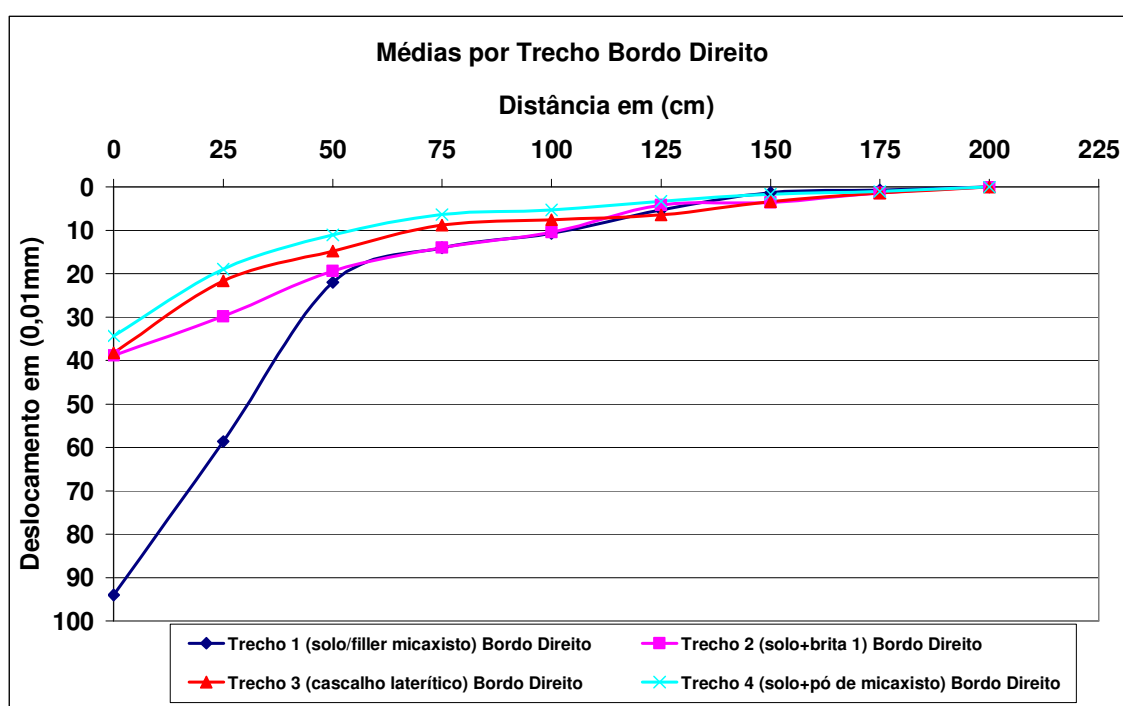


Figura 6.57 – Bacias de deflexão bordo direito em junho de 2009 valores médios.

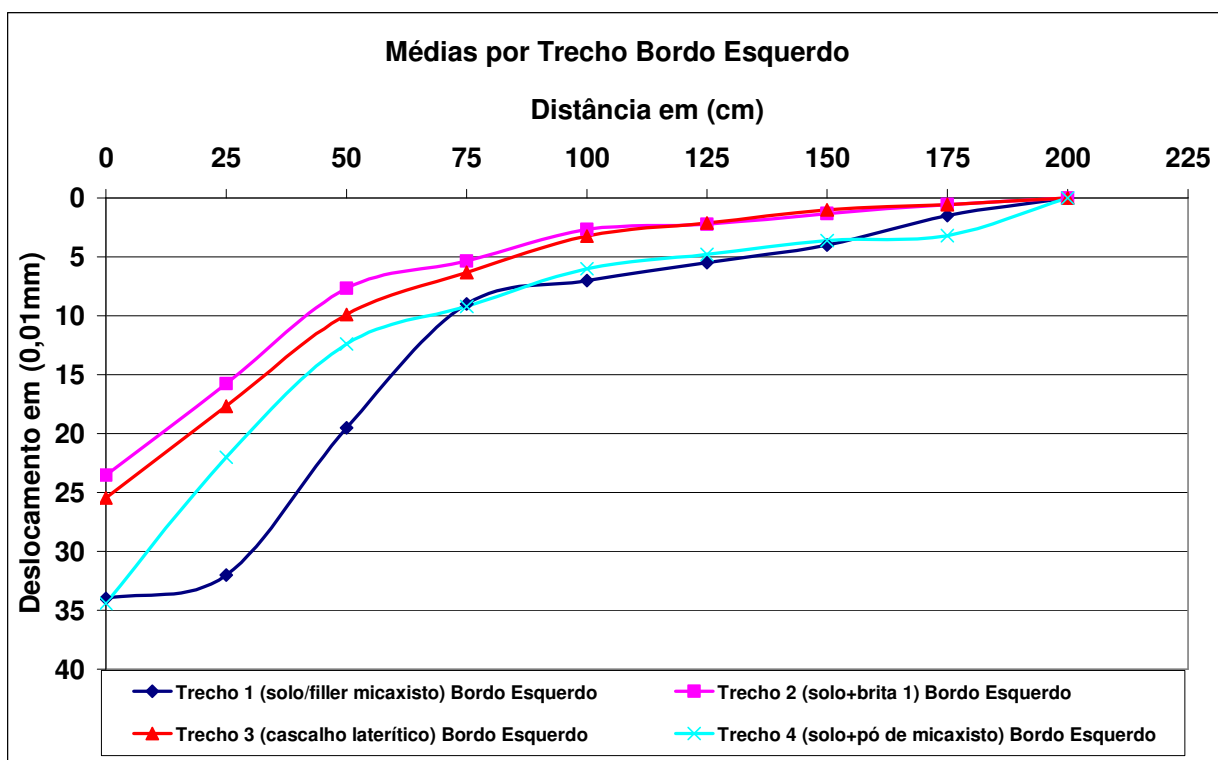


Figura 6.58 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em junho de 2009 valores médios.

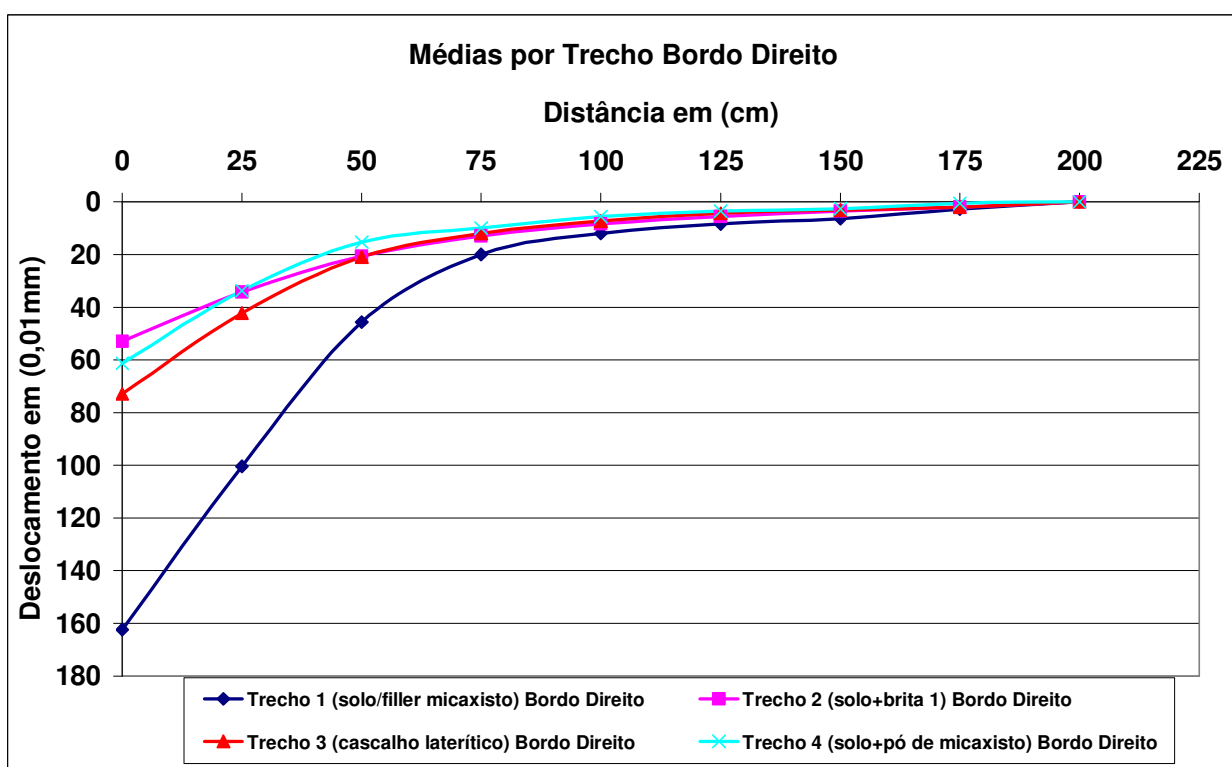


Figura 6.59 – Bacias de deflexão bordo direito em novembro de 2009 valores médios.



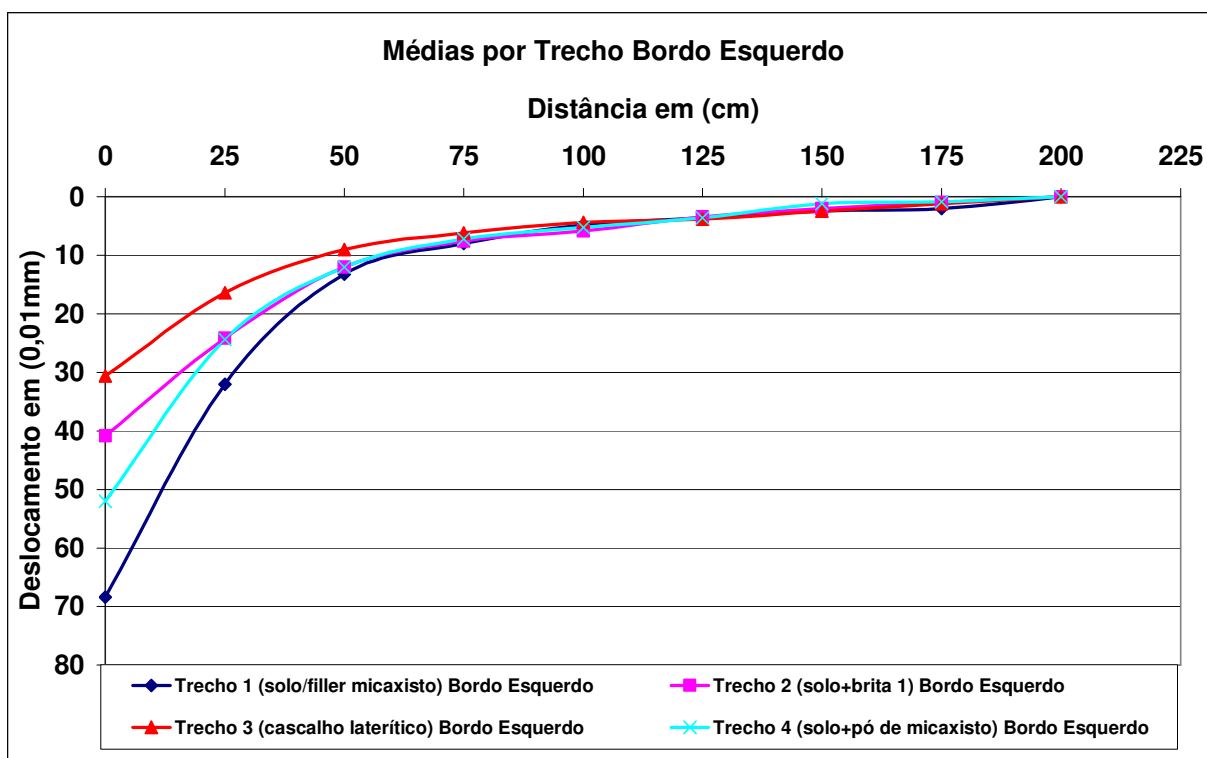


Figura 6.60 – Bacias de deflexão bordo esquerdo em novembro de 2009 valores médios.

## 6.6 COMPARAÇÃO COM PESQUISAS REALIZADAS ANTERIORMENTE

Neste item, são apresentadas as comparações realizadas entre os dados apresentados nesta dissertação e aqueles obtidos por Luz (2008) e Araújo (2008).

A Tabela 6.31 apresenta os valores médios de deslocamento total e deslocamento elástico obtidos em todos os ensaios de prova de carga sobre placa realizados até o momento.

No sub-trecho solo+fíler observa-se que desde a execução (julho de 2007), os valores de deslocamento total obtiveram um acréscimo, fato este também observado por Luz (2008). Esse acréscimo dos valores de deslocamento pode estar relacionado à exposição do pavimento há duas estações chuvosas e com alto índice pluviométrico; nesses dois anos e meio desde a execução, a estrutura do pavimento recebeu, em média, cerca de 3575,1 mm de chuva em sua estrutura. Este fato aliado à falta de dispositivos de drenagem faz com que as camadas de base e sub-base fiquem com valores de umidade acima da definida em projeto, sendo que quando o pavimento é solicitado pelo tráfego tem-se o comprometimento do seu desempenho.

No sub-trecho de solo+brita 1 nota-se um comportamento estável em termos de parâmetros médios obtidos no ensaio de prova de carga sobre placa.

Tabela 6.31 – Valores médios de deslocamentos obtidos nos diferentes sub-trechos

<b>Período</b>	<b>T=560 kPa</b>	
<b>Sub-trecho</b>	<b>d<sub>t</sub> (mm) médio</b>	<b>d<sub>e</sub> (mm) médio</b>
<b>solo+fíler</b>		
Julho/2007 (LUZ, 2008)	0,74	0,26
Julho/2008 (LUZ, 2008)	1,00	0,37
Junho/2009	0,86	0,53
Novembro/2009	1,18	0,61
<b>Sub-trecho</b>	<b>d<sub>t</sub> (mm) médio</b>	<b>d<sub>e</sub> (mm) médio</b>
<b>solo+brita 1</b>		
Julho/2007 (ARAÚJO, 2008)	0,88	0,31
Junho/2009	0,65	0,16
Novembro/2009	0,96	0,28
<b>Sub-trecho cascalho</b>	<b>d<sub>t</sub> (mm) médio</b>	<b>d<sub>e</sub> (mm) médio</b>
<b>laterítico</b>		
Julho/2007 (ARAÚJO, 2008)	0,60	0,17
Junho/2009	0,82	0,41
Novembro/2009	1,01	0,33
<b>Sub-trecho solo+pó</b>	<b>d<sub>t</sub> (mm) médio</b>	<b>d<sub>e</sub> (mm) médio</b>
<b>de micaxisto</b>		
Julho/2007 (ARAÚJO, 2008)	0,98	0,23
Junho/2009	0,85	0,36
Novembro/2009	1,20	0,35

Obs: d<sub>t</sub>=deslocamento total, d<sub>e</sub>=deslocamento elástico.

Para o sub-trecho de cascalho laterítico é mais nítida a perda de resistência ao longo dos períodos avaliados. No entanto, ao compará-lo aos sub-trechos solo+fíler e solo+pó de micaxisto, o mesmo apresenta melhor desempenho estrutural em todos os períodos avaliados, o que demonstra que este material tradicional apresenta significativo desempenho em campo.

Já o sub-trecho solo+pó de micaxisto, desde a construção apresenta os maiores valores de deslocamentos médios e este fato só foi piorando com a influência do tráfego e da água da chuva.

A Tabela 6.32 apresenta os valores médios de índice de penetração obtidos para os sub-trechos nos diferentes períodos avaliados.

Ao comparar de forma geral os índices de penetração obtidos para todos os sub-trechos nas camadas de base e sub-base, percebe-se um ganho de resistência desde a execução. Os sub-trechos solo+brita 1 e cascalho laterítico foram os que obtiveram maior ganho de resistência ao longo do período avaliado. Já o sub-trecho solo+pó de micaxisto foi o que apresentou valores de DN mais estáveis.

Tabela 6.32 – Valores médios de índice de penetração

<b>Período avaliado</b>	<b>Solo+fíler (DN) mm/golpe</b>	<b>Solo+brita 1 (DN) mm/golpe</b>	<b>Cascalho laterítico (DN) mm/golpe</b>	<b>Solo+pó de micaxisto (DN) m/golpe</b>
<b>Julho/2007</b>	11,3 (base trincada)	12,6 (base)	6,4 (base)	5,3 (base trincada)
	31,4 (base+sub-base)	14,8 (sub-base)	15,2 (sub-base)	13,8 (base+sub-base)
<b>Junho/2009</b>	-	-	-	3,0 (base)
	-	-	-	5,0 (sub-base)
<b>Novembro/2009</b>	3,0 (base)	2,6 (base)	3,6 (base)	5,4 (base)
	8,3 (sub-base)	3,6 (sub-base)	2,8 (sub-base)	6,9 (sub-base)

Obs: DN= índice de penetração

Para os sub-trechos solo+fíler, solo+brita e cascalho laterítico é possível observar o ganho de resistência para as camadas de base e sub-base adquirido desde a execução do trecho em julho de 2007. Já no sub-trecho solo+pó de micaxisto nota-se similaridade maior entre os períodos avaliados desde a execução. Para a base é possível observar valor máximo de 5,4 mm/golpe o que é considerado satisfatório. Neste sub-trecho também é possível verificar a influência da secagem na resistência das camadas, onde pode-se observar valores de DN mais elevados para a base.

As comparações feitas com base nos resultados do DCP podem parecer estranhas por mostrarem ganho de resistência dos materiais ao longo do tempo. No entanto, deve-se ressaltar que:

- O ensaio é feito de forma pontual e talvez a comparação entre o comportamento de diferentes materiais e diferentes locais (eixo, bordo direito e bordo esquerdo) em termos de valores médios pode não ser a melhor maneira de representar cada sub-trecho como um todo;
- Diferente dos demais ensaios de campo realizados, o DCP não mede desempenho estrutural, mas sim característica de resistência de cada material;

A análise proporcionada pelos resultados obtidos no ensaio de viga Benkelman comparando os valores médios ao longo do período de vida do pavimento só foi realizada no sub-trecho solo+fíler, conforme apresentado na Tabela 6.33. Isto ocorreu em função de dificuldades para obtenção das bacias de deflexão por Araújo (2008) durante a execução dos demais sub-trechos.

Tabela 6.33 – Valores de  $D_0$  e R obtidos por Luz (2008) e nesta pesquisa.

Período avaliado	Solo+filer	
	$D_0$ ( $10^{-2}$ mm)	R (m)
<b>Junho/2008</b>		
Bordo direito Luz (2008)	33,6	297,0
Bordo esquerdo Luz (2008)	53,0	302,6
<b>Junho/2009</b>		
Bordo direito	94,0	99,3
Bordo esquerdo	34,0	1562,5
<b>Novembro/2009</b>		
Bordo direito	162,4	55,1
Bordo esquerdo	68,4	108,0

Obs:  $D_0$ =deflexão verdadeira no ponto de prova total, R=raio de curvatura

Nesse sub-trecho nota-se um aumento dos valores de deflexão ao longo dos anos, o que já é comprovado quando analisa-se os valores para os ensaios realizados por Luz (2008) após um ano de execução do pavimento. Para o ano de 2009 verifica-se que o bordo direito apresenta as maiores deflexões nos dois períodos analisados (junho e novembro de 2009), o que reforça as teorias levantadas anteriormente para uma perda de desempenho estrutural em função da infiltração da água de chuva da seção do pavimento estudado. Quanto os valores do raio de curvatura (R) é possível identificar para o bordo direito valores abaixo do limite preconizado pela Norma PRO-011 (DNER, 1979), que é de 100 m. A partir dessa análise é sugerido a existência e aparecimento de defeitos estruturais e que já seria necessário intervenção através de determinações adicionais e um a execução de um possível reforço.

## 6.7 ESTIMATIVA DE QUANTIDADE E DE CUSTOS

### 6.7.1 Quantificação do filer e do pó gerados

Atualmente, na região metropolitana de Goiânia existem cerca de 14 empresas que realizam a britagem da rocha para produção de agregados para a construção civil, sendo que cerca de 7 empresas produzem agregados a partir da extração da rocha de micaxisto. Nas empresas pesquisadas neste trabalho, a produção de filer corresponde a cerca de 4.000 toneladas/mês, o que gera cerca de 120.000 toneladas de produtos estocados em seus depósitos.

As principais etapas que existem para a geração e manutenção do filer são: perfuração, detonação, carregamento e transporte, britagem, re-britagem, lavagem, dragagem

e carregamento do material (filer) para o depósito. Nas etapas citadas, os principais custos envolvidos decorrem do consumo de: explosivos, energia, óleo diesel bem como do material de desgaste e da mão de obra utilizada. Segundo a direção das empresas, para produzir cerca de uma tonelada de filer, atualmente são necessários aproximadamente de 11 a 13 reais/tonelada, considerando desde o processo de perfuração até deposição nas áreas de estocagem.

O trabalho desenvolvido por Luz (2008) com a construção do Trecho Experimental localizado no Bairro Sítio Recreio dos Ipês consumiu 135,70 toneladas de filer para a composição das camadas de sub-base e base na secção do pavimento executado com misturas de solo e filer para uma extensão de 100 m e uma área de 700 m<sup>2</sup>. Quanto ao pó de micaxisto, Araújo (2008) utilizou 131,2 toneladas para a composição das camadas do sub-trecho com as mesmas dimensões do solo-filer.

Por outro lado, de acordo com a Agência Municipal de Obras da Prefeitura de Goiânia (AMOB), estava prevista uma área de 769.876,74 m<sup>2</sup> para pavimentação de vias urbanas no município durante o ano de 2009 (Tabela 6.34). Se houvesse o reaproveitamento do filer na composição das camadas desses pavimentos e utilizando como sugestão as dosagens de solo-filer utilizadas no trecho experimental por Luz (2008), seria consumido um total de 149.246,19 toneladas de resíduo (Tabela 6.34). Sendo assim, a quantidade de filer produzida nas empresas juntamente com o produto que já está estocado em seus depósitos seriam suficientes para compor a estrutura dos pavimentos que foram construídos no ano de 2009.

Assim, constata-se que em termos da quantidade, é plenamente viável que o filer seja utilizado em larga escala nos serviços de pavimentação do município de Goiânia, sendo que ações como esta são de grande importância para o meio ambiente, uma vez que, ocorrendo o reaproveitamento estaria diminuindo os passivos ambientais decorrentes da estocagem do filer. No entanto, falta ainda discutir sobre a questão dos custos envolvidos para verificar se o resíduo pode se tornar competitivo no mercado, o que será apresentado nos próximos itens.

Com relação ao pó de micaxisto, a quantidade de material produzido nas pedreiras pesquisadas já possui utilidade no mercado local, sendo utilizado em obras da construção civil. Na pavimentação este material é utilizado em dosagens menores para a composição da massa asfáltica (CBUQ). Sendo assim, pelo fato do mesmo não ficar estocado e possuir mercado que o absorva, este material não é considerado resíduo, mas pode ser enquadrado

como não convencional e ser utilizado para a confecção de base e sub-base em obras de pavimentação.

Tabela 6.34 - Serviços de pavimentação no município de Goiânia em 2009 e estimativa da quantidade de filer e pó a ser utilizado

Local a ser pavimentado	Área a ser pavimentada (m <sup>2</sup> )	Quantidade de filer necessária para a pavimentação (ton)	Quantidade de pó de micaxisto necessária para a pavimentação (ton)
Setor Parque das Flores	48.216,00	9.347,01	9.037,05
Av. Noroeste	92.500,00	17.931,78	17.337,14
Residencial Itaipu	219.539,00	42.559,20	41.147,88
Setor Serra Azul	42.000,00	8.142,00	7.872,00
Setor Real Conquista	263.111,74	51.006,10	49.314,65
Setor Santa Fé	104.510,00	20.260,10	195.88,16
<b>Total</b>	<b>769.876,74</b>	<b>149.246,19</b>	<b>144.296,88</b>

### 6.7.2 Estimativa de custos para execução do trecho experimental

Neste item, estão apresentados os itens e os custos necessários para a execução do trecho experimental proposto por Luz (2008) e Araújo (2008).

Com base nas atividades que fizeram parte da construção, tais como: levantamento topográfico, limpeza, terraplanagem e pavimentação, foram obtidos os valores de custos de construção para cada tipo de sub-trecho executado. Os custos aqui obtidos correspondem a dois sub-trechos de 200 m (cascalho e solo+brita 1) e dois sub-trechos de 100 m (solo+filer, solo + pó de micaxisto). As Tabelas 6.35 e 6.36 apresentam os resultados do primeiro cenário, considerando que ocorreu a doação dos materiais para a pesquisa. No apêndice apresenta-se as Tabelas 6.35 a e 6.36 b, que corresponde a todas as atividades para o cálculo deste cenário

Tabela 6.35 – Composição de custos do trecho solo-filer e solo-pó

Discriminação dos serviços	Preços R\$
Sub-total terraplenagem	928,93
Sub-total pavimentação	15.315,19
Custo total	16.244,12

Tabela 6.36 - Composição do trecho solo-brita 1 e cascalho laterítico

Discriminação dos serviços	Preços R\$
Sub-total terraplenagem	1857,86
Sub-total pavimentação	30.630,45
Custo total	32.488,31

A composição da estimativa de custos para os sub-trechos foi dividida em duas principais partes de execução, sendo elas: terraplenagem e pavimentação. Os serviços que compõem a terraplenagem foram obtidos na Tabela de composição fornecida pelo AMOB

(apresentada no item 5.6). No entanto, para adequação ao trecho, selecionou-se somente os serviços que foram executados na construção do trecho experimental.

Na parte de terraplenagem destaca-se: limpeza (pavimentação urbana), serviços topográficos e projetos geométricos. Para a composição da pavimentação tem-se: regularização e compactação do subleito, imprimação (exceto material betuminoso), fornecimento de CM – 30 com taxa de aplicação de  $0,0012 \text{ t/m}^2$ , pintura de ligação, fornecimento de RR – 1C com taxa de aplicação de  $0,0005 \text{ t/m}^2$ , concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), fornecimento de CAP – 50/70 com taxa de 6% da tonelada de CBUQ e transporte de massa asfáltica.

A variação de preço dos trechos nesta primeira simulação está caracterizada principalmente em função da extensão do trecho, sendo que para os sub-trechos de 100 m e 200 m a composição de terraplenagem correspondeu a 5,71% do custo total quando se comparado à pavimentação, que foi de 94,28%. Observa-se que para esta primeira simulação, não obteve-se o real valor de cada composição, uma vez que grande parte do material foi doado para a execução da obra. Sendo assim, todos os quatro trechos construídos obtiveram o mesmo valor em termos de custos.

Quando considera-se os custos dos materiais, simulação esta que representa a realidade da maioria das obras de pavimentação, ocorre uma elevação dos gastos com a execução da obra. Isso pode ser observado claramente nas Tabelas 6.37, 6.38, 6.39 e 6.40, onde utilizou-se a composição de custos com os materiais obtidos nas três empresas visitadas nesta pesquisa (Pedreiras A, B e C), bem como a utilização do cascalho laterítico.

Já quando se tem a simulação obtendo os materiais em outras empresas da região metropolitana, obtém-se valores mais reais em relação ao que é praticado no mercado. De acordo com a Tabela 6.37, tem-se que a composição dos custos para a mistura solo-fíler variou apenas em função do local de obtenção do filer, uma vez que os preços oscilaram nas empresas selecionadas. Neste caso, a terraplenagem correspondeu a aproximadamente 5% do custo e a pavimentação a 95%. A composição mais vantajosa no ponto de vista econômico seria a execução do sub-trecho com o material obtido na Pedreira B.

Quando o material utilizado na composição das camadas do pavimento corresponde ao pó de micaxisto (Tabela 6.38), a composição não varia muito quando se compara ao filer (Tabela 6.37), sendo que a Pedreira B ainda é a mais favorável.

Tabela 6.37 – Composição dos custos para o sub-trecho solo+filer nas três diferentes empresas

Item	Cód (AGETOP)	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
<b>I</b>		<b>Terraplenagem</b>		-			
		<b>Sub-total terraplenagem</b>	-	-	-	-	928,93
<b>II</b>		<b>Pavimentação</b>					
		Aquisição de material levar na obra (empresa A)	t		73,5	24,00	1764,00
		Aquisição de material levar na obra (empresa B)	t		73,5	19,00	1396,5
		Aquisição de material levar na obra (empresa C)	t		73,5	23,00	1690,5
	40638	Escavação e carga material 1ª categoria	m <sup>3</sup>		261,7	4,38	1146,2
		<b>Custo total empresa A</b>					19.154,32
		<b>Custo total empresa B</b>					18.786,82
		<b>Custo total empresa C</b>					19.080,82

Tabela 6.38 – Composição de custos para o trecho solo +pó de micaxisto nas três diferentes empresas

Item	Cód (AGETOP)	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
<b>I</b>		<b>Terraplenagem</b>		-			
		<b>Sub-total terraplenagem</b>	-	-	-	-	928,93
<b>II</b>		<b>Pavimentação</b>					
		Aquisição de material levar na obra (empresa A)	t		68,3	27,00	1844,1
		Aquisição de material levar na obra (empresa B)	t		68,3	25,00	1707,5
		Aquisição de material levar na obra (empresa C)	t		68,3	27,00	1844,1
	40638	Escavação e carga material 1ª categoria	m <sup>3</sup>		207,3	4,38	907,9
		<b>Custo total empresa A</b>					18.996,1
		<b>Custo total empresa B</b>					18.859,52
		<b>Custo total empresa C</b>					18.996,1

Quanto ao cascalho laterítico, a Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas (AGETOP) considera, em sua planilha básica, jazidas para serem usadas em pavimentação que estejam localizadas até 30 km de distância. Por esse motivo, essa distância foi considerada no cálculo do custo para esse sub-trecho. Como resultado (Tabela 6.39), obteve-se que a composição de cascalho apresentou a mesma tendência dos demais materiais, com 4% do custo referente aos serviços de terraplenagem e 96% para os serviços de pavimentação. Vale ressaltar que o cascalho laterítico é o material mais barato em termo de aquisição na jazida. No entanto, o que onera a sua utilização é a distância das jazidas para obra, uma vez



que, o transporte correspondeu a quase 30% da composição total do valor para a execução do trecho experimental em questão.

Tabela 6.39 – Composição de custos para o sub-trecho cascalho laterítico

Item	Cód (AGETOP)	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
<b>I</b>		<b>Terraplenagem</b>		-			
		<b>Sub-total terraplenagem</b>	-	-	-	-	1857,86
<b>II</b>		<b>Pavimentação</b>					
	P-4	Aquisição de material na jazida	m <sup>3</sup>		273,00	3,52	960,96
	40640	Transporte de material de jazida – cascalho, (DT=30)	m <sup>3</sup>	30	273,00	1,41	11.547,9
		<b>Custo Total</b>					44.822,17

Outro material que tem sido utilizado em substituição ao cascalho é a composição solo + brita 1 (Tabela 6.40). Para o sub-trecho em questão, executado com uma extensão de 200 m, os custos foram compostos por 5,5% de terraplenagem e 94,5% de pavimentação. Esse tipo de mistura é muito utilizado no estado de São Paulo e quando considera-se o custo para este estado, o preço total eleva-se em torno de 25% do custo quando comparado com a execução dos materiais adquiridos nas empresas goianas. Esse fato pode ser explicado por, em São Paulo, ser cobrada a entrega da mistura solo+brita 1 na obra, sendo inserido então os gastos com essa mistura e transporte até o local.

Tabela 6.40 – Composição de custos sub-trecho solo+brita 1

Item	Cód (AGETOP)	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
<b>I</b>		<b>Terraplenagem</b>		-			
		<b>Sub-total terraplenagem</b>	-	-	-	-	1857,86
<b>II</b>		<b>Pavimentação</b>					
		Aquisição de material levar na obra (empresa A)	t		50,1	30,00	1503,00
		Aquisição de material levar na obra (empresa B)	t		50,1	28,00	1402,8
		Aquisição de material levar na obra (empresa C)	t		50,1	28,00	1402,8
		Escavação e carregamento material 1ª categoria	m <sup>3</sup>		184,00	4,38	805,92
		Composição DER/SP	m <sup>3</sup>		234,1	49,87	11.674,56
		<b>Custo total empresa A</b>					34.797,23
		<b>Custo total empresa B</b>					33.294,23
		<b>Custo total empresa C</b>					33.294,23
		<b>Custo Total DER/SP</b>					42.760,07

Com os cálculos apresentados até o momento, verifica-se que para o trecho experimental em questão, os custos para os diferentes materiais utilizados são semelhantes. No entanto, numa análise econômica ambiental mais completa, provavelmente, o fíler terá seu custo ambiental mais competitivo que os demais. No apêndice tem-se as Tabelas 6.37 a, 6.38 b, 6.39 c, 6.40 d, que demonstra todas as atividades consideradas para a estimativa de custos

### 6.7.3 Estimativa de custos para a execução do trecho experimental com dispositivos de drenagem

Para avaliar a questão do custo, simulou-se a composição em termos de gastos se o mesmo trecho fosse executado com dispositivos de drenagem superficial. Neste caso, utilizou as duas formas de drenagem apresentadas pela AMOB. Na Tabela 6.41, pode observar essa composição.

Tabela 6.41 – Composição de custos para os sub-trechos quando executada drenagem

Trecho (solo-fíler)					
Drenagem			Custo Total (R\$)		
Tipo de dispositivo	Custo Unitário (R\$/m)	Custo por sub-trecho (R\$/extensão em m)	Pedreira A	Pedreira B	Pedreira C
Meio-fio sem sarjeta	14,47	2894,00/100	22.048,32	21.679,82	21.974,82
Meio-fio com sarjeta	22,58	4516,00/100	23.670,32	23.302,82	23.596,82
Trecho (solo-pó de micaxisto)					
Drenagem			Custo Total (R\$)		
Tipo de dispositivo	Custo Unitário (R\$/m)	Custo por sub-trecho (R\$/extensão em m)	Pedreira A	Pedreira B	Pedreira C
Meio-fio sem sarjeta	14,47	2894,00/100	21.890,10	21.753,52	21.890,10
Meio-fio com sarjeta	22,58	4516,00/100	23.512,10	23.375,52	23.512,10
Trecho (solo-brita 1)					
Drenagem			Custo Total (R\$)		
Tipo de dispositivo	Custo Unitário	Custo por sub-trecho (R\$/extensão em m)	Pedreira A	Pedreira B	Pedreira C/DER SP
Meio-fio sem	14,47	5.788,00/200	40.585,23	39.082,23	39.082,23/48.548,07
Meio-fio com sarjeta	22,58	9.032,00/200	43.829,23	42.326,23	42.326,23/51.792,07
Trecho (cascalho laterítico)					
Drenagem			Custo Total (R\$)		
Tipo de dispositivo	Custo Unitário	Custo por sub-trecho (R\$/extensão em m)	Material Adquirido em Jazida		
Meio-fio sem sarjeta	14,47	5.788,00/200	50.610,17		
Meio-fio com sarjeta	22,58	9.032,00/200	53.854,17		

Conforme apresentado por Luz (2008), no trecho experimental em questão não foram construídos dispositivos de drenagem. Isto ocorreu devido ao pouco orçamento disponibilizado para a construção do trecho. No entanto, conforme discutido nos resultados dos ensaios de campo, a inexistência desse sistema já começa a comprometer o desempenho estrutural do trecho em alguns pontos. A implantação de dispositivos de drenagem aumentaria o tempo de vida útil da obra.

Observa-se que os valores correspondentes aos custos de execução com ou sem sarjeta variaram principalmente em função os dois tipos de dispositivos, não havendo diferença significativa entre a escolha dos materiais adquiridos nas pedreiras. Nota-se que os custos de execução entre os sub-trechos variaram somente em função da extensão de execução em campo. Portanto, mesmo com a execução dos diferentes tipos de drenagem, os custos ainda são semelhantes.

#### 6.7.4 Distância competitiva entre os materiais utilizados

Uma outra forma de verificar se um material é competitivo em termos econômicos é utilizar a metodologia proposta por Alvarenga (2001), onde realizam-se comparações entre diferentes materiais, determinando a distância que um supera o outro em termos de utilização na obra. As Tabelas 6.42, 6.43, 6.44, 6.45, 6.46 e 6.47 demonstram as melhores situações para a utilização do material em composição de base e sub-base de pavimentos.

Tabela 6.42 - Determinação da distância de competição Fíler x Brita 1

Empresas	A	B	C
Preços Brita 1(R\$)	30,00	28,00	28,00
Preços Fíler (R\$)	17,00	12,00	16,00
Preço transporte (R\$/ton km)	0,22	0,22	0,22
Distância Competitiva (km)	50,1	72,7	54,5

Tabela 6.43 - Determinação da distância de competição Fíler x Pó

Empresas	A	B	C
Preços Pó (R\$)	27,00	25,00	27,00
Preços Fíler (R\$)	17,00	12,00	16,00
Preço Transporte (R\$/ton km)	0,22	0,22	0,22
Distância Competitiva (km)	45,4	50,1	50,00

Tabela 6.44 - Determinação da distância de competição Pó x Brita 1

Empresas	A	B	C
Preços Brita 1 (R\$/ton)	30,00	28,00	28,00
Preços Pó (R\$/ton)	20,00	18,00	20,00
Preço transporte (Km)	0,22	0,22	0,22
Distância Competitiva (Km)	45,4	45,4	36,3

Tabela 6.45 - Determinação da distância de competição Brita 1 x Cascalho

Empresas	A	B	C
Preços Brita 1 (R\$) empresa	23,00	21,00	20,00
Preço cascalho (R\$)	1,41 km = 45,82 entregar na obra (Dt 30)		
Preço transporte (R\$/ton km)	0,22	0,22	0,22
Distância Competitiva (km)	103,7	109,1	117,3

Tabela 6.46 - Determinação da distância de competição Pó x Cascalho

Empresas	A	B	C
Preços Pó (R\$) empresa	20,00	18,00	20,00
Preço cascalho (R\$)	1,41 km = 45,82 entregar na obra (Dt 30)		
Preço transporte (R\$/ton/km)	0,22	0,22	0,22
Distância Competitiva (km)	117,3	126,4	117,3

Tabela 6.47 - Determinação da distância de competição Filer x Cascalho

Empresas	A	B	C
Preços Filer (R\$) empresa	17,00	12,00	16,00
Preço cascalho (R\$)	1,41 km = 45,82 entregar na obra (Dt 30)		
Preço transporte (R\$/ ton km)	0,22	0,22	0,22
Distância Competitiva (km)	131,00	153,7	135,5

Quando se realiza a comparação de distâncias competitivas dos materiais não convencionais (filer e pó de micaxisto) em relação aos comumente utilizados (cascalho e solo-brita 1), o raio da abrangência cresce significativamente, podendo atingir mais de 150 km, considerando uma circunferência com centro na região das pedreiras A, B e C (Figura 6.61).

Evidentemente quanto menor for o custo da distância de transporte do material alternativo, maior será a distância competitiva em relação aos materiais tradicionais. A distância de transporte entre o depósito ou a jazida encarece a utilização do cascalho laterítico como material para utilização nas camadas de pavimentos. As Figuras 6.62 a 6.63 exemplificam, de forma gráfica, os melhores dados obtidos nas tabelas anteriores.

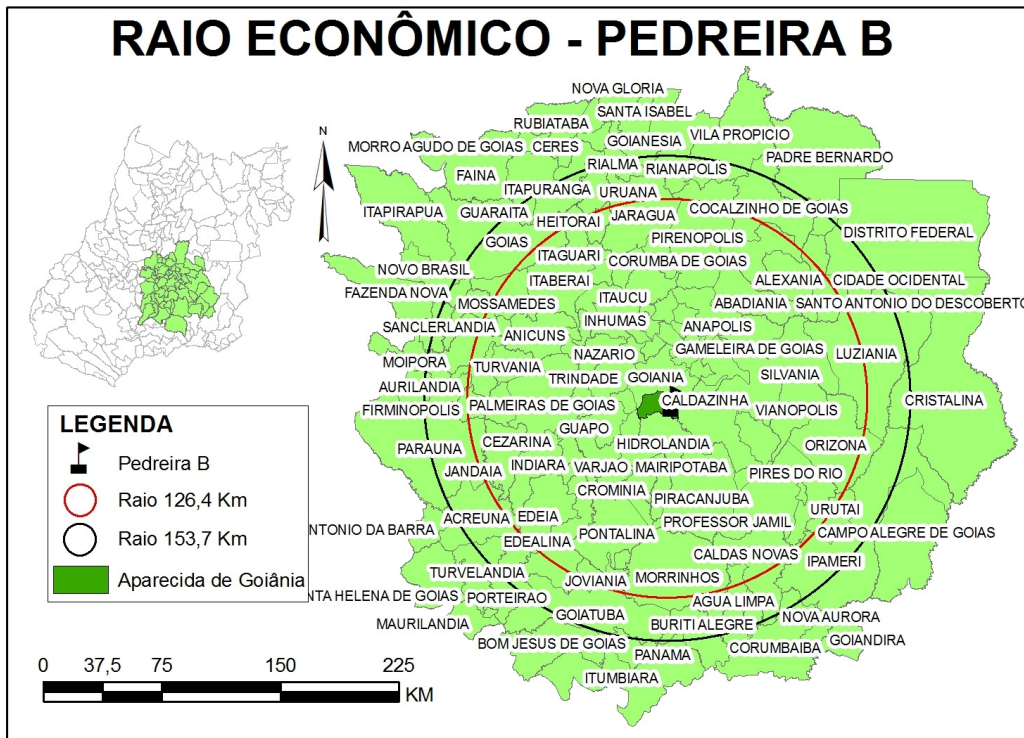


Figura 6.61 – Distância de competição para os resíduos de pedreiras e cascalho laterítico

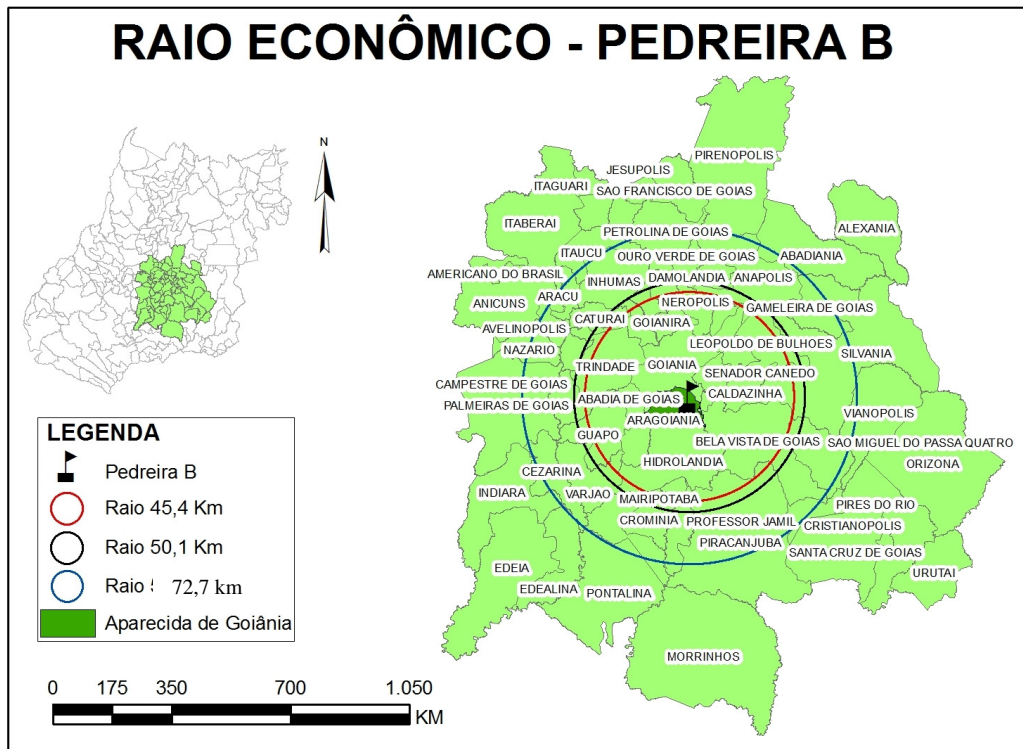


Figura 6.62 – Distância de competição obtida para: fíler x brita 1, fíler x pó de micaxisto e pó de micaxisto x brita 1

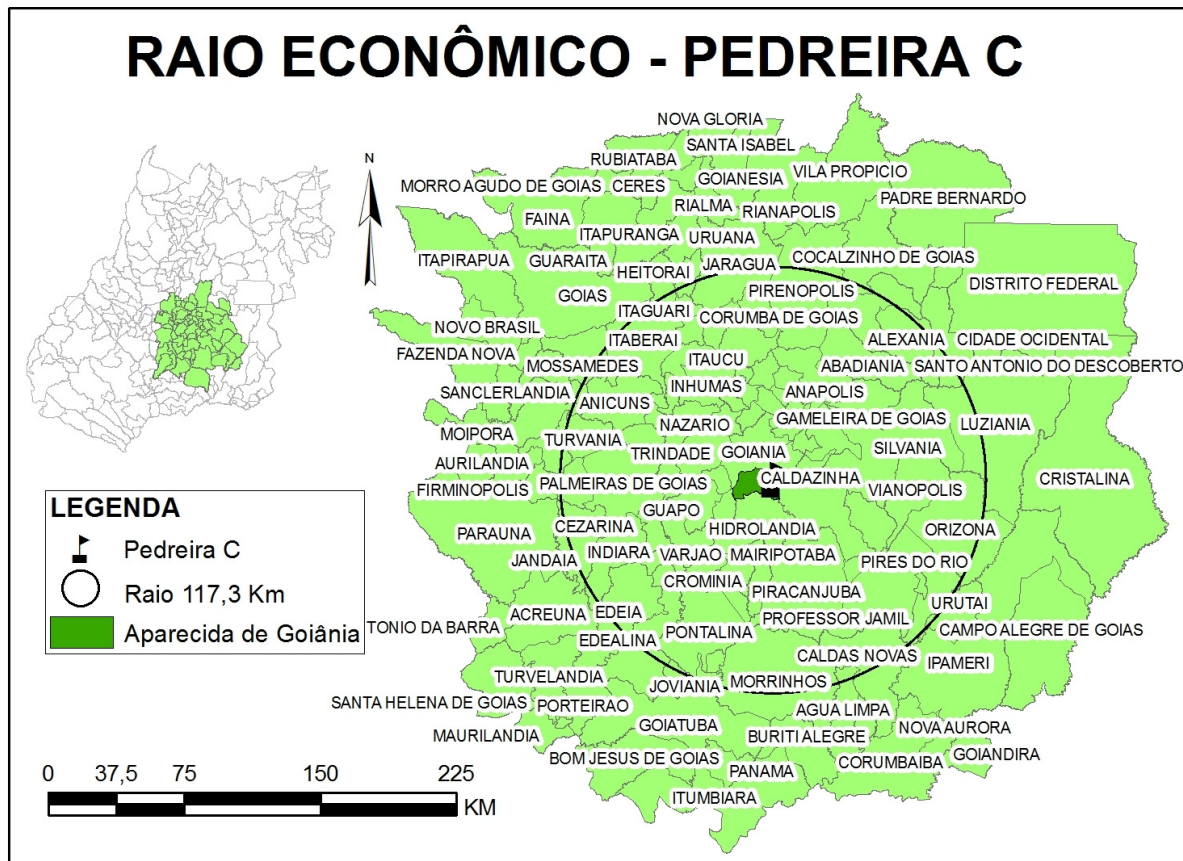


Figura 6.63 – Distância de competição obtida para brita 1 x cascalho laterítico na empresa C

A partir da análise do raio econômico é possível verificar a influência que o preço do transporte exerce sobre cada tipo de material. Nota-se que os melhores desempenhos foram observados para: 72,7 km (fíler x brita 1), 45,4 km (pó de micaxisto x brita 1), 117,3 km (brita 1 x cascalho) e, 126,4 km (pó de micaxisto x cascalho).

Em todas as simulações aqui verificadas, a distância mínima de competição em relação ao cascalho foi de 103,7 km quando se compara com a brita 1, ou seja, todas as verificações propostas mostram o cascalho laterítico como um material de baixa competição em relação aos resíduos (fíler e pó de micaxisto) e brita 1. Já em relação às empresas, para obtenção do material, a maioria dos valores de raio econômico mostra a Pedreira B como a mais competitiva em termos de aquisição do material, sendo que somente para a verificação brita 1 x cascalho a Pedreira C apresentou raio econômico superior.

## CAPÍTULO 7

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 7.1 CONCLUSÕES

A produção de agregados para a construção civil tem ganhado notoriedade nas últimas décadas em função da grande capacidade modificadora do meio ambiente. Apesar de ser considerada como uma atividade de grande importância econômica e que fornece insumos básicos para a economia e a vida da população, a mesma se desenvolve sobre a superfície terrestre, possuindo significativa capacidade de alterar o meio, sendo que as atividades quando realizadas sem os planos de controle ambientais adequados podem provocar alterações ambientais às vezes irreversíveis.

A britagem da rocha de micaxisto na grande Goiânia tem ganhado destaque em função do grande volume de agregados produzidos e, conseqüentemente, pela enorme quantidade de resíduos gerados durante o processo de britagem. A grande preocupação em torno do enorme volume de resíduos produzido é a externalidade ambiental que pode ser gerada durante a estocagem do material. É neste contexto que tem surgido pesquisas que visam o reaproveitamento do resíduo.

Nesta pesquisa pode-se concluir que:

- A quantidade de resíduo gerado (fíler) é suficiente para se implantar um plano de reaproveitamento por meio de misturas com solos locais em obras de pavimentação da grande Goiânia;
- Quimicamente, tem-se que a incorporação do fíler ao solo gera aumento de pH, saturação de bases e capacidade de troca catiônica, o que poderia proporcionar um maior efeito de reação das bases trocáveis caso estivesse sido feito a estabilização química, o que poderia aumentar significativamente a resistência do material. Mineralogicamente, nas misturas de solo com fíler prevalecem os elementos existentes nos materiais de origem, sem a formação de novos compostos. Microscopicamente, o entrosamento dos materiais nas misturas depende principalmente da granulometria existente na mistura e da energia de compactação;
- O monitoramento do trecho experimental construído por Luz (2008) e Araújo (2008) mostra que, de uma forma geral, o desempenho estrutural da via varia de regular a bom. Na superfície, não são observados defeitos graves. No entanto, nas medidas dos deslocamentos é

possível identificar regiões com problemas. Esses problemas não estão diretamente relacionados com o tipo de material utilizado em cada sub-trecho, mas sim com a topografia da pista e a inexistência de dispositivos de drenagem.

- Os dados obtidos mostram que no período chuvoso todos os parâmetros determinados apresentaram os piores valores, principalmente no bordo direito da via onde ocorre a saída da água superficial sem nenhum controle. Sendo assim, observa-se o desgaste prematuro da estrutura nessa região, sendo que obviamente nos locais onde os materiais utilizados são mais finos tem-se as piores situações. No entanto, se numa nova obra forem executados sistemas de drenagem adequados, espera-se que as misturas de solo e resíduo possam apresentar comportamento satisfatório;
- Quanto aos custos, considerando apenas os valores dos materiais convencionais e não convencionais para uso em pavimentação, tem-se resultados semelhantes. Os principais fatores que influenciam na variação dos preços são: o valor de venda de cada material, a distância de transporte e a execução de dispositivos de drenagem. Os dados apresentados mostram que o filler é competitivo em relação a todos os materiais estudados.

Sendo assim, conclui-se que os finos de pedra apresentam viabilidade técnica e econômica para serem utilizados na confecção de camadas de sub-base e base de pavimentos flexíveis.

## **7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como sugestões para pesquisas futuras tem-se:

- Estudar a composição de novas misturas de solo-filler para outros tipos de solo;
- Verificar o incremento de resistência das misturas por meio de processos de estabilização química com cal ou cimento;
- Avaliar mais detalhadamente o comportamento dos resíduos por meio de ensaios de resiliência.
- Verificar, através da análise de sucção, o comportamento do grau de saturação desse material e sua influência nos ensaios de resistência;
- Realizar o monitoramento periódico do trecho experimental por meio de ensaios de campo;
- Verificar as externalidades ambientais produzidas pelo beneficiamento da rocha de micaxisto;
- Estudar os prejuízos e os ganhos ambientais do reaproveitamento dos finos de pedra através da economia ambiental.



## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. L. M.; SAMPAIO, J. A.; SILVA, V. S. **Produção de areia artificial com base em finos de brita de granito**. In I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais – II Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos, 2005. Disponível em:< <http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2005-008-00.pdf>>. Acesso em set de 2009.
- ALVARENGA, J.C.A. **Um estudo de avaliação estrutural e econômica de pavimentos flexíveis de escória de aciaria**. 2001. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2001.
- ANEPAC (2004). **Areia & Brita**. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. Publicação Trimestral. 42p. São Paulo – SP.
- ÂNGULO, S. C.; JOHN, V. M. Variabilidade dos agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. e-Mat – **Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**. v. 1, n. 1, p. 22-32, Maio 2004.
- ARAÚJO, W. E. L. **Aproveitamento de resíduos da extração de micaxisto em pavimentos flexíveis**. 2008. 142p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Escola de Engenharia Civil,. Universidade Federal de Goiás. Goiânia.2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 7207**: Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1972.
- ASTM. \_2003\_. “D 6951-03 standard test method for use of the dynamic cone penetrometer in shallow pavement applications.” West Consohocken, Pa.
- BACCI, D. L. C.; LANDIM, P. M. B.; ESTON, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana. **Revista Escola de Minas – REM**. v.59, n.1, p 47-54. Jan/mar.2006. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rem/v59n1/a007.pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2009.
- BATALIONE, G. **Estabilização de solos tropicais com a utilização de rejeitos finos de pedreira de uma rocha granítica**.2007.172p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. Disponível em:<http://www.geotecnia.unb.br/>. Acesso em: 28 jan. 2009.
- BAUDSON, A. J. G. S. **Aplicativo para avaliação econômica de jazidas minerais**. 2008. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG. Disponível em:< [http://www.tede.ufop.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=320](http://www.tede.ufop.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=320)>. Acesso em out. 2009
- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006, 504p.

BITAR, O. P. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo**. 1997.193p. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) – Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-25102001-165349/>>. Acesso em: 28 jan. 2009.

BRASIL. Resolução nº 01 do CONAMA, de 23 de janeiro de 1986. Estabelecem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 de fev. 1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 7 fev. 2009.

BRASIL, Resolução nº 307 do CONAMA, de 2 de jan de 2003. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 5 de jul. 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 20 dez. 2009.

BRASIL. Lei 6938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e da outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em: 7 fev. 2009.

CAJAZEIRAS, A. P.; CASTILHOS JÚNIOR, A. B. Reutilização do fosfogesso na construção civil – aspectos ambientais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, XXVI., 1998, Lima. **Anais eletrônicos...** Lima, 1998. Disponível: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/peru/brares171.pdf>>. Acesso em: 7 fev. 2009.

CALAES, G. P.; NETO, B. P. C.; MARQUERON, C.; AMARAL, J. A. G. Bases para o desenvolvimento sustentável e competitivo da indústria de agregados nas regiões metropolitanas do país - Parte 1. **Revista Escola de Minas – REM**. v.60, n.4, p 675-685. out/dez.2007. Disponível em: <<http://www.rem.com.br/seer/index.php/Escola/article/view/358/167>>. Acesso em: 29 jan. 2009.

CAMPOS, E. E.; FERNANDES, L. E. V. A. **Controle Ambiental Aplicado à produção de agregados. Programa de capacitação de gestores de empresas mineradoras da de agregados da construção civil**. Plano Nacional de Agregados. 2007. 25p Disponível em: <[www.cetec.br/agregados/conteudo/Contribuição%20Edson%20Esteves%20e%20Lúcia%20Fernandes.PDF](http://www.cetec.br/agregados/conteudo/Contribuição%20Edson%20Esteves%20e%20Lúcia%20Fernandes.PDF)>. Acesso em: 29 jan. 2009.

CANUT, M. M. C. **Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção**. 2006.154p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.pos.demc.ufmg.br/Defesas/Mariana/Disserta%E7%E3o%20final1.pdf>>. Acesso em: 4 fev. 2009.

CONTADOR, Cláudio R. **Projetos sociais: avaliação e prática**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2000. 375 p.

CARVALHO, R. G.; VERTAMATTI, E. **Influência de correlações CBR versus DCP (DYNAMIC CONE PENETROMETER) no dimensionamento de pavimentos aeroportuários**. In: IV SINAPPRE 2009, Fortaleza, CE. Anais eletrônicos do IV Simpósio Internacional de avaliação de pavimentos e projetos de reforço. [CD-ROM]. Fortaleza, CE, 2009.

COSTA NETO, J. A. L.; BRIM JÚNIOR, J.V.; AMORIM.; P. H. M. **Estudo de um modelo para Análise Prévia de Viabilidade Econômico-Financeira de Empreendimentos Imobiliários em Salvador – Ba**. 2003. 47p. Especialização (Gerenciamento de Obras) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003. Disponível em:< <http://www.gerenciamento.ufba.br/Monografias%202002-2004/An%C3%A1lise%20Pr%C3%A9via%20de%20Viabilidade.pdf>>. Acesso em out. 2009.

CASTRO, M. C. G. **Projeto de viabilidade econômica para a mineração**. 1º ed. Goiânia: Editora Anápolis, 2002. 148p.

DANIELESKI, M. L. **Proposta de metodologia para avaliação superficial de pavimentos urbanos: aplicação à rede viária de Porto Alegre**. 2004. 187p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível:< <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5789>>. Acesso em: 29 jan. 2009.

DIAS, E. G.C.S. **Avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração no Estado de São Paulo: a etapa de acompanhamento**. 2001.303p. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas) – Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-23052001-171051/>>. Acesso em: 29 jan. 2009.

DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimentos de baixo custo**. 2004. 268p. Doutorado (Engenharia de construção civil e urbana) – Escola de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-16122004-130717/>>. Acesso em: 25 jan. 2009.

DIAS, I. M. **Estudo de solos tropicais para uso em pavimentação a partir de ensaios triaxiais estáticos**. 2007.139p. Dissertação (Mestrado em Infra-Estrutura de Transporte) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-23102007-122115/>>. Acesso em: 29 jan. 2009.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Publicação IPR – 719. **Manual de Pavimentação**. 2006. Disponível em:< [http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual\\_de\\_Pavimenta%C3%A7%C3%A3o\\_Versao%20Final.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimenta%C3%A7%C3%A3o_Versao%20Final.pdf)>. Acesso em: 29 jan. 2009.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER-ME 024. **Pavimento – determinação das deflexões pela viga Benkelman**. 1994a. Disponível em:< [http://www1.dnit.gov.br/ipr\\_new/normas/metodo.htm](http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/normas/metodo.htm)>. Acesso em: 7 fev. 2009.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. PRO - 011. **Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis**, DNIT / DNER, Rio de Janeiro, RJ, 16p. 1979.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER – PRO 175. **Aferição de Viga Benkelman**. 1994.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Agregados para a construção civil**. 2001. Disponível em: <  
<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/agregados.pdf>>.  
Acesso em: fev de 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM-BRASIL). **Anuário Mineral Brasileiro ano base 2001, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009**. Disponível em:<  
<http://www.dnpm.gov.br/>>. Acesso em out de 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM-BRASIL). **Desempenho do setor mineral GO e DF**. Informações sobre o Desempenho do Setor Mineral de Goiás e do Distrito Federal, ano-base 2007. Disponível em:<  
<http://www.dnpm.gov.br/go/conteudo.asp?IDSecao=614&IDPagina=1169>>. Acesso em out de 2009.

FARIAS, C.E.G. Mineração e Meio Ambiente no Brasil. **Relatório**: preparado para o CGEG. 2002. 40p. Disponível em:< [http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo011\\_02.pdf](http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf)>. Acesso em 15 mai. 2009.

FRAZÃO, E. B. **Panorama da Tecnologia de Agregados no Brasil**. Programa de capacitação de gestores de empresas mineradoras da de agregados da construção civil. Plano Nacional de Agregados Disponível em:< [www.cetec.br/agregados](http://www.cetec.br/agregados)>. Acesso em: 27 jan. 2009.

GIESSEN, S. V.; KLADIANOS, J. R.; YOUNG, R. K. Effects os varying functional classification on cost of roadways. **Journal of Transportation Engineering**. v.135, n. 1, p.1-6. Jan. 2009.

GOOGLE EARTH (2008). Consulta ao *site* público, disponível em:<  
<http://earth.google.com/intl/pt/>>. Acesso em Out de 2009.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia uma Atualização de Bases e Conceitos**. 7 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2007.472p.

HERRMANN, H. **Legislação Minero-Ambiental Para Aproveitamento de Agregados**. Programa de capacitação de gestores de empresas mineradoras de agregados da construção civil. Plano Nacional de Agregados. 2007. 26p. Disponível em:<  
[www.cetec.br/agregados/conteudo/Contribuição%20Hildebrando%20Herrmann.PDF](http://www.cetec.br/agregados/conteudo/Contribuição%20Hildebrando%20Herrmann.PDF)>. Acesso em: 27 jan. 2009.

HIRSCHFELD. H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 7° ed. São Paulo:Atlas, 2000. 519p.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Seção de Observação Meteorologica Aplicada. 10° DISME GO/TO. **Precipitação Total Mensal**. 2010.

KATAMINE, N.N. Phosphate waste in mixtures to improve their deformation. **Journal of Transportation Engineering**. v.126, n.5, p.382-389. set/out. 2000.

LA SEMA, H. A.; RECUERO, J.C.; REZENDE, M.M.; CAVALCANTI, V.M.M. **Agregados para a construção civil. Oferta Mundial – 2007**. Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: [www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br). Acesso em out.2009 .

LIMA, M.C. **Degradação Físico-Química e Mineralógica de maciços junto às voçorocas**. 2003.336p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2003.

LIMA JÚNIOR, J. R. **Análise de Investimentos: Princípios e técnicas para empreendimentos do setor da construção civil**. Texto Técnico. Escola Politécnica de São Paulo, Escola de Engenharia Civil, TT/PCC/06. 47p. 1993. São Paulo. Disponível em: <<http://pcc2410.pcc.usp.br/tt%20pcc%2006.pdf>>. Acesso em out.2009.

LIMA JÚNIOR, J. R. **Fundamento de planejamento financeiro para o setor da construção civil** Técnico. Escola Politécnica de São Paulo, Escola de Engenharia Civil, TT/PCC/11. 89p. 1995. São Paulo. Disponível em: <<http://pcc2411.pcc.usp.br/tt%20pcc%2011.pdf>>. Acesso em out. 2009.

LOPES, E. S.; MACHADO, C.C.; SOUZA, A.P. Classificação e custos de estradas em florestas plantadas na região sudeste do Brasil. **Revista Árvore – Viçosa Mg**. v.26, n.3, p.329-338. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v26n3/a08v26n3.pdf>>. Acesso em out. 2009.

LOPES, H.S.; TRALDI, M.A.B.; RIBEIRO, P.C.; AZEVEDO, R.A.R. (2007). **Estudo da correlação entre os ensaios de DCP e CBR para materiais aplicados à pavimentação**. Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil. Goiânia - GO. 97p.

LUZ, M. P., SILVA, A. L. A., ARAUJO, W. E. L., MAIA, C. H. **Avaliação preliminar da utilização de resíduo de pedra dosado no solo em pavimentação flexível urbana na região metropolitana de Goiânia**. In: Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 8., 2005, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos do VIII ENGEMA - Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente [CD-ROM]. Rio de Janeiro, 2005. n.p.

LUZ, M. P. **Aproveitamento de filer de pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos – avaliação técnica e sócio-ambiental**. 2008.104p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2008.

MACEDO, F. N. **Retroanálise de bacias de deflexão reais e teóricas obtidas por métodos estáticos e dinâmicos**. 2003. 243p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.geotecnia.unb.br/>>. Acesso em: 28 set. 2009.

MACHION, A. C. G. **Valoração e análise de viabilidade econômica: o caso da estação escola de tratamento de esgotos da Universidade Estadual de Campinas**. 2006. 200p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000397151>>. Acesso em out. 2009.

MESQUITA, G.M. **Aplicação de misturas de fosfogesso e solos tropicais finos na pavimentação**. 144p. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO. Disponível em:< <http://www.eec.ufg.br/ppgema/>>. Acesso em: 5 fev. 2009.

MESQUITA, G. M.; REZENDE, L. R. Avaliação ambiental da aplicação de fosfogesso em pavimentação. In: Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre edificações e comunidades sustentáveis, 2007, Campo Grande. **Anais...** 2007.

MOTTA, R. S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego**. 2005. 161p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072006-114729/>>. Acesso em: 25 jan .2009.

MOTTA, R.; LEITE, F. C.; BERNUCCI, L. B.; MOURA, E. **Agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil e seu uso em pavimentação**. In: I Geocentro 2009, Goiânia, GO. Anais eletrônicos do I Simpósio de prática de engenharia geotécnica na região Centro-Oeste. [CD-ROM]. Goiânia, GO, 2009.

NASCIMENTO, J. F. **Estudo da Expansibilidade em Escória de Aciaria para Uso em Pavimentação Rodoviária**.2003. 197p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2003. Disponível em: < <http://www.desa.ufmg.br/sigers/rsi-minimizacao.htm#>>. Acesso em: 5 fev. 2009.

NEVES, C. A. R.; SILVA, L. R. **Universo da Mineração Brasileira ano base 2007**. Economia Mineral. Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em:< <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=71>. Acesso em nov de 2009.

NOGAMI, J.S; VILLIBOR, D.F. **Características e desempenho de segmentos de pavimentos rodoviários com base em argila laterítica**. In: 24<sup>a</sup>. Reunião Anual de Pavimentação, 24., Belém. Anais eletrônicos da 24<sup>a</sup>. Reunião Anual de Pavimentação [CD-ROM]. Belém, PA. 1990. 1: 291 - 304.

OLIVEIRA, J.C. **Indicadores de potencialidades e desempenho de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil em pavimentos flexíveis**. 2007.167p. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2007. Disponível em:<http://www.geotecnia.unb.br/>. Acesso em: 29 jan. 2009.

OLIVEIRA, S. M. F. **Estudo do comportamento mecânico de misturas de fosfogesso e cal para utilização na construção rodoviária**. 2005. 210p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-24012008-111028/>>. Acesso em: 5 fev. 2009.

OLIVEIRA, L.E.; TERNI, A.W.; OLIVEIRA, G. C. L.; SILVA, J. U. L. **Avaliação estrutural e funcional de pavimento de estrada vicinal, executado com camada de solo-**

**brita, na região do Vale do Paraíba, estado de São Paulo.** In: IV SINAPPRE 2009, Fortaleza, CE. Anais eletrônicos do IV Simpósio Internacional de avaliação de pavimentos e projetos de reforço. [CD-ROM]. Fortaleza, CE, 2009.

PAIVA, C.E.L.; CAUSIM, P.B. (2000). Estudo de avaliações das condições estruturais de um pavimento a partir de bacias de deformação. **32ª Reunião Anual de Pavimentação**, Brasília – DF, 1:297-307.

PEIXOTO, R. A.; PADULA, F. R. G. Uso de escória de aciaria em ciclovia de pavimento rígido. **Revista Techne de Engenharia Civil**, n. 142, p.1-3. Jan.2009. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/142/artigo123660-1.asp>>. Acesso em: 5 fev. 2009.

PEREIRA, A. **Estudo da viabilidade técnica e ambiental da incorporação de resíduos de areia de fundição em matriz asfáltica.** 2004. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade Regional de Blumenau, 2004. Disponível em:< [http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/id/20437225.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/20437225.html)>. Acesso em: 29 jan. 2009.

PISSATO, E.; SOARES, L. Utilização de finos de pedra em misturas de solo-cimento: correção granulométrica de um solo argiloso. **Revista Exacta.** v.4,n.1,p.143-148.jan/jun.2006. Disponível em:<<http://www4.uninove.br/ojs/index.php/exacta/article/viewFile/667/624>>. Acesso em: 4 fev. 2009.

QUINTANILHA, F. S. **Avaliação de utilização e desempenho de RCD (Resíduo de construção e demolição) em bases e sub-base de pavimentos flexíveis.** 2008. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO, 2008. Disponível em:<<http://www.eec.ufg.br/ppgema/>>. Acesso em: 27 fev. 2009.

RAPOSO, C. O. L. **Estudo experimental de compactação e expansão de uma escória de aciaria LD para uso em pavimentação.** 2005.164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. Disponível em: <[http://www.bdtd.ufes.br/tesesimplificado/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=411](http://www.bdtd.ufes.br/tesesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=411)>. Acesso em: 4 fev. 2009.

RESPLANDES, H.M.S. **Estudo ambiental e técnico da aplicação do agregado reciclado na estruturação de pavimentos flexível.** 2007. 210p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO. 2007.

REZENDE, L.R. **Técnicas alternativas para a construção de bases de pavimentos rodoviários.** 1999. 169p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília – DF, 1999. Disponível em:<http://www.geotecnia.unb.br/>. Acesso em: 29 jan. 2009.

REZENDE, L.R. **Estudo do comportamento de materiais alternativos utilizados em estruturas de pavimentos flexíveis.** 2003. 372p. Tese (Doutorado em Geotecnia) -

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental Universidade de Brasília. Brasília – DF, 2003. Disponível em:<http://www.geotecnia.unb.br/>. Acesso em: 29 jan. 2009

RIBEIRO, F. **Estudo da aplicação do agregado reciclado na base de um pavimento flexível**. 2006.173p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO, 2006 Disponível em:<<http://www.eec.ufg.br/ppgema/>>. Acesso em: 5 fev. 2009.

ROY, B.K. New look at DCP test with a link to AASHTO SN concept. **Journal of Transportation Engineering**. v.133, n.4, p.382-389. abr. 2007.

RUFO, R.C. **Estudo laboratorial de misturas de fosfogesso, solo tropical e cal para fins de pavimentação**. 2009. 153p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

SILVA, P.A.D. **Estudos Geotécnicos na Recuperação Ambiental da Pedreira de Pirenópolis**. 2000. 141p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2000. Disponível em: <<http://www.geotecnia.unb.br/>>. Acesso em: 22 fev. 2009.

SILVEIRA, L. R.; MENDONÇA, R. M. G. Análise, monitoramento e caracterização da voçoroca Ribeirão da Cachorra em Paraíso do Tocantins – TO. **Revista Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**. v.6, n.1, p 231-250. maio/ago.2009. Disponível em:<[http://www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewissue.php?id=12#Artigos\\_Cientificos](http://www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewissue.php?id=12#Artigos_Cientificos)>. Acesso em jan. 2010.

SILVEIRA, L. R.; MENDONÇA, R. M. G. Aspectos e impactos ambientais da mineração na região central do estado do Tocantins. **Revista Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**. v.6, n.2, p 191-208.maio/ago .2009. Disponível em:<[http://www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewissue.php?id=12#Artigos\\_Cientificos](http://www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewissue.php?id=12#Artigos_Cientificos)>. Acesso em jan. 2010.

SINDIBRITA - Sindicato das Empresas de Brita e Argila do Estado de Goiás e Indústrias. **Panorama do Mercado de Agregados para Construção Civil no Estado de Goiás**. 2007. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1534](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1534)>. Acesso em: 23 nov 2009.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras de investimentos fundamentais, técnicas e aplicações**. 5º ed. São Paulo: Atlas, 2004.190p.

TOLEDO JÚNIOR, I. F. B. **Estudos de viabilidade econômica**: 8º ed. São Paulo: Assessoria Escola, 2007.143p.

VALLE, C.C.L. **Considerações geotécnicas na recuperação de uma área degradada por mineração de calcário**. 1999.106p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília – DF, 1999. Disponível em:<<http://www.geotecnia.unb.br/>>. Acesso em: 29 jan. 2009.



VALVERDE, F. M. **Agregados para a construção civil**. Sumário Mineral 2007. Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em:< [http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2007/Agregados\\_SM2007.doc](http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2007/Agregados_SM2007.doc)>. Acesso em nov de 2009.

VELOSO, L. E.; CARVALHO, E, H.; FARIA, L. R. **Diagnósticos dos resíduos sólidos gerados no Instituto de Patologia Tropical e Saúde Pública da Universidade Federal de Goiás**. In: XXXI Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental e I Foro Interamericano sobre Servicios de Agua y Saneamiento, 2008, Santiago. Anais do XXXI Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental. São Paulo : AIDIS, 2008. v. 1. p. 1-2. Disponível em:< <http://documentos.aidis.cl/Trabajos%20Oral/Tema%20VI%20-%20Residuos%20S%F3lidos/VI-Veloso-Brasil-1.doc>>. Acesso em jan.2010.

VILLIBOR, D.F.; NOGAMI, J.S.; BELIGNI, M.; CINCERRE, J.R. **Pavimentos com solos lateríticos e gestão de manutenção de vias urbanas**. Associação Brasileira de Pavimentação. Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Civil, São Paulo, Brasil, 2000.138p.

ZORDAN, S.E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. 1997. 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 1997. Disponível em< [http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho\\_ind\\_ccivil.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm)>. Acesso em: 4 fev. 2009.

## APÊNDICE A – ITENS CONSIDERADOS NAS COMPOSIÇÕES DE CUSTO

Nesse capítulo são apresentadas as Tabelas com todas as atividades consideradas para a estimativa de execução do Trecho Experimental.

Tabela 6.35 a – Composição de custos, trecho (solo filer e solo pó)

Item	Cód	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
		<b>Terraplanagem</b>		-			
1	40600	Limpeza – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	700 m <sup>2</sup>	0,14	98,00
2	45735	Ser. topográficos	km	-	0,10	986,22	98,62
3	45765	Projeto geométrico e notas de serviços	km	-	0,10	7.323,10	732,31
		<b>Pavimentação</b>					
4	40635	Regularização e compactação do subleito	m <sup>2</sup>	-	700 m <sup>2</sup>	1,60	1120,00
5	40655	Imprimação – exceto material betuminoso	m <sup>2</sup>	-	700 m <sup>2</sup>	0,25	175,00
6	40480	Fornecimento de CM-30	t	-	0,84 t	2790,61	2344,11
7	40660	Pintura de ligação – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	700 m <sup>2</sup>	0,25	175,00
8	40510	Fornecimento de RR-1C	t	-	0,35 t	1226,57	429,29
9	40675	C.B.U.Q Concreto Betuminoso usinado a quente – pavimentação urbana – espessura 3cm	m <sup>3</sup>	-	21,00 m <sup>3</sup>	237,00	4977,00
10	40530	Fornecimento de CAP- 50/70	t	-	3,02 t	1644,65	4973,39
11	40710	Transporte local de massa asfáltica – pavimentação urbana DT-25km	tkm	25	50,4 t	0,89	1121,4
		<b>Custo total</b>					16244,12

Tabela 6.36 b – Composição de custos, trecho (solo/brita e cascalho laterítico).

Item	Cód	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
		<b>Terraplanagem</b>		-			
1	40600	Limpeza – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	1400 m <sup>2</sup>	0,14	196,00
2	45735	Ser. topográficos	km	-	0,20	986,22	197,24
3	45765	Projeto geométrico e notas de serviços	km	-	0,20	7.323,10	1464,62
		<b>Pavimentação</b>					
4	40635	Regularização e compactação do subleito	m <sup>2</sup>	-	1400,00	1,60	2240,00
5	40655	Imprimação – exceto material betuminoso	m <sup>2</sup>	-	1400,00	0,25	350,00
6	40480	Fornecimento de CM-30	t	-	1,68	2790,61	4688,22
7	40660	Pintura de ligação – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	1400,00	0,25	350,00
8	40510	Fornecimento de RR-1C	t	-	0,7	1226,57	858,59
9	40675	C.B.U.Q Concreto Betuminoso usinado a quente – pavimentação urbana – espessura 3cm	m <sup>3</sup>	-	42,00	237,00	9954,00
10	40530	Fornecimento de CAP- 50/70	t	-	6,04	1644,65	9946,84
11	40710	Transporte local de massa asfáltica – pavimentação urbana DT-25km	tkm	25	100,8	0,89	2242,8
		<b>Custo total</b>					32488,31

Tabela 6.37 a – Composição de custos Trecho (solo filer) material empresa A, B e C.

Item	Cód	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
<b>I</b>		<b>Terraplenagem</b>		-			
2	40600	Limpeza – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	700,00	0,14	98,00
3	45735	Ser. topográficos	km	-	0,10	986,22	98,62
4	45765	Projeto geométrico e notas de serviços	km	-	0,10	7.323,10	732,31
<b>II</b>		<b>Pavimentação</b>					
9	40635	Regularização e compactação do subleito	m <sup>2</sup>	-	700,00	1,60	1120,00
	40638	Escavação e carga material jazida 1ª categoria	m <sup>3</sup>		261,7	4,38	1146,2
		Aquisição de material levar na obra (empresa A)	t		73,5	24,00	1764,00
		Aquisição de material levar na obra (empresa B)	t		73,5	19,00	1396,5
		Aquisição de material levar na obra (empresa C)	t		73,5	23,00	1690,5
14	40655	Imprimação – exceto material betuminoso	m <sup>2</sup>	-	700,00	0,25	175,00
15	40480	Fornecimento de CM-30	t	-	0,84	2790,61	2344,11
16	40660	Pintura de ligação – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	700,00	0,25	175,00
17	40510	Fornecimento de RR-1C	t	-	0,35	1226,57	429,29
18	40675	C.B.U.Q Concreto Betuminoso usinado a quente – pavimentação urbana – espessura 3cm	m <sup>3</sup>	-	21,00	237,00	4977,00
19	40530	Fornecimento de CAP- 50/70	t	-	3,02	1644,65	4973,39
20	40710	Transporte local de massa asfáltica – pavimentação urbana DT-25km	tkm	25	50,4	0,89	1121,4
		<b>Custo total empresa A</b>					19154,32
		<b>Custo total empresa B</b>					18786,82
		<b>Custo total empresa C</b>					19080,82

Tabela 6.38 b- Composição de custos Trecho (solo/pó) material empresas, A, B e C.

Item	Cód	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
		<b>Terraplenagem</b>		-			
2	40600	Limpeza – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	700,00	0,14	98,00
3	45735	Ser. topográficos	km	-	0,10	986,22	98,62
4	45765	Projeto geométrico e notas de serviços	km	-	0,10	7.323,10	732,31
		<b>Sub-total terraplenagem</b>	-	-	-	-	928,93
<b>II</b>		<b>Pavimentação</b>					
9	40635	Regularização e compactação do subleito	m <sup>2</sup>	-	700,00	1,60	1120,00
	40638	Escavação e carga material 1ª categoria	m <sup>3</sup>		207,3	4,38	907,9
		Aquisição de material levar na obra (empresa A)	t		68,3	27,00	1844,1
		Aquisição de material levar na obra (empresa B)	t		68,3	25,00	1707,5
		Aquisição de material levar na obra (empresa C)	t		68,3	27,00	1844,1
14	40655	Imprimação – exceto material betuminoso	m <sup>2</sup>	-	700,00	0,25	175,00
15	40480	Fornecimento de CM-30	t	-	0,84	2790,61	2344,11
16	40660	Pintura de ligação – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	700,00	0,25	175,00
17	40510	Fornecimento de RR-1C	t	-	0,35	1226,57	429,29
18	40675	C.B.U.Q Concreto Betuminoso usinado a quente – pavimentação urbana – espessura 3cm	m <sup>3</sup>	-	21,00	237,00	4977,00
19	40530	Fornecimento de CAP- 50/70	t	-	3,02	1644,65	4973,39
20	40710	Transporte local de massa asfáltica – pavimentação urbana DT-25km	tkm	25	50,4	0,89	1121,4
		<b>Custo total empresa A</b>					18996,12
		<b>Custo total empresa B</b>					18859,52
		<b>Custo total empresa C</b>					18996,12

Tabela 6.39 c – Composição de custos Trecho (cascalho laterítico)

Item	Cód	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
<b>I</b>		<b>Terraplenagem</b>		-			
2	40600	Limpeza – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	1400,00	0,14	196,00
3	45735	Ser. topográficos	km	-	0,20	986,22	197,24
4	45765	Projeto geométrico e notas de serviços	km	-	0,20	7.323,10	1464,62
		<b>Sub-total terraplenagem</b>	-	-	-	-	1857,86
<b>II</b>		<b>Pavimentação</b>					
9	40635	Regularização e compactação do sub-leito	m <sup>2</sup>	-	1400,00	1,60	2240,00
	P-4	Aquisição de material na jazida	m <sup>3</sup>		273,00	3,52	960,96
	40640	Transporte de material de jazida – cascalho, (DT=30)	m <sup>3</sup>	30	273,00	1,41	11547,9
14	40655	Imprimação – exceto material betuminoso	m <sup>2</sup>	-	1400,00	0,25	175,00
15	40480	Fornecimento de CM-30	t	-	1,68	2790,61	4688,22
16	40660	Pintura de ligação – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	1400,00	0,25	350,00
17	40510	Fornecimento de RR-1C	t	-	0,70	1226,57	858,59
18	40675	C.B.U.Q Concreto Betuminoso usinado a quente – pavimentação urbana – espessura 3cm	m <sup>3</sup>	-	42,00	237,00	9954,00
19	40530	Fornecimento de CAP- 50/70	t	-	6,04	1644,65	9946,84
20	40710	Transporte local de massa asfáltica – pavimentação urbana DT-25km	tkm	25	100,8	0,89	2242,8
		<b>Custo Total</b>					44822,17

Tabela 6.40 d – Composição de custos Trecho (solo/brita)

Item	Cód	Descrição dos serviços	UD	DT (km)	Quant	Preços R\$	
						unitário	parcial
<b>I</b>		<b>Terraplenagem</b>		-			
2	40600	Limpeza – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	1400,00	0,14	196,00
3	45735	Ser. topográficos	km	-	0,20	986,22	197,24
4	45765	Projeto geométrico e notas de serviços	km	-	0,20	7.323,10	1464,62
		<b>Sub-total terraplenagem</b>	-	-	-	-	1857,86
<b>II</b>		<b>Pavimentação</b>					
9	40635	Regularização e compactação do sub-leito	m <sup>2</sup>	-	1400,00	1,60	2240,00
		Aquisição de material levar na obra (empresa A)	t		50,1	30,00	1503,00
		Aquisição de material levar na obra (empresa B)	t		50,1	28,00	1402,8
		Aquisição de material levar na obra (empresa C)	t		50,1	28,00	1402,8
		Escavação e carregamento material 1ª categoria	m <sup>3</sup>		184,00	4,38	805,92
		Composição DER/SP	m <sup>3</sup>		234,1	49,87	11674,56
14	40655	Imprimação – exceto material betuminoso	m <sup>2</sup>	-	1400,00	0,25	350,00
15	40480	Fornecimento de CM-30	t	-	1,68	2790,61	4688,22
16	40660	Pintura de ligação – pavimentação urbana	m <sup>2</sup>	-	1400,00	0,25	350,00
17	40510	Fornecimento de RR- 1C	t	-	0,70	1226,57	858,59
18	40675	C.B.U.Q Concreto Betuminoso usinado a quente – pavimentação urbana – espessura 3cm	m <sup>3</sup>	-	42,00	237,00	9954,00
19	40530	Fornecimento de CAP- 50/70	t	-	6,04	1644,65	9946,84
20	40710	Transporte local de massa asfáltica – pavimentação urbana DT-25km	tkm	25	100,8	0,89	2242,8
		<b>Custo total empresa A</b>					34797,23
		<b>Custo total empresa B</b>					33294,23
		<b>Custo total empresa C</b>					33294,23
		<b>Custo Total DER/SP</b>					42760,07

# 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](#)