

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**CAMPUS I – CAMPINA GRANDE**  
**ÁREA DE GEOTECNIA**

**ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA E SOLIDIFICAÇÃO DO RESÍDUO OLEOSO GERADO NAS ATIVIDADES DE E & P DE PETRÓLEO, COM SOLO PARA O USO EM CAMADAS DE BASES E/OU SUB-BASES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

**Por:**

JOSÉ FRANKNETO DA SILVA CORDEIRO

Dissertação apresentada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande-PB, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

Campina Grande – Paraíba

Março de 2007

**JOSÉ FRANKNETO DA SILVA CORDEIRO**

Dissertação apresentada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da  
Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande-PB, como parte dos  
requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

Área de Concentração – Geotecnia

Prof. Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues  
Orientador

Campina Grande – Paraíba

Março de 2007

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG**

C794e  
2007

Cordeiro, José Frankneto da Silva

Estabilização química é solidificação do resíduo oleoso gerado nas atividades de E & P de petróleo, com solo para uso em camadas de bases e/ou sub-bases de pavimentos rodoviários/ José Frankneto da Silva Cordeiro. – Campina Grande, 2007.

136f.: il.

Referências.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: John Kennedy Guedes Rodrigues e João Batista Queiroz de Carvalho.

1- Pavimentação 2- Estabilização Química 3- Constituintes Químicos 4- Resíduo Oleoso I- Título

CDU 625.85

## FOLHA DE APROVAÇÃO

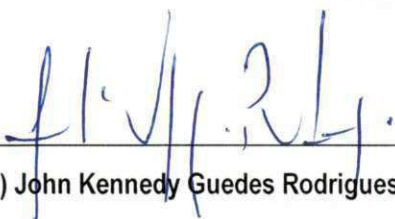
Autor: José Frankneto da Silva Cordeiro

Título: ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA E SOLIDIFICAÇÃO DO RESÍDUO OLEOSO GERADO NAS ATIVIDADES DE E & P DE PETRÓLEO, COM SOLO PARA O USO EM CAMADAS DE BASES E/OU SUB-BASES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Dissertação Defendida e Aprovada em: 30/03/2007

Pela Banca Examinadora

(Assinatura):



Prof. Dr. (Orientador) John Kennedy Guedes Rodrigues

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/DEC

(Assinatura):



Prof. PhD. (Co-Orientador) João Batista Queiroz de Carvalho

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/DEC

(Assinatura):



Prof. Dr. (Examinador Externo) Alexandre Benetti Parreira

Universidade de São Paulo – EESC/USP

(Assinatura):



Prof. Dr. (Examinador Interno) Alexandre José Soares Miná

Universidade Federal da Paraíba – UFPB

## DEDICATÓRIA

A Deus, fonte de todo conhecimento e luz constante em nossas vidas.

À minha mãe, Zélia Maria da Silva Cordeiro.

Ao meu pai, Sebastião Francisco Cordeiro.

Aos meus Irmãos: Alan e Conceição.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues pelo direcionamento e orientação desta pesquisa, pelo apoio, estímulo e atenção sempre paciente nas horas mais difíceis.

Ao Professor PhD João Batista Queiroz de Carvalho pelo apoio dedicado nos momentos difíceis.

À ATECEL que forneceu equipamentos e recursos para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da UFCG e a Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida

À coordenação do Curso de Graduação em Engenharia civil

Aos amigos: Macel Wallace, Fábio Cunha, Hermes Café, Gracieli Louise, Marcela Vilar, Jorge Luiz, Ricardo Rodrigues, Saul Guedes, Lêda Lucena, Virgiane Melo, Jozilene Souza, Josete de Sousa e outros que deram sua contribuição em particular.

Aos funcionários da área de Geotecnia, em especial, a Rui Pereira de Oliveira, José Nivaldo Sobreira e Josenira dos Santos França.

Aos alunos do Departamento de Engenharia de Materiais, em especial, a Heber Junior, Geovana, Patrícia, Valmir e Alice.

Aos funcionários da ATECEL, Marcos, Lelé, Mano, Eugenio e Eliane.

Aos amigos de apartamento Leonardo, Helder, Rafael, Julian e Emanuel.

E a todos que colaboram direta e indiretamente para que este trabalho pudesse ser realizado.

## RESUMO

Resultante da exploração e produção de petróleo o “resíduo oleoso” é obtido de diversos setores da cadeia produtiva de petróleo como, limpeza de filtros, derrames de óleo, fundo de tanques, limpezas em geral, transportes, etc. A transformação de resíduos em subprodutos de impactos ambientais mitigados é a meta de todas as empresas com responsabilidade ambiental. Neste trabalho procurou-se, com o auxílio da técnica de estabilização química/solidificação reincorporar o resíduo oleoso com solo, usando como agente cimentício a cal. O procedimento escolhido para realização da fase experimental da pesquisa foi empírico e com adoção de um suporte teórico, baseado na revisão da literatura e na escolha dos métodos de ensaios. As atividades relacionadas a esta fase foram divididas em quatro etapas: caracterização das propriedades físicas dos materiais, caracterização das propriedades mecânicas das misturas dos materiais, caracterização das propriedades químicas do solo, do resíduo oleoso e da mistura solo-resíduo-cal e o estudo estatístico sobre os resultados obtidos. Após adoção do percentual de 25% para a incorporação do resíduo oleoso na mistura, baseado em resultados obtidos em Experimento Piloto, optou-se em adicionar a Cal como aglomerante, nos teores de 3%, 4,5%, 6,0%, 7,5% e 9,0%. Os sucessivos incrementos do teor da Cal na mistura tiveram como conseqüências alterações significativas nos valores obtidos do teor umidade (%), da massa específica aparente seca ( $g/cm^3$ ), do CBR (%) e da expansão (%). Os resultados das análises de variância indicaram que houve um aumento do teor de umidade (%), enquanto que a massa específica aparente seca ( $g/cm^3$ ) diminuiu quando comparados ao solo no seu estado natural. Os valores de CBRs sofreram alterações sugerindo elevados ganhos de resistência quando comparados com aqueles obtidos para o solo em seu estado natural e para a mistura solo-resíduo. Para a expansão observou-se um decréscimo significativo em seus valores. De uma forma geral, a maioria dos constituintes que apresentava concentrações superiores aos recomendados pela NBR-10004/2004 e tiveram seus valores reduzidos após o processo de estabilização química e solidificação. A exceção foi o constituinte manganês o qual, não estando inferior ao limite máximo permitido, teve seu valor reduzido consideravelmente, o que corrobora mais uma vez a vantagem do processo de estabilização química/solidificação utilizado.

Palavras Chave: Resíduo Oleoso, Estabilização Química, Constituintes Químicos, Pavimentação.

## ABSTRACT

An oily residue resulting from petroleum drilling, extraction and processing, as well as filter and reservoir cleaning and eventual oil leakage is produced. Transformation of this residue into environmentally inoffensive by-products is the objective of every company concerned with the environment that produces this type of material. This study considered the possibility to use this residue as cementing agent to lime, using the solidification/chemical stability technique. The experimental phase of this study was based on experience and theoretical support from literature, as well as the selection of the trial methods. The trial phase was divided in four moments: characterization of the physical properties of each component of the mixture, characterization of the mechanical properties of the mixtures, characterization of the chemical characteristics of the soil, of the oily residue and of the soil-residue-lime mixture, and statistical data analyses. A pilot trial using 25% of oily residue, helped to decide the use of 3%, 4.5%, 6.0%, 7.5% and 9.0% of lime as agglomerant in the mixture. Lime increments affected mixture moisture (%), dry apparent specific mass ( $\text{g/cm}^3$ ), CBR (%) and expansion (%). Analysis of variance results showed a significant increase in mixture moisture, while dry apparent specific mass decreased compared to natural soil. CBRs values increased, suggesting a strong increase in resistance compared to natural soil and soil-residue mixture. Expansion values decreased significantly. In general, most of the constituents that presented concentration higher than the specified by the NBR-10004/2004 guidelines had their concentrations reduced after stabilization/chemical stabilization process. Exception was observed with manganese, although this component was not below the maximum allowed value. This fact also corroborates the advantage of the solidification/chemical stabilization process.

Keywords: Oily Residue, Chemical Stabilization, Chemical Constituents, Paving.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Mistura de material com resíduo oleoso. Fonte: Faé et al. (2002) .....	13
Figura 3.1 – Solo utilizado nos experimentos.....	27
Figura 3.2 – Resíduo Oleoso de Petróleo utilizado na pesquisa .....	28
Figura 3.3 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de difração a laser .....	30
Figura 3.4 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de termogravimetria .....	30
Figura 3.5 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de difração de raios-x.....	30
Figura 3.6 – Equipamento utilizado para realização dos ensaios de compactação.....	32
Figura 3.7 – Equipamentos utilizados para realização dos ensaios de CBR .....	33
Figura 3.8 - Equipamentos utilizados para realização dos ensaios de expansão.....	34
Figura 3.9 – Equipamentos utilizados para a realização dos ensaios de compressão simples .....	36
Figura 3.10 – Equipamentos utilizados para obtenção dos extratos lixiviado e solubilizado dos materiais utilizados na pesquisa .....	38
Figura 3.11 – Equipamentos utilizados para realização dos ensaios de análises químicas por espectrofotometria por absorção atômica .....	39
Figura 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso obtida por difração a laser .....	43
Figura 4.2 - Difração de raios-x do resíduo oleoso.....	45
Figura 4.3 – Termogravimetria (TG) do resíduo oleoso .....	45
Figura 4.4 - Distribuição dos tamanhos das partículas da cal obtida por difração a laser .....	46
Figura 4.5 – Curva de compactação para o solo.....	47
Figura 4.6 – Efeito da adição do resíduo oleoso nos valores de CBR para o solo .....	48
Figura 4.7 – Curvas de compactação para as misturas solo - resíduo - cal.....	49
Figura 4.8 – Efeito do incremento do teor de cal na mistura nos valores de CBR.....	50
Figura 4.9 – Efeito do teor de cal nos valores da resistência à compressão simples .....	52
Figura 4.10 – Gráfico de caixa para os valores do teor de umidade (%) (mistura solo-resíduo) .....	59
Figura 4.11 - Gráfico de caixa para os valores da massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> ) (mistura solo-resíduo)...	59
Figura 4.12 - Gráfico de caixa para os valores de CBR (%) (mistura solo-resíduo) .....	60
Figura 4.13 - Gráfico de caixa para os valores da expansão (%) (mistura solo-resíduo).....	60
Figura 4.14 - Gráfico de caixa para os valores do teor de umidade (%) (mistura solo-resíduo-cal).....	62
Figura 4.15 - Gráfico de caixa para os valores de massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> ) (mistura solo-resíduo-cal) .....	63
Figura 4.16 - Gráfico de caixa para os valores do CBR (%) (mistura solo-resíduo-cal) .....	63
Figura 4.17 - Gráfico de caixa para os valores de expansão (mistura solo-resíduo-cal) .....	64
Figura 4.18 - Gráfico de caixa para os valores do teor de umidade (%) na resistência à compressão simples.....	66
Figura 4.19 - Gráfico de caixa para os valores da massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> ) na resistência à compressão simples .....	66
Figura 4.20 - Gráfico de caixa para os valores da resistência à compressão simples (MPa) .....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Classificação do petróleo segundo THOMAS (2001) .....	5
Quadro 2.2 – Resíduos provenientes das atividades de Exploração e Produção do Petróleo.....	6
Quadro 2.3 – Resíduos oleosos e suas respectivas operações geradoras .....	6
Quadro 2.4 – Concentrações de metais obtidos no meio de massa bruta de resíduo oleoso.....	8
Quadro 2.5 – Normas para classificação de resíduo .....	15
Quadro 2.6 – Aspectos que conferem a periculosidade aos resíduos sólidos.....	16

**LISTA DE FLUXOGRAMAS**

<b>Fluxograma 3.1 – Seqüência de atividades e dos ensaios realizados durante a fase experimental da pesquisa.....</b>	<b>26</b>
<b>Fluxograma 3.2 - Seqüência adotada para realização do ensaio de compactação.....</b>	<b>32</b>
<b>Fluxograma 3.3 - Seqüência das atividades adotadas para a realização dos ensaios de CBR.....</b>	<b>34</b>
<b>Fluxograma 3.4 - Seqüência adotada para a realização dos ensaios para obtenção da resistência à compressão simples .....</b>	<b>37</b>
<b>Fluxograma 3.5 - Seqüência de atividades utilizadas para classificar os materiais utilizados na pesquisa.....</b>	<b>38</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição do óleo cru típico.....	4
Tabela 2.2 – Propriedades orgânicas do solo contaminado com óleo cru .....	7
Tabela 2.3 – Propriedades físicas e químicas de amostras de petróleo .....	8
Tabela 2.4 – Propriedades físicas e químicas de amostras de solo contaminado com petróleo .....	9
Tabela 2.5 – Valores médios obtidos a partir de análise química com o extrato lixiviado .....	9
Tabela 2.6 – Técnicas ou processos comumente utilizados para disposição e reuso dos resíduos sólidos.....	11
Tabela 2.7 – Valores limites de GLC e de Leachate para a técnica Roadspreading e estabilização química/solidificação.....	14
Tabela 3.1 - Normas utilizadas para caracterização física das amostras de solo.....	29
Tabela 3.2 - Normas utilizadas para caracterização física das amostras de resíduo oleoso.....	29
Tabela 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas do solo.....	41
Tabela 4.2 - Umidade do solo .....	42
Tabela 4.3 – Massa específica real dos grãos do solo.....	42
Tabela 4.4 – Limites de consistência do solo .....	42
Tabela 4.5 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso .....	43
Tabela 4.6 - Umidade do resíduo oleoso.....	43
Tabela 4.7 – Massa específica real dos grãos do resíduo oleoso .....	44
Tabela 4.8 – Limites de consistência do resíduo oleoso.....	44
Tabela 4.9 - Resultados obtidos para o ensaio de compactação para o solo.....	47
Tabela 4.10 - Resultados dos ensaios de CBR variando o resíduo oleoso.....	48
Tabela 4.11 – Resultados obtidos para os ensaios de compactação das misturas.....	50
Tabela 4.12 – Resultados dos ensaios de CBR variando a cal.....	51
Tabela 4.13 – Valores de referência para solos melhorados com cimento Portland .....	51
Tabela 4.14 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples .....	52
Tabela 4.15 – Limites de consistência da mistura .....	53
Tabela 4.16 – Resultados do teste de solubilização para o solo .....	54
Tabela 4.17 – Resultados do teste de lixiviação para o solo.....	54
Tabela 4.18 – Resultados do teste de solubilização para o resíduo oleoso.....	55
Tabela 4.19 – Resultados do teste de lixiviação para o resíduo oleoso.....	55
Tabela 4.20 – Resultados do teste de solubilização para a mistura.....	56
Tabela 4.21 – Resultados do teste de lixiviação para a mistura.....	56
Tabela 4.22 - Composição química do resíduo oleoso no estado natural.....	57
Tabela 4.23 – Valores dos teores de umidades (%) dos ensaios de CBR (mistura solo-resíduo).....	58
Tabela 4.24 - Valores das massas específicas (g/cm <sup>3</sup> ) dos ensaios de CBR (mistura solo-resíduo) .....	58
Tabela 4.25 - Valores do CBR (%) (mistura solo-resíduo).....	58
Tabela 4.26 - Valores das expansões (%) dos ensaios de CBR (mistura solo-resíduo).....	58
Tabela 4.27 - Análise da variância dos efeitos da adição do resíduo no solo sobre a variável teor de umidade ótima (%) com a realização do ensaio de CBR .....	60
Tabela 4.28 - Análise da variância dos efeitos da adição do resíduo no solo sobre a variável massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> ) com a realização do ensaio de CBR.....	61

Tabela 4.29 - Análise da variância dos efeitos da adição do resíduo no solo sobre a variável CBR (%) .....	61
Tabela 4.30 - Análise da variância dos efeitos da adição do resíduo no solo sobre a variável expansão (%) com a realização do ensaio de CBR .....	61
Tabela 4.31 - Valores dos teores de umidades (%) com a realização do ensaio de CBR (mistura solo-resíduo-cal)...	61
Tabela 4.32 - Valores de massas específicas (g/cm <sup>3</sup> ) com a realização do ensaio de CBR (mistura solo-resíduo-cal) .....	62
Tabela 4.33 - Valores do CBR (%) (mistura solo-resíduo-cal).....	62
Tabela 4.34 - Valores de expansões (%) com a realização do ensaio de CBR (mistura solo-resíduo-cal).....	62
Tabela 4.35 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável umidade ótima (%) com a realização do ensaio de CBR .....	64
Tabela 4.36 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> ) através do ensaio de CBR.....	64
Tabela 4.37 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável CBR (%) .....	64
Tabela 4.38 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável expansão (%) com a realização do ensaio de CBR.....	65
Tabela 4.39 - Valores de umidades (%) dos ensaios de resistência à compressão simples .....	65
Tabela 4.40 - Valores de massas específicas (g/cm <sup>3</sup> ) do ensaio de resistência à compressão simples.....	65
Tabela 4.41 - Valores de resistências à compressão simples (MPa).....	65
Tabela 4.42 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável umidade ótima (%) através do ensaio de resistência à compressão simples.....	67
Tabela 4.43 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável massa específica aparente seca (g/cm <sup>3</sup> ) através do ensaio de resistência à compressão simples.....	67
Tabela 4.44 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável resistência à compressão simples (MPa) .....	67

**LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	California Bearing Ratio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transporte
EPA	Environmental Protection Agency
EDP	Environmental Departamento of Pennsylvania
TG	Termogravimetria
GLC	Guidelines for Limits Constituents
IOGCC	Interstate Oil and Gas Compact Commission
ONG	Organização Não governamental
SUCS	Sistema Único de Classificação de Solos
RCS	Resistência à Compressão Simples
TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
THP	Total de Hidrocarbonetos de Petróleo

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - OBJETIVO.....	2
1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 - O PETRÓLEO.....	4
2.2 - RESÍDUO OLEOSO GERADO NAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DO PETRÓLEO.....	5
2.3 - TÉCNICAS UTILIZADAS PARA A APLICAÇÃO DE RESÍDUOS EM ESTRADAS.....	9
2.4 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	14
2.5 - MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	17
2.6 - ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA E SOLIDIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	18
2.7 - ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS PARA USO EM ESTRADAS.....	21
CAPÍTULO 3.....	26
3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 - MATERIAIS.....	27
3.1.1 - Solo.....	27
3.1.2 - Resíduo oleoso de petróleo.....	27
3.1.3 - Cal.....	28
3.2 - MÉTODOS.....	28
3.2.1 - Caracterização das propriedades físicas dos materiais.....	29
3.2.2 - Caracterização das propriedades mecânicas das misturas dos materiais.....	31
3.2.3 - Caracterização das propriedades químicas do solo, do resíduo oleoso e da mistura solo-resíduo-cal.....	37
3.2.4 - Análise estatística dos resultados.....	39
CAPÍTULO 4.....	41
4 - RESULTADOS.....	41
4.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS.....	41
4.1.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas do solo.....	41
4.1.2 - Teor de umidade higroscópica do solo.....	41
4.1.3 - Massa específica real do solo.....	42
4.1.4 - Índices de consistência do solo.....	42
4.1.5 - Distribuição dos tamanhos das partículas grãos do resíduo oleoso.....	42
4.1.6 - Teor de umidade higroscópica do resíduo oleoso.....	43
4.1.7 - Massa específica real do resíduo oleoso.....	44
4.1.8 - Índices de consistência do resíduo oleoso.....	44
4.1.9 - Difração de raios – x do resíduo oleoso.....	44
4.1.10 - Termogravimetria (TG) do resíduo oleoso.....	45
4.1.11 - Cal hidratada.....	46
4.2 - CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MISTURAS DOS MATERIAIS.....	47
4.2.1 - Experimento Piloto.....	47

4.2.2 - Resultados dos ensaios de compactação, CBR e expansão para as misturas.....	49
4.2.3 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples .....	52
4.2.4 - Índices de consistência da mistura.....	53
4.3 - CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO, DO RESÍDUO OLEOSO E DA MISTURA SOLO-RESÍDUO-CAL .....	54
4.3.1 - Classificação do solo quanto a inerticidade e toxicidade.....	54
4.3.2 - Classificação do resíduo oleoso quanto a inerticidade e toxicidade. ....	55
4.3.3 - Classificação da mistura solo-resíduo-cal quanto a inerticidade e toxicidade.....	56
4.3.4 - Classificação do resíduo oleoso quanto a composição química .....	57
4.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS .....	58
CAPÍTULO 5.....	69
5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	69
5.1 - CONCLUSÕES .....	69
5.2 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS .....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
ANEXOS.....	76
Anexo A – Análise granulométrica.....	77
ANEXO B – Difração a laser .....	81
ANEXO C – Ensaio de compactação.....	86
ANEXO D – Ensaio de CBR e expansão.....	93
ANEXO E – Ensaio de compressão simples .....	121
ANEXO F – Análise química dos constituintes.....	125
Anexo G – Quantitativos .....	128
Anexo H – Esquema geral para pesquisas com a utilização de resíduos.....	132



## CAPÍTULO 1

### 1 - INTRODUÇÃO

Atualmente percebemos por parte da sociedade uma maior preocupação com as questões ambientais, principalmente quando se trata de resíduos sólidos, sejam eles domésticos, industriais ou hospitalares. Desta forma crescem os estudos em busca de novas tecnologias que ajudem a reincorporar tais resíduos na natureza sem, contudo prejudicá-la.

Resultante da exploração e produção de petróleo, o “resíduo oleoso” é obtido de diversos setores da cadeia produtiva de petróleo como, limpeza de filtros, derrames de óleo, fundo de tanques, limpezas em geral, transportes, etc.

Muitos dos compostos que constituem o petróleo são gerados e descartados no meio ambiente (ar, água e solo). O descarte ou disposição final de tais volumes de resíduos sobre o ambiente vem causando preocupações as agências governamentais e organizações não governamentais.

Em relação ao tratamento e destinação dos resíduos, Fonseca (2003) destaca que é imprescindível o reuso de resíduo e não simplesmente estocá-lo de forma temporária por razões econômicas, ambientais e por disponibilidade de área. As tecnologias mais aceitáveis são as que proporcionam a reincorporação dos resíduos a natureza, com propriedades não nocivas a flora e fauna local. Portanto, a disposição do resíduo oleoso deve ser realizada de forma adequada ambientalmente dentro dos limites pré-estabelecidos pelas agências governamentais reguladoras.

A busca por novos materiais de baixo custo e em especial, a utilização de resíduos industriais, vem sendo amplamente estudada e discutida nos diversos eventos técnico-científicos da área de material de construção e pavimentação. A transformação de resíduo em sub-produtos é a meta de todas as indústrias preocupadas com a questão ambiental e a minoração dos custos do tratamento, algumas delas tendo já alcançado grande sucesso (ROLIM, 1999).

A indústria petrolífera apesar de ter atentado para as questões ambientais e procurado adotar diretrizes que melhorem o desempenho da engenharia, por meio de técnicas economicamente viáveis e limpas, ainda não implantou soluções viáveis referentes à disposição dos resíduos oleosos. Uma das alternativas de

reincorporação do resíduo oleoso é a sua mistura com material argiloso, para estabilização em estradas. Contudo, esta técnica deverá ser utilizada após estudo detalhado do resíduo, bem como da mistura final, levando em conta sua viabilidade técnica e, claro, os aspectos ambientais e econômicos.

A pavimentação por sua vez, pela sua extensão e grandes volumes de solo mobilizado, constitui-se uma alternativa ao reuso de resíduos, principalmente aqueles com certo potencial de estabilização. Os resíduos industriais ou sub-produtos, quando disponíveis próximos as áreas em que são produzidos, resultam, geralmente, em soluções de baixo custo. A estabilização de solos em conjunto com o reuso de resíduos industriais tem permitido aplicações proveitosas na execução de bases e sub-bases de estradas.

A avaliação do grau de estabilização de misturas de solo e de solos adicionados de aditivos é feita por meio de ensaios físico-mecânicos, tais como, compactação, CBR, compressão simples, tração na compressão diametral, e outros. Misturas de solos com resíduo necessitam ainda de ensaios ambientais, como análises dos extratos lixiviados e solubilizados, que permitam classificá-las e principalmente determinar o comportamento de suas propriedades ao longo do tempo (ROLIM, 1999).

## 1.1 - OBJETIVO

A proposta deste trabalho é utilizar a estabilização química e solidificação, com o uso do resíduo oleoso gerado nas atividades de exploração e produção de petróleo, em solo para o uso em camadas de bases e/ou sub-bases de pavimentos rodoviários.

O uso, em conjunto, das técnicas de estabilização química e solidificação, visa permitir um melhor encapsulamento dos resíduos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo, bem como um aproveitamento mais eficiente das misturas de resíduos não segregados.

Com isso, procurar-se-á:

- realizar uma caracterização específica do resíduo oleoso;
- estudar as propriedades mecânicas da mistura contendo resíduo, solo e cal em laboratório;
- realizar a análise dos contaminantes para os materiais antes e após o processo de estabilização, levando em consideração a classificação dos mesmos segundo diretrizes da NBR 10004-Classificação de Resíduos Sólidos.

## 1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O texto desta Dissertação encontra-se em um volume distribuído da seguinte forma:

[Capítulo 1] Introdução, Objetivos e Organização do Trabalho – são descritas uma visão geral do trabalho com a introdução, os objetivos a serem alcançados e a forma da organização do trabalho.

[Capítulo 2] Revisão da Literatura – são discutidos e descritos assuntos relacionados à: petróleo, resíduo oleoso gerado nas atividades de Exploração & Produção do Petróleo, técnicas utilizadas para a aplicação de resíduos em estradas, classificação dos resíduos sólidos, meio ambiente e desenvolvimento sustentável, estabilização química e solidificação dos resíduos e por fim, estabilização de solos para uso em estradas.

[Capítulo 3] Materiais e Métodos – são relatados aspectos, considerados importantes, sobre os procedimentos dos ensaios e o método da pesquisa.

[Capítulo 4] Resultados – são apresentados e analisados os resultados obtidos durante a fase experimental.

[Capítulo 5] Conclusões e Sugestões – são apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões para futuras pesquisas sobre o tema estudado.

Por fim, estão incluídas as Referências Bibliográficas e os Anexos, onde foram inseridas as referências citadas para a realização do trabalho, as planilhas e os gráficos resultantes dos ensaios realizados.

## CAPÍTULO 2

## 2 - REVISÃO DA LITERATURA

## 2.1 - O PETRÓLEO

O petróleo é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e de cor variando entre o negro e o castanho escuro. Quando em seu estado bruto possui em sua composição uma cadeia de hidrocarbonetos, cujas frações leves formam os gases e as frações pesadas o óleo cru.

A distribuição destes percentuais de hidrocarbonetos é que define os diversos tipos de petróleo existentes no mundo. Os outros constituintes são compostos orgânicos que contêm elementos químicos como o nitrogênio, o enxofre, o oxigênio e metais, principalmente o níquel e vanádio. A **Tabela 2.1** apresenta a composição elementar do petróleo sob a forma de óleo cru típico.

**Tabela 2.1 – Composição do óleo cru típico**

Elemento	Porcentagem em massa
hidrogênio	11 – 14 %
carbono	83 – 87 %
enxofre	0,06 – 8 %
nitrogênio	0,11 – 1,7 %
oxigênio	0,1 – 2 %
metais	Até 0,3 %

Fonte: Thomas, 2001.

De acordo com as informações contidas na **Tabela 2.1** o carbono é o elemento mais abundante encontrado no petróleo comum podendo chegar a 87%, seguido do hidrogênio com até 14% e do enxofre com até 8%. Em geral, quanto maior a densidade do petróleo, maior será seu teor de enxofre. Os compostos nitrogenados apresentam-se quase que, em sua totalidade, na forma orgânica, encontrados em maiores concentrações nas frações pesadas, assim como os compostos oxigenados, que aparecem na forma de ácidos carboxílicos, fenóis, cresóis, ésteres, amidas, cetonas e benzofuranos.

Os compostos metálicos apresentam-se na forma de sais orgânicos, dissolvidos na água emulsionada no petróleo na forma de compostos organometálicos complexos que tendem a se concentrar nas frações mais pesadas. Além do níquel e do vanádio, encontrados com maior incidência, podem ocorrer no petróleo os metais

zinco, ferro, cobre, chumbo, molibdênio, cobalto, arsênico, manganês, cromo e sódio.

Segundo Fonseca (2003), o petróleo foi a principal fonte mundial de energia do século XX. A produção de cerca de 72 milhões de barris atendia a 40,6% da demanda mundial de energia. No Brasil, o petróleo consumido representa cerca de 34,2% da matriz energética. O petróleo é um produto de grande importância mundial. É difícil determinar alguma coisa que não dependa direta ou indiretamente do petróleo. No **Quadro 2.1** está inserida a classificação para o petróleo segundo Thomas (2001).

**Quadro 2.1 - Classificação do petróleo segundo THOMAS (2001)**

<b>Classe</b>	<b>Características</b>	<b>Local</b>
Parafínica	Possui densidade inferior a 0,85, alto ponto de fluidez, teor de resinas e asfaltenos menor que 10%.	A maioria do petróleo produzido no Nordeste brasileiro.
Parafínico-naftênico	Teor de resinas e asfaltenos entre 5 e 15%, baixo teor de enxofre, teor de naftênicos entre 25 e 40%. Densidade e viscosidade maior que os parafínicos.	A maioria dos petróleos produzidos na bacia de Campos no Rio de Janeiro.
Naftênica	Temos aqui um número pequeno de óleos. Baixo teor de enxofre e se originam da alteração bioquímica de óleos parafínicos e parafínicos-naftênicos.	Alguns óleos da América do Sul, da Rússia e do Mar do Norte.
Aromática intermediária	Possui de 10 a 30% de asfaltenos e resinas e teor de enxofre acima de 1%. Baixo teor de monocromáticos e elevado teor de tiofenos e de dibenzotiofenos, com densidade maior que 0,85.	Alguns óleos do Oriente Médio, África Ocidental, Venezuela, Califórnia, Mediterrâneo.
Aromática-naftênico	Derivados dos óleos parafínicos e parafínico-naftênicos, podendo conter mais de 25% de resinas e asfaltenos, e teor de enxofre entre 0,4 e 1%.	Alguns óleos da África Ocidental.
Aromático-asfáltico	Oriundos da biodegradação avançada em que ocorreria reunião de monocicloalcanos e oxidação. Elevado teor de asfaltenos e resinas, com teor de enxofre variando de 1 a 9% em casos extremos.	Canadá Ocidental, Venezuela e Sul da França.

Fonte: Thomas, 2001.

## 2.2 - RESÍDUO OLEOSO GERADO NAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DO PETRÓLEO

Segundo Environmental Protection Agency (EPA, 2000), configuram-se como resíduo oleoso a areia oleosa produzida, as borras de separadores, a parafina, a areia/debritos de fundo, os solos contaminados, e os lodos de separadores.

As atividades da indústria de extração de óleo e gás são subdivididas em quatro processos principais: exploração, desenvolvimento de poço, produção e abandono. No **Quadro 2.2** são apresentadas estas subdivisões com os respectivos tipos de resíduos gerados.

**Quadro 2.2 – Resíduos provenientes das atividades de Exploração e Produção do Petróleo**

Processo	Resíduos Líquidos	Resíduos Sólidos
Desenvolvimento de poço	Lamas provenientes de perfurações, álcalis, fluidos de estimulação ácida.	Lamas de perfuração sólida, cascalhos, inibidores de corrosão, agentes flocculantes, concreto.
Produção	Água contendo metais pesados, sólidos dissolvidos, compostos orgânicos, sais, aditivos, lubrificantes.	Areia, enxofre, catalisadores gastos, filtros gastos, resíduos sanitários, lodo de separador.
Manutenção	Águas residuárias com presença de solventes usados para limpeza, fluido de completação.	Cimento, solos contaminados, parafinas, sucatas metálicas.
Abandono	Salmoura e Óleos.	Solos contaminados, materiais absorventes.

Fonte: EPA, 2000.

Segundo Agostini apud Fonseca (2003), as atividades de Exploração e Produção de Petróleo (E & P) geram uma quantidade considerável de resíduos. Estes resíduos são constituídos basicamente de solo e hidrocarbonetos provenientes de limpeza de filtros, derrames de óleo, fundo de tanques dentre outros. No **Quadro 2.3**, estão listados, por operações geradoras (perfuração, produção, manutenção), os principais tipos de resíduos oleosos.

**Quadro 2.3 – Resíduos oleosos e suas respectivas operações geradoras**

Tipo de Resíduo Oleoso	Operação Geradora	Características
Resíduo fundo de tanque	Produção	Resultantes do acúmulo de partículas sólidas provenientes das formações, que se depositam no fundo de tanques de estocagem ou de tratamento prévio de fluidos exportados.
Lodo de caixa separadora água/óleo	Produção	Resultantes da limpeza de sistemas separadores água – óleo.
Filtros de água produzida	Produção	Constituídos por materiais como brita, areia e carvão ativado, que após sua perda de produtividade como meio filtrante no tratamento da água produzida, são periodicamente descartados.
Areias e detritos de fundo de coluna de produção	Manutenção	Gerados nos processos de manutenção e melhoria da produtividade dos poços quando da retirada de sólidos acumulados no fundo de colunas de produção.
Parafinas	Manutenção	Resultantes de procedimentos de limpeza de hidrocarbonetos parafínicos acumulados em paredes internas de tubulações em geral.
Solo contaminado	Perfuração, produção e manutenção	Resultantes dos procedimentos de limpeza de derrames de óleo sobre solos.

Fonte: Agostini apud Fonseca, 2003.

A quantidade gerada de resíduo varia muito de local para local, já que tal quantidade depende também de resíduos gerados através de inúmeras operações, inclusive acidentes, e não só do volume de petróleo produzido. Segundo Aride (2003) a composição físico-química varia de acordo com a sua origem e consiste basicamente de hidrocarbonetos, metais, água e sólidos. Esses resíduos contêm entre outros elementos, óleo, salmoura, sódio, cálcio, magnésio, cloro, sulfato e bromo. Na armazenagem têm-se, ácidos, gás sulfuroso, sais

inorgânicos, cloro, magnésio, cálcio, enxofre, emulsões, gás sulfídrico e compostos orgânicos como enxofre (BRAILE, 1993).

Devido à escassez de processos que viabilizem a utilização desses resíduos, na maioria das vezes, eles se tomam um problema para as indústrias de petróleo, por seu alto volume de geração e as conseqüentes dificuldades em seu condicionamento, armazenagem, transporte e destinação final. Vários trabalhos estão sendo desenvolvidos com intuito de dar uma destinação ambientalmente adequada aos resíduos gerados nas atividades de Exploração e Produção de Petróleo.

Rizzo e Santos (2002), em trabalho de biorremediação do solo contaminado com óleo cru, relatam a pequena aplicabilidade da técnica de biorremediação “*in situ*” do óleo cru e da “argila mineral”. Isto devido à recalcitrância dos hidrocarbonetos de petróleo, atribuída à forte interação entre a argila mineral e o resíduo de óleo cru e a baixa oxigenação e disponibilidade de nutrientes. Na **Tabela 2.2** são listadas as propriedades orgânicas do solo contaminado com óleo cru.

**Tabela 2.2 – Propriedades orgânicas do solo contaminado com óleo cru**

Compostos	Concentração
Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (g/kg)	53,81
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (g/kg)	9,75
Matéria Orgânica (%)	12,60
Saturados (%)	41,18
Aromático (%)	26,24
Resinas (%)	32,58
Asfaltenos (%)	ND*

Fonte: RIZZO e SANTOS, 2002. ND\* - não detectado

Rizzo e Santos (2002) realizaram ensaios de lixiviação e solubilização com o material contaminado com petróleo, analisando os níveis de dos metais bário, vanádio, cromo, selênio, cádmio, chumbo, prata, zinco, níquel, mercúrio e arsênio. Os resultados apresentados pelos autores indicaram que as concentrações detectadas dos metais encontravam-se de acordo com os limites pré-estabelecidos pela norma NBR 10004/87. Estas concentrações, para os materiais estudados, permitiram adoção da biorremediação do solo contaminado.

Tristão (2001) caracterizou os resíduos da caixa de separação água e óleo, com o objetivo de utilização destes na indústria fabricação do cimento. Para tal, foram estimados os teores de cinzas e de enxofre, realizadas análises do tipo elementar orgânica, e ensaios de metais na massa bruta. No **Quadro 2.4** são apresentadas as concentrações de metais obtidos na massa bruta pelos autores.

Os resultados obtidos por Tristão (2001) indicam que, para os parâmetros analisados, apenas a quantidade de cromo ultrapassou o limite máximo permitido constado na listagem de Número 9 da NBR 10004/87.

**Quadro 24 – Concentrações de metais obtidos no meio de massa bruta de resíduo oleoso**

Amostra	Concentração (mg/kg)						
	100	100	100	100	100	1000	1000
	LMP (mg/kg) segundo listagem nº. 9 NBR 10004						
	Be	Cr	Hg	Pb	Se	As	V
A	<100	220	1,8	<100	<100	420	<100
B	<100	330	0,15	<100	<100	260	<100
C	<100	130	0,31	<100	<100	220	<100
D	<100	210	0,36	<100	<100	250	<100
E	<100	<100	0,083	<100	<100	130	<100
F	<100	<100	0,33	<100	<100	150	<100
G	<100	110	<0,02	<100	<100	220	<100
H	<100	110	0,18	<100	<100	240	<100
I	<100	230	0,043	<100	<100	360	<100
J	<100	<100	0,091	<100	<100	250	<100

Fonte: TRISTÃO, 2001.

Souza (2001), em trabalho com solos contaminados por derrame de petróleo, analisou as propriedades físico-químicas do petróleo. Os dados estão listados na **Tabela 2.3**.

**Tabela 2.3 – Propriedades físicas e químicas de amostras de petróleo**

Propriedade	Unidade	Valor
Densidade Relativa	D20/4°C	0,924
BSW (água e sedimentos)	% Vol	56 - 95
Ponto de fluidez	°C	3
Salinidade em NaCl	mg/L	31.376 – 121.000
Viscosidade (37,8°C)	CP	266,1
Enxofre	(% peso)	0,57
Nitrogênio	(% peso)	0,26
Índice de Acidez	mg KOH /g	1,35

Fonte: SOUZA, 2001.

Bleckmann (1997), ao analisar resultados dos ensaios de caracterização de resíduos da indústria de petróleo, a partir da composição de água, sólidos e óleos detectados durante o processo de disposição dos resíduos no solo utilizados para o tratamento, concluiu que foi pequena a concentração de componentes voláteis em resíduo dessa natureza. Os resultados obtidos pelo Bleckmann estão inseridos na **Tabela 2.4**.

Nos estudos realizados por Neder (1998), a autora utilizou a tecnologia de solidificação/estabilização em resíduos oleosos provenientes das atividades de Exploração e Produção de Petróleo, utilizando argilas modificadas. A autora trabalhou com resíduos classificados como de fundo de tanque, resíduos provenientes de estocagem de petróleo antes do processo de refinamento e também lamas de perfuração, com teores de óleo variando de 5% a 30%. As concentrações médias dos parâmetros analisados do resíduo oleoso, estimados a partir de ensaios com o extrato lixiviado, estão listadas na **Tabela 2.5**.



**Tabela 2.4 – Propriedades físicas e químicas de amostras de solo contaminado com petróleo**

Ano	Porcentagem peso/peso		
	Sólidos	Água	Óleos
1997	67,0	10,0	23,0
1982	65,2	24,6	6,50
1986	63,0	16,4	20,6
1987	70,9	13,8	15,20
1987	74,5	11,1	14,4
1987	78,0	7,40	14,6
1988	54,7	23,6	21,7
1989	58,8	21,3	19,9
1989	73,9	6,10	20,0
Média	67,0	15,0	18,0

Fonte: BLECKMANN, 1997.

**Tabela 2.5 – Valores médios obtidos a partir de análise química com o extrato lixiviado**

Parâmetros	Limites	Resultados
Óleos e graxas	20 mg/L – CONAMA 20/86	15%
Arsênio	5,0 mg/L	4,8 µg/L
Bário	100,0 mg/L	0,40 µg/L
Cádmio	0,5 mg/L	20 µg/L
Cromo total	5,0 mg/L	<0,2 µg/L
Chumbo	5,0 mg/L	<0,5 µg/L
Mercúrio	0,1 mg/L	<1,0 µg/L

Fonte: NEDER, 1998.

O resíduo estudado por Neder (1998) foi classificado como perigoso devido aos valores das concentrações de óleos e graxas encontrados a partir de ensaios com a massa bruta estarem acima do limites pré-estabelecidos pela a norma NBR 10004/87. Neste mesmo estudo, os valores encontrados para as concentrações de metais não ultrapassaram os limites da norma.

### 2.3 - TÉCNICAS UTILIZADAS PARA A APLICAÇÃO DE RESÍDUOS EM ESTRADAS

O homem em busca de seu conforto social e do avanço tecnológico acaba por produzir uma diversidade de produtos que ocasionam rejeitos durante e após o processo produtivo. Esses rejeitos são conhecidos tecnicamente como resíduos e podem ser gerados de diversas formas. As indústrias e agroindústrias durante seu processo de produção geram resíduos que são depositados, em muitos casos, sem nenhum controle e diretamente no meio ambiente. Esses resíduos acabam por contaminar os solos, os mananciais de água e provocar problemas de saúde, (LEIRIAS et al., 2002).

A reciclagem dos resíduos pode ser objeto da ação de profissionais com posições bem diferentes, entre eles podemos destacar:

- o formulador de políticas de gestão ambiental – que deve ser interessado em selecionar quais os resíduos mais importantes, tanto do ponto de vista da quantidade quanto da agressividade ambiental;
- o pesquisador ou o formulador de políticas públicas – que deve buscar dentre os resíduos existentes na sua região, uma alternativa adequada para a produção de um produto específico;
- o gerador de um resíduo específico – que deve buscar alternativas para reciclagem (OLIVEIRA, 2004).

Reciclar qualquer tipo de material, independente do uso que lhe for dado, representa vantagens econômicas, sociais e ambientais, as quais estão abaixo relacionadas.

**Ambientais** – o impacto dos resíduos sobre o meio ambiente é significativo, seja na forma de depósitos irregulares, para os quais a administração pública ou órgãos ambientais têm de estabelecer uma rotina de correção, seja na forma de bota foras, deixando os gestores públicos reféns de soluções de destinação cada vez mais distantes e de elevados custos. Os benefícios com a reciclagem dos resíduos são vários, não só por diminuir a disposição em locais inadequados como também por ser uma solução viável para minimizar a necessidade de extração de matérias primas em jazidas, o que nem sempre é adequadamente fiscalizado.

**Econômicas** – reciclar é uma alternativa que pode gerar custos mais baixos quando comparados com os relacionados ao simples descarte dos resíduos. Após estudos, é possível produzir um material alternativo com características físicas e/ou mecânicas compatíveis às obtidas quando da utilização de materiais convencionais durante o processo produtivo.

**Sociais** – é necessário que mídia, agentes da saúde, Organizações Não Governamentais (ONGs) e população, como um todo, conscientizem-se da importância dos produtos reciclados e ecologicamente corretos. Nos casos dos materiais de construção alternativos, este processo de conscientização deveria ser de iniciativa do próprio setor empresarial.

Do ponto de vista da viabilidade técnica, o novo produto com uso de material reciclado deve satisfazer os ditames das normas vigentes e às solicitações a que estarão submetidos durante sua utilização. Deve ser funcional para o usuário e com tecnologia simples para ser aplicado. A razão primordial para que qualquer produto tenha absoluto sucesso é, sem dúvida, o próprio usuário, não esquecendo as necessidades da indústria da construção civil e, conseqüentemente, dos projetistas (OLIVEIRA, 2004).

De acordo com Lima (2003) no intuito de atender às exigências impostas pelas leis ambientais e movimentos ecológicos existentes em todo mundo referentes ao manejo ambiental e ao gerenciamento de resíduos sólidos decorrentes das atividades industriais, diversos empresários têm procurado adequar-se a estas a fim de evitar manchar a imagem da empresa devido a danos ecológicos.

Algumas empresas procuram diminuir a poluição emanada por efluentes industriais através de técnicas ou processos de despejos. Apesar de esta medida ser eficaz, seu custo é relativamente elevado e tende a aumentar à proporção que as instalações envelhecem.

Ao invés de utilizar procedimentos, é possível encontrar soluções internas para a poluição gerada nos processos de fabricação através da adoção de “*Práticas Limpas*”, definidas como a introdução de um processo menos poluidor ou a recuperação de matéria prima perdida na fabricação, ou ainda a valorização de um resíduo que poderá dar origem a um sub-produto (MARTINS, 1997).

Martins (1997) destaca a importância deste processo do ponto de vista ambiental, já que reduz os níveis de poluição até valores próximos de zero, e do ponto de vista econômico, uma vez que vai diminuir a quantidade de desperdício.

Deste modo através do reaproveitamento de resíduos de origem industrial responsáveis, anteriormente, por danos ambientais e impactos à saúde da população, ao adotar “*Práticas Limpas*” é possível melhorar a qualidade ambiental e ao mesmo tempo reduzir os custos inerentes aos processos de produção.

Em geral são utilizadas várias técnicas ou processos para disposição final e/ou reuso dos resíduos sólidos. Na **Tabela 2.6** estão inseridas os mais comumente adotados.

**Tabela 2.6 – Técnicas ou processos comumente utilizados para disposição e reuso dos resíduos sólidos**

Físicos	Químicos e Bioquímicos	Termo-químicos	Outros
- Injeção em Poços	- Micro Encapsulamento	- Coprocessamento em	- Logística
- Incorporação em Massa	- Fazenda de Lodos (land farm)	Cimenteiras	- Recolhimento
Asfáltica	- Compostagem	- Incorporação em	- Venda
- Incorporação em Massa	- Biopilha	Cerâmica	- Reuso
de Concreto	- Lagoa de Estabilização	- Dessorção Térmica	- Reciclagem
- Disposição em Aterro	- Estação de Tratamento de	Direta	
Controlado, Classe II	Efluentes	- Incineração	
- Disposição em Aterro	- Biolavagem e Bio-remediação	- Plasma	
Sanitário		- Autoclave	
- Utilização em			
Pavimentação			

Como observado na **Tabela 2.6**, uma das alternativas possíveis para a utilização de alguns resíduos provenientes da Exploração e Produção de Petróleo é a de composição, confinados ou “encapsulados”, nas camadas de rodovias. A composição, incorporação ou utilização de resíduos sólidos em pavimentação, em específico, resíduos provenientes da Indústria de Exploração e Produção de Petróleo é realizada segundo três técnicas: a “*Roadspreading*”, a “*Surface Spreading*” e “*Roadbed Incorporation*”.

A técnica de *Roadspreading* consiste no espalhamento do resíduo oleoso das atividades de E & P de Petróleo em leito de estradas, misturado aos materiais argilosos. Neste procedimento, utiliza-se, juntamente ao resíduo, quantidades pré-estabelecidas de água para evitar concentrações inadequadas de resíduos e minimizar o risco da contaminação da água superficial e subterrânea próxima ao local do espalhamento. Esta prática pode está sujeita aos testes que visem assegurar uma mistura similar aos materiais convencionais utilizados na construção de estradas e que o nível do material radioativo, quando houver, não esteja acima dos níveis especificados pela norma vigente (INTERSTATE OIL AND GÁS COMPACT COMMISSION - IOGCC, 1994).

Segundo Fonseca (2003), para aplicar a técnica de *roadspreading* alguns fatores devem ser cuidadosamente observados durante o procedimento de disposição do resíduo, no que diz respeito, as práticas do pessoal, os materiais e os equipamentos utilizados, a estimativa dos custos que resultem bem como a observância da minimização dos impactos ambientais.

Fonseca (2003), de forma sucinta, sugere alguns procedimentos para a técnica de *Roadspreading*, os quais são descritos em duas etapas.

Segundo o autor, a primeira etapa consiste em utilizar a técnica de *Roadspreading* após a preparação de um teste piloto antes de espalhar o material na superfície da estrada. Durante esta fase, é necessário realizar os ensaios de caracterização recomendados pela NBR 10004. Em linhas gerais, esta etapa consiste na dosagem dos materiais, mistura do resíduo com o solo, a qual deve atender os limites pré-estabelecidos pela norma.

Na segunda etapa ocorre a aplicação do material (mistura) na superfície da estrada. Nesta etapa, a superfície da estrada é escarificada, e o resíduo é colocado nas laterais da seção transversal em pilhas para sua aplicação (**Figura 2.1**). Adiciona-se ao resíduo o solo formando uma “canaleta”. Os materiais são misturados com movimentos das laterais para o centro formando uma fileira, onde a mistura é espalhada sobre a superfície da estrada e, finalmente, é realizada a operação de compactação.

Segundo Deuel (2006), é importante que, de acordo com os tipos de utilização e as exigências restritivas da execução dos serviços, os resíduos devam ser analisados segundo os aspectos de: corrosividade, umidade, reatividade, óleos e graxas, hidrocarbonetos totais de petróleo, cloretos, salinidade, metais totais, e metais em Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP).

A técnica de “*Surface Spreading*” consiste no espalhamento direto do resíduo na superfície da estrada, e a técnica “*Roadbed Incorporation*”, o resíduo é misturado às argilas, em uma proporção mínima de 1:2, isto é, uma parte de resíduo para duas de material não contaminado.

Na região norte do Estado do Espírito Santo, vem sendo aplicado o resíduo oleoso proveniente das atividades de E & P de Petróleo, misturado à argila, em estradas com o auxílio da técnica de *Roadspreading*. Esta atividade vem sendo realizada nos últimos sete anos, em áreas próximas às atividades da Petrobras S/A na região.



**Figura 2.1 – Mistura de material com resíduo oleoso. Fonte: Faé et al. (2002)**

As estradas que recebem a mistura com o resíduo oleoso, como camada do pavimento existente, são aquelas onde ocorre o tráfego de caminhões que escoam o óleo produzido na refinaria da Petrobrás (FONSECA, 2003).

No Estado da Pennsylvania nos Estados Unidos da América (EUA) são produzidos anualmente 1,7 milhões de barris de salmoura de óleo de petróleo. Esta salmoura era aplicada em pavimentos de estradas secundárias para supressão de pó e estabilização de camadas. A fim de minimizar impactos ambientais, como a contaminação das águas através da lixiviação do solo, o Departamento Ambiental da Pennsylvania (Environmental Department of Pennsylvania - EDP) desenvolveu normas de geração, transporte, aplicação do resíduo, bem como normas de administração das estradas nas quais foram utilizadas este resíduo.

O EDP monitorou, durante três anos, sete estradas onde havia utilizado o resíduo e concluiu que, embora estas apresentassem um potencial para a salmoura migrar para o lençol freático, este era minimizado quando eram adotadas e obedecidas as normas vigentes. Os profissionais do EDP concluíram que, a técnica, além de economicamente viável, traria benefícios ambientais.

Segundo Deuel (2006) existem algumas vantagens e limitações quanto da utilização da técnica de *Roadspreading*, entre as quais podem ser citados:

**Vantagens:** opção de uso de material reciclado, solução para os despejos com elevados índices de Total de Hidrocarbonetos de Petróleo (THP), amenizando a biodegradação, efetivando a relocação deste tipo de resíduo e diminuindo os custos de disposição final.

**Limitações:** possíveis problemas com ponto de inflamação, salinidade e índice de metais. Além disso, os resíduos oleosos necessitam do uso de material de preenchimento (fíler) e agregados, o resíduo gerado pode não ser segregado, o que dificulta a sua caracterização.

Na **Tabela 2.7** estão inseridos alguns valores recomendados do GLC (Guidelines for Limits Constituints), incluídos como ponto de partida para os componentes da mistura a ser utilizada com o uso da técnica *Roadspreading* (DEUEL, 1998).

**Tabela 2.7 – Valores limites de GLC e de Leachate para a técnica Roadspreading e estabilização química/solidificação**

Parâmetro	Limites GLC	Limites Leachate
PH, s.u.	6-10	6-12
Cloretos, mg/litro	-	< 500
SAR, s.u.	-	NA
EC, mmhos/cm	< 12	-
ESP, %	NA *	-
Metais Pesados (Total)	mg/kg	mg/litro
Arsênio (As)	40	< 0,5
Bário (Ba)	40.000	< 10,0
Cádmio (Cd)	10	< 0,1
Cromo (Cr)	500	< 0,5
Cobre (Cu)	750	-
Chumbo, (Pb)	300	< 0,5
Mercúrio (Hg)	10	< 0,02
Prata (Ag)	-	< 0,5
Níquel (Ni)	210	-
Selênio (Se)	10	< 0,1
Zinco (Zn)	500	< 5,0
Orgânicos	-	-
TPH	NA	< 10,0
Ponto de inflamação, °C	< 60	-
Resistência à compressão confinada, kPa	-	> 200
Permeabilidade, cm/sec	-	< 1x10 <sup>-6</sup>

Fonte: DEUEL, 1998. \*NA, refere-se à não aplicável.

## 2.4 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), segundo diretrizes da NBR 10004/2004 define resíduos sólidos como sendo: “Resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam das atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”.

Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviável em face de uma melhor tecnologia disponível.

Em 1997 a ABNT elaborou uma coletânea de normas para padronizar a classificação de resíduos, as quais foram atualizadas em 2004. No **Quadro 2.5** estão listadas a identificação, a denominação e o objetivo de cada uma das normas que fazem parte dessa coletânea.

**Quadro 2.5 – Normas para classificação de resíduo**

<b>Norma</b>	<b>Denominação</b>	<b>Objetivo</b>
NBR 10004	Resíduos sólidos - Classificação.	Classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, para que possam ser gerenciados de forma adequada.
NBR 10005	Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.	Fixar os requisitos exigíveis, para obtenção do extrato lixiviado dos resíduos sólidos, tendo em vista a sua classificação.
NBR 10006	Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.	Fixar os requisitos exigíveis para obtenção de extrato solubilizado dos resíduos sólidos visando diferenciá-los entre não inertes e inertes.
NBR 10007	Amostragem de resíduos sólidos.	Fixar os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos.

Fonte: ABNT, 2004.

De acordo com a NBR 10004/2004 os resíduos são classificados como: Resíduo Classe I – Perigosos e Resíduo Classe II – Não Perigosos.

Resíduo Classe I – Perigosos

Segundo NBR 10004/2004 os Resíduos Classe I – denominados como perigosos são aqueles que em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podem apresentar:

- a) risco a saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.

O **Quadro 2.6** apresenta alguns dos aspectos que, segundo a NBR 10004/2004 conferem periculosidade ao resíduo.

**Quadro 2.6 – Aspectos que conferem a periculosidade aos resíduos sólidos**

<b>Aspecto</b>	<b>Características</b>
Inflamabilidade	Ser líquida e ter ponto de fulgor inferior a 60°C. Não ser líquida e ser capaz de, sob condições de temperatura e pressão de 25°C e 0,1 MPa, produzir fogo por fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas e, quando inflamada, queimar vigorosamente e persistentemente, dificultando a extinção do fogo. Ser um oxidante definido como substância que pode liberar oxigênio e, como resultado, estimular a combustão e aumentar a intensidade do fogo em outro material. Ser um gás comprimido inflamável, conforme a Legislação Federal sobre transporte de produtos perigosos.
Corrosividade	Ser aquosa e apresenta pH inferior ou igual a 2, ou, superior ou igual a 12,5, ou sua mistura com água, na proporção de 1:1 em peso, produzir uma solução que apresente pH inferior a 2 ou superior ou igual a 12,5. Ser líquida ou, quando misturada em peso equivalente de água, produzir um líquido e corroer o aço a uma razão maior que 6,35 mm ao ano, a uma temperatura de 55 °C, de acordo com USEPA SW 846 ou equivalente.
Reatividade	Ser normalmente instável e reagir de forma violenta e imediata, sem detonar. Reagir violentamente com água. Formar misturas potencialmente explosivas com a água. Ser capaz de produzir, prontamente, reação ou decomposição detonante ou explosiva a 25°C e 0,1 MPa.
Toxicidade	Quando o extrato obtido dessa amostra, segundo a ABNT NBR 10005, contiver qualquer um dos contaminantes em concentrações superiores aos valores constantes do anexo F. Possuir uma ou mais substâncias constantes no anexo C e apresentar toxicidade. Ser constituída por restos de embalagens contaminadas com substâncias constantes nos anexos D ou E.
Patogenicidade	Conter microorganismos ou se suas toxinas forem capazes de produzir doenças.

Fonte: NBR 10004, 2004.

#### Resíduo Classe II – Não Perigosos

Segundo NBR 10004/2004 os Resíduos Classe II - denominados como não Perigosos podem ser: Resíduo classe II A – Não Inerte e Resíduo classe II B - Inerte.

Resíduo classe II A - Não Inerte - são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos da Classe I – Perigosos ou daqueles que não fazem parte dos resíduos Classe II B - Inertes. Podem ter propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduo classe II B – Inerte – são aqueles que quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007/2004 e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006/2004 não obtiverem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme Anexo G da NBR 10004/2004.



## 2.5 - MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Segundo a resolução do CONAMA (01/86), o impacto ambiental pode ser definido como sendo qualquer alteração das características físicas, químicas e/ou naturais do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas, que direta ou indiretamente afetam:

- a saúde, segurança e o bem estar;
- as atividades sociais e econômicas;
- o conjunto de plantas e animais de uma determinada área;
- as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- e a qualidade dos recursos naturais.

Desta forma, todo e qualquer efeito que degrada o meio ambiente, decorrente ou não de um processo industrial deve ser considerado, bem como quaisquer alterações que esse processo possa causar ao meio ambiente, incluindo efeitos sobre a saúde, condições sócio-econômicas, patrimoniais, culturais ou físicos.

Com o advento da Revolução Industrial, a capacidade humana de intervir na natureza deu um salto gigantesco e continua a aumentar sem cessar, causando grandes danos ao meio ambiente. Entretanto, o constante desenvolvimento de tecnologias oferece aos homens alguns meios para controlar e/ou minimizar esses danos. Mas, mesmo que todas as atividades produtivas humanas respeitassem princípios ecológicos básicos, sua expansão não pode ultrapassar os limites ambientais globais que definem a “capacidade de suporte” da Terra, sem que ocorram grandes catástrofes ambientais. Como não é conhecida a capacidade de suporte, e é muito difícil estimá-la com precisão, é necessário que seja adotada uma postura preventiva a qual implica em agir sem esperar que ocorra o desastre ambiental propriamente dito. Com isso, o impacto ambiental gerado com a intervenção do homem na natureza provavelmente causará menos danos (LIMA, 2005).

O desenvolvimento harmônico e sustentável é aquele em que se busca, necessariamente, respeitar o meio ambiente, a partir do uso equilibrado dos recursos naturais – com a necessária economia daqueles não renováveis – propiciando o desenvolvimento de tecnologias que permitam reciclar, cada vez mais, os materiais utilizados na produção de bens de consumo (CHIAVERINI, 1994).

O desenvolvimento sustentável implica em uma redução no uso de matérias primas naturais, como também uma mudança em direção nos padrões de consumo que não impliquem o crescimento contínuo e ilimitado do uso de recursos naturais per capita. O fechamento do ciclo produtivo, gerando novos produtos, a

partir da reciclagem de resíduos, é uma alternativa. Para tanto, a inovação tecnológica para reciclagens eficientes e seguras, que resultem em produtos com qualidades técnicas adequadas e que sejam competitivos nos diferentes mercados é um constante desafio, inclusive do ponto de vista metodológico (CAVALCANTE E CHERIAF, 1996).

Segundo Medeiros (2002), o Brasil foi pioneiro em incluir na Constituição Federal que o meio ambiente ecologicamente equilibrado é um direito inalienável do cidadão, atribuindo-se ao Poder Público o dever de defendê-lo e de preservá-lo para as gerações presentes e futuras. De acordo com a Legislação Ambiental, as empresas geradoras de resíduos são responsáveis pelos mesmos indefinidamente, ainda que o resíduo seja transportado de local, tenha mudado de proprietário, de depositário, ou mudado de forma, mantendo suas características nocivas.

Além das necessidades de obedecer às leis, percebe-se, em nível mundial, uma maior adesão do número de empresas a uma gestão ambiental mais fortalecida, justificada também pela importância da implementação de programas de qualidade (por exemplo, as normas ISO), que se torna um diferencial de mercado, pois cada vez mais as empresas “limpas” são melhores aceitas pelos consumidores (BEZERRA, 2002).

## 2.6 - ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA E SOLIDIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Com a elevação dos chamados impactos ambientais, criar soluções para o controle da poluição industrial tem-se tornado uma constante para os pesquisadores e especialistas de diversas áreas. Bom exemplo é a técnica de encapsular resíduos inorgânicos. O encapsulamento, que pode ser obtido com auxílio de técnicas de estabilização química e solidificação, é um estágio de pré-tratamento pelo quais os constituintes perigosos de um resíduo são transformados e mantidos em suas formas menos solúveis ou tóxicas confinados em cápsulas, partículas ou blocos. As transformações ocorrem via reações químicas que fixam elementos, ou compostos tóxicos, em polímeros impermeáveis ou cristais estáveis, chamados encapsulantes. Assim estabilizados, ficam menos agressivos ao meio ambiente.

De uma forma simplificada, adotam-se neste trabalho as seguintes definições para a estabilização química e a solidificação:

**Estabilização química:** é um processo que envolve reações químicas que reduzem a capacidade de lixiviação dos contaminantes. As reações químicas ocorrem entre os agentes químicos e os constituintes perigosos de um resíduo onde são obtidas formas menos solúveis ou menos tóxicas.

**Solidificação:** é um processo que envolve a adição de material, que gera uma massa sólida do resíduo tratado, melhorando sua integridade estrutural e suas características físicas. A solidificação encapsula o contaminante formando um composto sólido, restringindo sua migração.

Os compostos encapsulados são analisados química e fisicamente e compreendem em análises químicas do extrato lixiviado e análises físicas com auxílios de ensaios de resistência à compressão confinada e não-confinada, durabilidade e permeabilidade.

O domínio das técnicas de estabilização dos solos pode conduzir a sensíveis reduções nos tempos de execução de obras, viabilizando para o setor industrial um processo construtivo e, conseqüentemente, propiciando uma economia substancial para o empreendimento (TRINDADE, 2005).

Essas técnicas partem de princípios físicos (encapsulamento) e químicos. Os reagentes para geração e estabilização podem ser: *orgânicos* (não muito empregados) ou *inorgânicos* (amplamente empregados tais como: cimento, cinza volante, cal e etc.).

Segundo Wiles (1997), a tecnologia de encapsulamento (estabilização química/solidificação/) é um tratamento que visa:

- melhorar as características físicas e de manuseio de um resíduo;
- diminuir a superfície de exposição, através da qual possa ocorrer perda ou transferência de contaminantes;
- limitar a solubilidade de qualquer constituinte presente no resíduo;
- minimizar a taxa de migração de contaminantes para o meio ambiente.

Esta técnica tem, de uma maneira geral, a vantagem de transformar o solo contaminado em um material com propriedades de resistência mecânica melhor. Quanto as suas limitações, podem-se citar: aumento do volume do material final e custo com os aditivos.

O tratamento de solos com o auxílio do encapsulamento em obras de terraplenagens tem dois objetivos: melhorar os solos muito úmidos, quer se tratem de solos "in situ" quer de solos a serem reutilizados; e realizar camadas de solo suficientemente rígidas e estáveis às variações hídricas, capazes de permitir o tráfego de obra e suportar a construção das camadas superiores .

No primeiro caso pretende-se uma rápida alteração no comportamento do solo de modo a possibilitar a circulação de equipamentos de obra e a execução de terraplenagens, não visando, contudo uma significativa melhoria das características mecânicas. Esta melhoria constitui sim o segundo objetivo referido, no que pode ser considerado uma transformação do solo original num material nobre através da alteração permanente das suas propriedades (CRISTELO, 2001).

Durante a execução das atividades dos processos de estabilização química e solidificação é de extrema importância que se adotem medidas seguras na operação de manuseio de resíduos, principalmente os classificados como Perigosos, evitando a mistura de materiais que possam reagir entre si de forma danosa. As características físicas e químicas do resíduo podem afetar a qualidade final do produto resultante (FONSECA, 2003).

Segundo a EPA, temos os resíduos classificados como Perigosos considerados tradicionalmente adequados para o tratamento por encapsulamento:

- os resíduos contendo íons metálicos ou semi-metais;
- os resíduos oleosos a base de solventes, tais como fundos de tanques de destilação e resíduos de refinaria;
- os resíduos aquosos contendo grandes quantidades, 1% a 20% ou mais de substâncias orgânicas, solúveis ou insolúveis, listadas como perigosos pela legislação;
- os resíduos aquosos contendo grandes quantidades, 1% a 20% ou mais de substâncias orgânicas, solúveis ou insolúveis, não listadas como perigosos pela legislação, a não ser pelas suas características de ignitabilidade;
- os resíduos aquosos contendo baixos teores de poluentes orgânicos listados como perigosos.

Por fim, não menos importante do que todas as restrições e cuidados citados anteriormente, é o fato do conhecimento adequado da fonte geradora do resíduo a ser utilizado. Convém saber, em primeiro lugar, se o resíduo foi segregado ou não, ou seja, se o resíduo permaneceu inalterado desde a sua origem (segregado) ou se foi adicionado algum material ao resíduo original (não segregado). Este procedimento irá interferir, de forma positiva, nas análises subseqüentes e mais detalhadas do resíduo que virão na fase experimental de caracterização física e química.

## 2.7 - ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS PARA USO EM ESTRADAS

Os solos são largamente empregados nas mais diversas construções da Engenharia Civil. Em algumas regiões e dependendo da aplicação os solos não podem ser empregados no mesmo estado em que são encontrados nas jazidas. Por outro lado, algumas vezes estes solos não satisfazem a determinadas especificações de obras fazendo-se necessário recorrer à prática da estabilização. Para tanto se usam como aditivos os seguintes materiais convencionais: asfalto, o cimento e mais comumente a cal, (VILLARIM, 1995).

Estabilizar um solo é utilizar um processo qualquer de natureza física, química e mecânica, de forma a tornar esse solo estável e fazer com que esta propriedade permaneça sob a ação das cargas exteriores e a ação das intempéries. Do ponto de vista dos pavimentos de rodovias ou de aeroportos, denomina-se estabilização dos solos aos métodos de construção nos quais os mesmos são tratados sem aditivos ou com eles, de modo que se tenham os subleitos, as sub-bases, as bases, e ocasionalmente os revestimentos, capazes de suportar as cargas do tráfego normalmente aplicadas sobre o pavimento durante a sua vida útil, sem deslocamentos apreciáveis, resistindo ao desgaste e às intempéries sem desagregação, (BAPTISTA, 1976).

A estabilização de um solo envolve: as propriedades de resistência mecânica do mesmo e da suplementação necessária desta resistência para um determinado uso, em termos físicos, químicos, e mecânicos; a escolha de um método em bases econômicas e práticas, para o estudo dos materiais necessários à suplementação desejada; a construção, que consiste normalmente em pulverização, na mistura dos materiais, na compactação e nas considerações de ordem econômica com relação ao custo de cada material.

A melhoria proporcionada ao solo pelo processo de estabilização dependerá não só do material agregador, mas também do tipo de solo e das condições climáticas. Dentre as modificações conferidas a mistura com a estabilização, se destacam:

- o aumento da resistência e geralmente o aumento da capacidade de suporte;
- a melhoria no grau de compactação;
- a redução dos índices de plasticidade com melhor trabalhabilidade;
- a redução da expansão e aumento do limite de contração;
- o aumento na durabilidade e diminuição da permeabilidade.

A mistura de um solo, com um ou mais, e que apresenta uma distribuição dos tamanhos dos grãos apropriada, com índices geotécnicos específicos, fixados em normas, consiste na estabilização mecânica. Esse procedimento constitui em um processo construtivo, capaz de fornecer a mistura de solos, suficiente resistência mecânica.

. Segundo Leite (2005) a estabilização de um solo significa conferir-lhe a capacidade de resistir e de suportar as cargas e os esforços induzidos pelo tráfego normalmente aplicados sobre o pavimento e também às ações erosivas de agentes naturais sob as condições mais adversas de solicitação consideradas no projeto.

Segundo Pereira et al. (2006), partindo do pressuposto de que se pode fazer uma escolha adequada das técnicas de estabilização química de solos para fins rodoviários, diversos estabilizantes podem ser encontrados no mercado, podendo-se referir a produtos tradicionais, como cal, cimento e CAP, passando por outros produtos comerciais, como Dynacal e RBl Grade 81 (Estabilizantes orgânicos e inorgânicos respectivamente), e finalizando com material alternativo, como subprodutos ou resíduos industriais.

Em geral a cal reage com um solo com distribuição dos tamanhos dos grãos de média a fina produzindo reduções na sua plasticidade e expansão, e aumento na sua trabalhabilidade e resistência ao cisalhamento (LIMA et al., 1993). Dentre os solos mais reativos à ação da cal estão as argilas, argilas siltosas, cascalhos argilosos, solos classificados pela AASHTO como A-5, A-6 e A-7 e solos classificados pelo sistema unificado como CH, CL, MH, ML, SC, SM, GC e GM (LIMA, 1981). Quando a cal é misturada ao solo ocorrem várias reações químicas simultaneamente. As reações geralmente identificadas são: troca catiônica, floculação, carbonatação e reações de sedimentação (HERRIN e MITCHEL, 1961).

Os resultados da estabilização variam dependendo da natureza dos minerais de argila e são melhores sob alta concentração de silicatos de alumínio, sílica e hidróxido de ferro. O cálcio, principal componente da cal, ataca quimicamente parte das argilas e até mesmo o próprio quartzo, resultando na formação de silicatos e aluminatos hidratados de cálcio, de notável capacidade cimentante pozolânica (GUIMARÃES, 1992).

Angelin (2005) estudou o comportamento dos solos estabilizados com a cal hidratada e os fatores intervenientes no processo de estabilização, para fins de pavimentação rodoviária, utilizando para tal a cal nos teores de 3% e 6%. Foram testados dois procedimentos para a mistura de cal ao solo (fino laterítico), um adicionando-se a cal em pó (método convencional) e outro adicionando-se a cal diluída na água de compactação (método proposto). A partir dos resultados, constatou-se que a mistura da cal ao solo diluída na água de compactação foi mais satisfatória que a forma convencional de mistura.

Jatali (2004) estudou os efeitos positivos da utilização de cal na estabilização de solos cujo mineral argiloso predominante é a caulinita, como no caso dos solos residuais graníticos. Os efeitos estudados estão relacionados com a alteração da classificação e com o aumento da capacidade de carga. Foram estudadas as

modificações na granulometria e plasticidade de dois solos, com diferentes percentagens de argila, quando lhes foi adicionada 6% e 10% de cal. Os resultados obtidos comprovam que as propriedades do solo podem também ser melhoradas através de aditivos químicos, com evidentes vantagens em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários.

Solos argilosos e siltosos estabilizados quimicamente com a cal entre os teores de 4% e 6% de peso em relação ao peso de solo seco têm seus valores de suporte melhorados (BAPTISTA, 1976).

No mecanismo das reações envolvidas entre a cal e os constituintes do solo, as primeiras reações são as de floculação/aglomeração, seguidas das trocas iônicas entre as argilas e a cal. Tais reações resultam na alteração de suas propriedades geotécnicas, tais como: diminuição do limite de liquidez e do índice de plasticidade; achatamento das curvas de compactação com aumento do teor de umidade ótima e diminuição da massa específica aparente seca máxima; e no aumento da resistência, durabilidade e estabilidade volumétrica.

Posteriormente, ocorre a formação de compostos químicos sílico-aluminosos pelo ataque da cal aos minerais argilosos e ao quartzo. Simultaneamente ocorrem os fenômenos de carbonatação, com o ataque do anidrido carbônico, presente no ar e na água de infiltração, aos hidróxidos da cal (GUIMARÃES, 2002).

No caso específico dos solos argilosos, a adição de cal provoca reações de troca iônica, mudanças das estruturas cristalinas, recarbonatações e, sobretudo, a formação de novos minerais capazes de cimentar as partículas e/ou preencher os espaços intercristalinos (GUIMARÃES, 1985).

De imediato, a cal hidratada provoca elevação da alcalinidade do solo, tornando instável alguns dos seus constituintes, permitindo um possível ataque ao silício e ao alumínio presente nos minerais do solo e a recombinação desses íons com o cálcio, formando compostos estáveis, tais como silicatos e aluminatos hidratados de cálcio. Nessas condições, uma nova estrutura cristalina aparece, com a ocupação dos espaços vazios existentes entre os agregados, dando sustentação à micro-estrutura da mistura solo-cal compactada.

A estabilização da mistura solo-cal é realizada com hidróxido de cálcio ou óxido de cálcio. A estabilização depende do ataque químico pela cal nos argilominerais do solo para formar compostos cimentícios.

Quando se adiciona cal a um solo argiloso em presença de água, diversos tipos de reações químicas ocorrem. Algumas dessas reações acontecem rapidamente, enquanto outras acontecem gradualmente, sendo afetadas pelo tempo e pela temperatura. Segundo Boyton (1970), 10% dos minerais argilosos precisam estar presentes no solo para que a sua reação com a água e cal seja efetiva. Algumas dessas reações já foram detectadas e analisadas anteriormente, sendo geralmente aceitas, como mais importantes, os três tipos de reações:

- a permuta iônica e floculação;
- a ação de cimentação (também chamada de reação pozolânica);
- e a ação de carbonatação.

A permuta iônica e a floculação constituem as primeiras reações desenvolvidas após a mistura de solo e cal. A floculação, consequência da permuta iônica consiste na aglomeração das partículas finas do solo em flocos estáveis. Trata-se, assim, da principal responsável pelas alterações geotécnicas do solo, verificadas logo após a adição da cal: distribuição dos tamanhos dos grãos, compactação, plasticidade, trabalhabilidade e resistência mecânica imediata.

A cimentação é a principal responsável pela ação, em longo prazo, da cal na estabilização do solo. As reações pozolânicas originam a formação de silicato hidratado de cálcio e/ou aluminato de cálcio através de reações entre a cal, a sílica e a alumina livres nas partículas de argilas. A interação entre a cal e a argila conduz à dissolução da sílica e da alumina das partículas do solo no ambiente de elevado pH originado pelas moléculas de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Os materiais dissolvidos combinam-se com os íons de cálcio formando vários tipos de agentes cimentícios, que vão interligar as partículas argilosas. Estes materiais constituem a maior contribuição para o incremento da resistência verificada nas misturas entre o solo e a cal.

A reação de carbonatação consiste na reação entre a cal e o dióxido de carbono, presente na atmosfera, formando materiais cimentícios relativamente fracos, tais como o cálcio ou o carbonato de magnésio. O carbonato de cálcio constitui um cimento fraco que prejudica o normal desenvolvimento das reações pozolânicas, impedindo que atinjam resistências mecânicas mais elevadas. Além disso, o carbonato de cálcio é uma substância com elevada plasticidade, o que conseqüentemente aumenta a plasticidade do solo e faz com que as partículas de cal floculem dificultando assim, a sua reação com as partículas argilosas. Esses nódulos de cal carbonatados constituem elementos fracos na mistura solo-cal.

A adição da cal nos solos, em especial aos solos argilosos provoca variações em muitas de suas propriedades mecânicas e de engenharia, como segue:

#### *Modificação dos tamanhos dos grãos*

Quando a cal é adicionada a um solo com granulação fina a primeira mudança física que se dá é a aglomeração ou floculação das partículas de argila, o que produz um solo mais graúdo. A aglomeração das partículas é devido a diversos fatores, sendo o mais importante o tipo de solo. Além disso a aglomeração pode ser influenciada pela quantidade de cal, tempo de cura inicial e, possivelmente, tipo de cal.



### *Plasticidade*

A cal na maioria dos casos tem um efeito instantâneo na plasticidade das argilas. Este efeito reduz a plasticidade, diminuindo o limite de liquidez e aumentando a trabalhabilidade.

### *Resistência*

É verificado um aumento substancial da resistência mecânica do solo argiloso quando tratado com cal. A resistência mecânica do solo tratado com cal irá normalmente aumentar com a idade. Pode ser enfatizado que a resistência mecânica das misturas de solo-cal depende de muitos fatores, que sofrem mudanças significativas, tais como: tipo de solo, tipo de cal, e tipo de cura, incluindo tempo e temperatura. A resistência da mistura solo-cal pode ser determinada por vários ensaios, tais como: Compressão Simples, Califórnia Bearing Ratio - CBR, Triaxial, etc.

### *Compressibilidade*

Segundo Broms e Boman (1979), a adição de cal afeta a compressibilidade dos solos moles a qual diminui bruscamente, tornando-se, portanto, mais estável o solo tratado com cal.

### *Compactação*

Verifica-se uma redução da massa específica aparente seca máxima com o incremento da adição da cal. Este fato é atribuído à agregação e floculação das partículas, o que aumenta o número de vazios, e, como consequência, o peso por volume é reduzido. O teor de umidade ótimo tem seu valor aumentado devido ao incremento do número de vazios do solo que retêm mais água.

### *Contração e expansão linear*

A contração e a expansão linear diminuem bruscamente com o acréscimo de cal ao solo. Com isso, o solo tratado com cal torna-se mais estável.

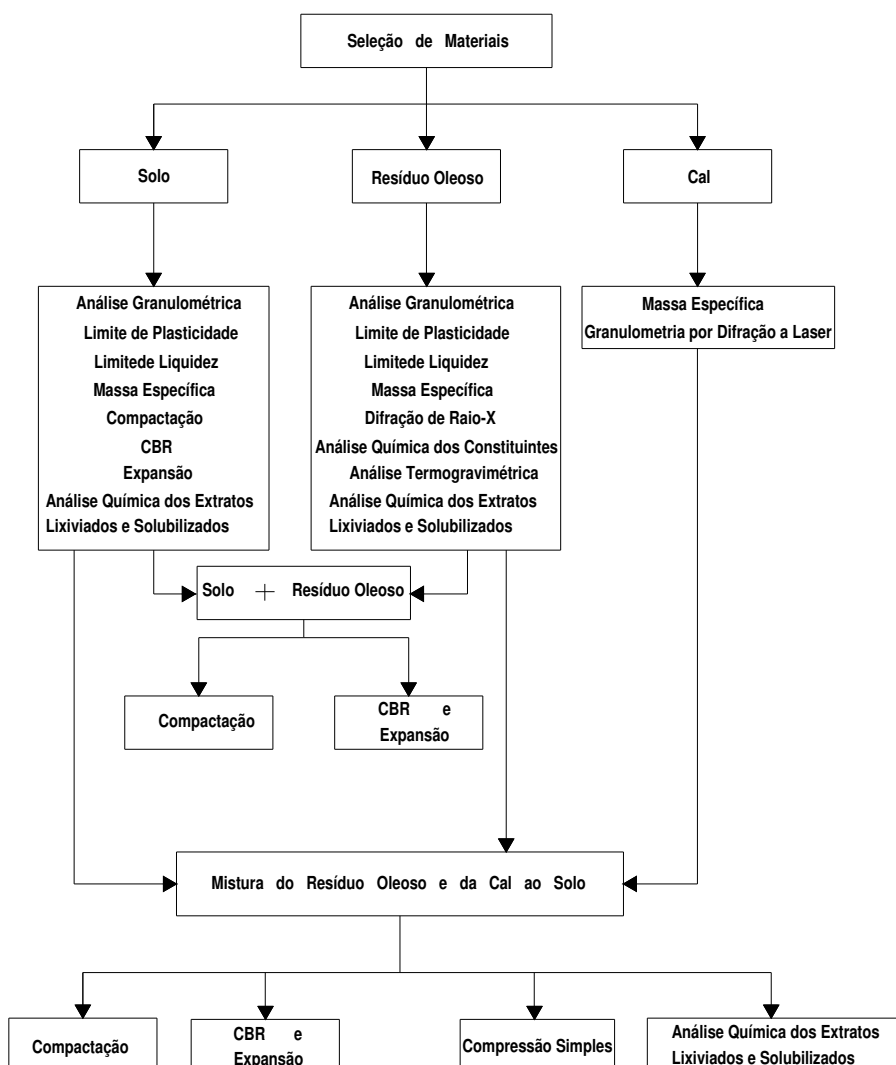
### *Permeabilidade*

Verifica-se aumento do coeficiente de permeabilidade da mistura solo-cal para solos coesivos e reativos. Este aumento é devido à imediata floculação do solo ao ser adicionada à cal.

## CAPÍTULO 3

## 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é descrito o programa experimental desenvolvido durante a pesquisa, onde são apresentados os aspectos referentes aos materiais selecionados e aos métodos e especificações empregados para a realização dos ensaios. No **Fluxograma 3.1** está inserida a seqüência de atividades e dos ensaios realizados durante a fase experimental da pesquisa.



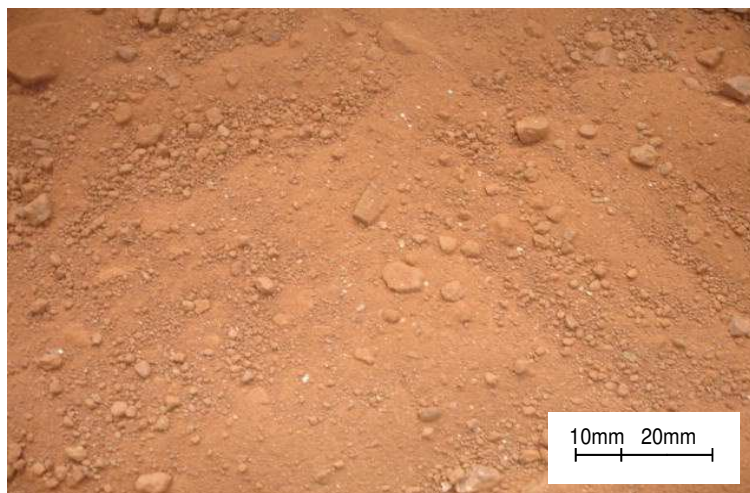
**Fluxograma 3.1 – Seqüência de atividades e dos ensaios realizados durante a fase experimental da pesquisa**

### 3.1 - MATERIAIS

Os materiais utilizados na pesquisa constituíram de Solo Argiloso, Resíduo Oleoso de Petróleo e Cal. A seguir, serão descritos sucintamente os materiais, a origem e os critérios de escolha de cada um.

#### 3.1.1 - Solo

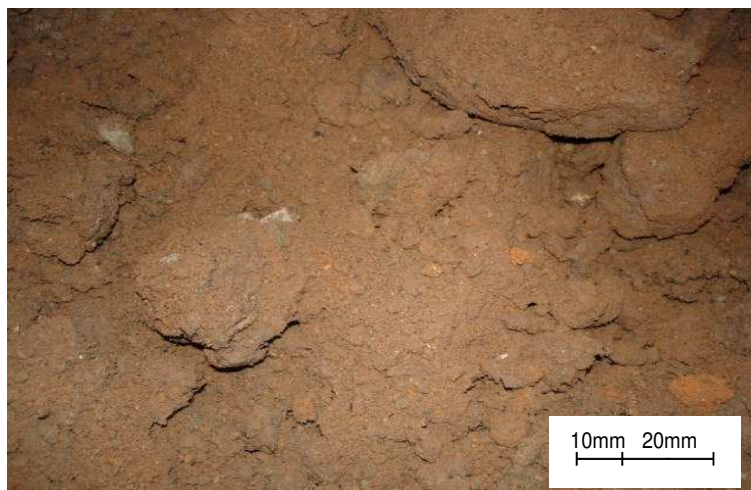
Foi utilizado um solo do tipo argiloso proveniente do Município de Massaranduba, Estado da Paraíba, Brasil distando 102,5 km da capital João Pessoa. As amostras de solo foram coletadas à profundidade de 1,0 m, como forma de evitar a camada superficial, geralmente com presença de matéria orgânica e alteração da quantidade de partículas finas por lixiviação. Procurou-se trabalhar com um tipo de solo que atendessem as condições para uma boa estabilização química com o uso da cal e que fosse predominantemente argiloso (Figura 3.1).



**Figura 3.1 – Solo utilizado nos experimentos**

#### 3.1.2 - Resíduo Oleoso de Petróleo

O resíduo oleoso utilizado na pesquisa foi fornecido pela Petrobras S/A, oriundo das atividades de Exploração & Produção de Petróleo na Refinaria do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. Trata-se de um material não segregado, proveniente de vários setores da cadeia produtiva da respectiva indústria, tais como: desenvolvimento de poços, produção, manutenção, derrames, limpezas em geral, etc (Figura 3.2).



**Figura 3.2 – Resíduo Oleoso de Petróleo utilizado na pesquisa**

### **3.1.3 - Cal**

A cal utilizada na pesquisa foi a hidratada com massa específica de 2,480 g/cm<sup>3</sup>. Optou-se pela utilização da cal como estabilizante químico devido aos excelentes resultados obtidos por diversos autores na estabilização de solos argilosos.

## **3.2 - MÉTODOS**

O procedimento escolhido para realização da fase experimental da pesquisa foi empírico e com adoção de um suporte teórico, baseado na revisão da literatura e na escolha dos métodos de ensaios que foram posteriormente utilizados para alcançar os resultados delineados no objetivo do trabalho.

A seguir serão relatados os aspectos, considerados importantes, sobre materiais e métodos dos ensaios realizados em laboratório e que serviram de subsídios para a metodologia proposta. As atividades relacionadas a esta fase foram divididas em quatro etapas:

Etapa 01 – Caracterização das propriedades físicas dos materiais;

Etapa 02 – Caracterização das propriedades mecânicas das misturas dos materiais;

Etapa 03 – Caracterização das propriedades químicas do solo, do resíduo oleoso e da mistura solo-resíduo-cal;

Etapa 04 – Estudo estatístico sobre os resultados obtidos.

A seguir, serão descritas em detalhes todas as etapas referidas.

### 3.2.1 - Caracterização das propriedades físicas dos materiais

Nesta etapa, as amostras do solo foram secas ao ar, destorroadas e acondicionadas em recipientes plásticos até o momento de serem utilizadas. A preparação das amostras de solo para os ensaios de caracterização física foi realizada de acordo a NBR 6457 (ABNT, 1986).

Na **Tabela 3.1** estão inseridas as normas adotadas para a realização dos ensaios de caracterização física das amostras de solo.

**Tabela 3.1 - Normas utilizadas para caracterização física das amostras de solo**

Ensaio	Método
Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação	ANBT-NBR 7181/84
Determinação da massa específica dos sólidos do solo	ANBT-NBR 6508/84
Determinação do limite de plasticidade	ANBT-NBR 7180/84
Determinação do limite de liquidez	ANBT-NBR 6459/84

O resíduo oleoso fornecido pela Petrobras S/A foi acondicionado em tambor apropriado até o momento de sua utilização. Foram retiradas amostras individuais do resíduo, obtidas em pontos de diferentes profundidades, com o objetivo de obter-se uma mistura a mais homogênea possível.

Na **Tabela 3.2** estão inseridas as normas adotadas para a realização dos ensaios de caracterização física das amostras do resíduo oleoso.

**Tabela 3.2 - Normas utilizadas para caracterização física das amostras de resíduo oleoso**

Ensaio	Método
Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação	ANBT-NBR 7181/84
Determinação da massa específica dos sólidos do solo	ANBT-NBR 6508/84
Determinação do limite de plasticidade	ANBT-NBR 7180/84
Determinação do limite de liquidez	ANBT-NBR 6459/84

A distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso também foi obtida com o aparelho analisador de partículas por difração a laser, "granulômetro", marca cilas 1064 LD, com faixa analítica de 0,04 a 500 microns e emissores de laser secundários para uma melhor precisão na faixa do sub-mícron. Para uma completa caracterização do resíduo, foram realizados: os ensaios de Termogravimetria (TG) através do aparelho Termogravimétrico da EP Engenharia e Difração de Raios – X através do aparelho XRD 6000 marca Shimadzn. Na **Figura 3.3**, na **Figura 3.4** e na **Figura 3.5** estão apresentados os equipamentos utilizados para realização dos ensaios supracitados.



**Figura 3.3 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de difração a laser**



**Figura 3.4 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de termogravimetria**



**Figura 3.5 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de difração de raios-x**

A termogravimetria (TG) foi utilizada para a estimativa das faixas de temperaturas onde ocorrem perdas de massas.

O ensaio de difração de raios-x foi utilizado para estimativa da composição mineralógica do resíduo oleoso.

A caracterização física da cal foi realizada através dos ensaios de granulometria por difração a laser e massa específica.

### 3.2.2 - Caracterização das propriedades mecânicas das misturas dos materiais

#### *Experimento Piloto*

Com o intuito de verificar a influência do resíduo oleoso sobre o comportamento mecânico do solo, inicialmente, foram feitas adições de resíduo ao solo nas proporções de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% (em relação ao peso total da amostra). Após estas adições, foram realizados ensaios de CBR.

#### *Critério de escolha do aglomerante*

O aglomerante escolhido foi à cal devido a sua eficácia na estabilização de solos argilosos. Com a adoção do percentual de 25% para a incorporação do resíduo oleoso na mistura, baseado em resultados obtidos no *Experimento Piloto*, optou-se em adicionar este aglomerante à mistura, nos teores de 3%, 4,5%, 6,0%, 7,5% e 9,0%. O critério adotado para esta incorporação foi baseado em sugestões de estudos realizados por outros autores.

#### *Ensaio de Compactação*

Os ensaios de compactação foram realizados, segundo Método de Ensaio (ME 162/94) normatizados pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT), em duas etapas:

- Primeira etapa

Nesta etapa os ensaios de compactação foram realizados apenas com amostras de solo, na energia Proctor intermediário (**Figura 3.6**);

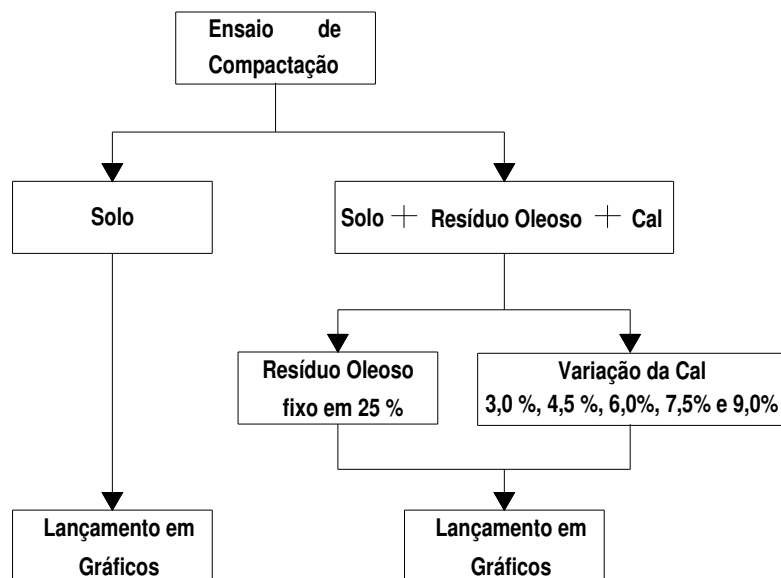
- Segunda etapa

Nesta etapa os ensaios de compactação foram realizados com as amostras dos materiais misturados ou dosados (solo, resíduo oleoso e a cal) na energia Proctor intermediário. Para uma melhor análise dos resultados, todos os ensaios de compactação foram feitos com uma réplica.



**Figura 3.6**–Equipamento utilizado para realização dos ensaios de compactação

No **Fluxograma 3.2** está inserida a seqüência de atividades adotada para a realização dos ensaios de compactação. Após a realização dessas atividades os resultados foram processados (lançados em gráficos) para sua posterior análises.



**Fluxograma 3.2** - Seqüência adotada para realização do ensaio de compactação



### Ensaio de CBR

O CBR é um ensaio empírico utilizado para a estimativa da resistência à penetração de um pistão sobre um corpo-de-prova de uma amostra de solo confinada em um cilindro metálico a qual se relaciona, em termos percentuais, a resistência de uma composição de brita graduada (brita padrão) expressa em porcentagem e que correspondem as penetrações de 2,5 mm e 5,0 mm. O valor adotado para o CBR é escolhido entre a maior das duas relações (**Figura 3.7**).



(a)



(b)

**Figura 3.7 – Equipamentos utilizados para realização dos ensaios de CBR**

Os ensaios de CBR foram realizados, segundo Método de Ensaio (ME 049/94) normatizados pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT), em três etapas:

- Primeira etapa

Nesta etapa as determinações dos CBRs foram realizadas apenas para as amostras de solo;

- Segunda etapa

Nesta etapa as determinações dos CBRs foram realizadas para amostras de solo contendo resíduo oleoso;

- Terceira etapa

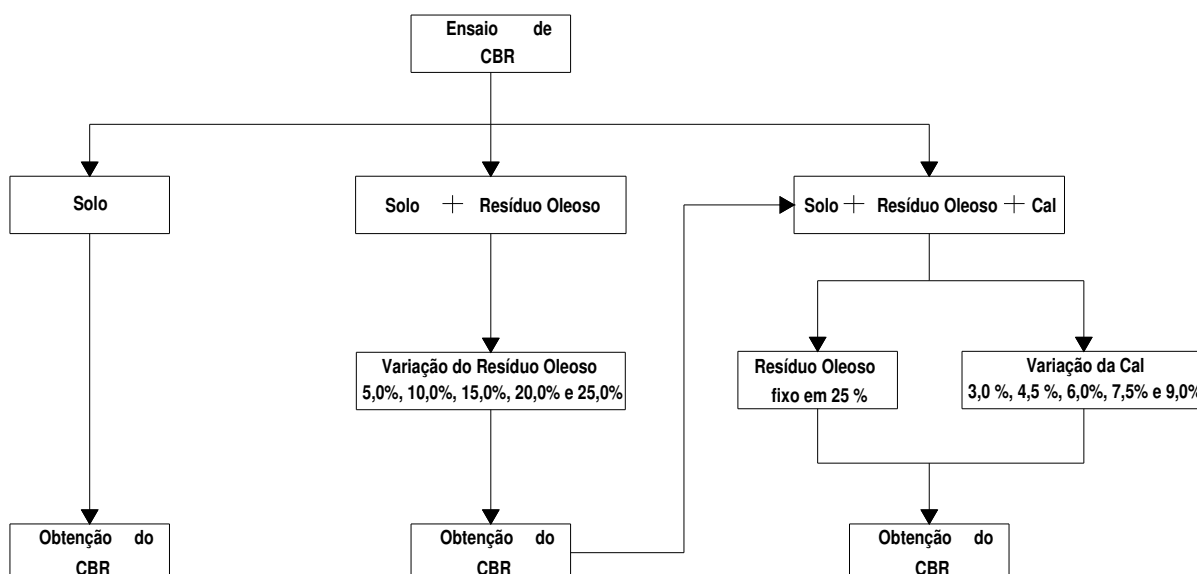
Nesta etapa as determinações dos CBRs foram realizadas para as misturas de material contendo solo, resíduo oleoso e cal.

Os corpos-de-prova foram confeccionados com uma réplica para cada amostra de solo e solo com o resíduo oleoso, e com duas réplicas para a mistura de material contendo solo, resíduo oleoso e cal. Por se tratar de uma mistura com solo argiloso optou-se em fazer o acompanhamento, durante quatro dias, do comportamento do nível de expansão para as amostras ensaiadas (**Figura 3.8**).



**Figura 3.8 - Equipamentos utilizados para realização dos ensaios de expansão**

No **Fluxograma 3.3** está inserida a seqüência adotada para a realização dos ensaios de CBR.



**Fluxograma 3.3 - Seqüência das atividades adotadas para a realização dos ensaios de CBR**

### *Ensaio de Compressão Simples*

Os ensaios de Resistência a Compressão Simples foram realizados, segundo Método de Ensaio NBR 12025 (ABNT, 1990), em duas etapas:

- Primeira etapa

Nesta etapa as determinações das Resistências à Compressão Simples foram realizadas apenas para as amostras de solo;

- Segunda etapa

Nesta etapa as determinações das Resistências à Compressão Simples foram realizadas para as amostras de solo misturado ao resíduo oleoso e a cal.

Os corpos-de-prova foram moldados de acordo com os procedimentos sugeridos pela NBR 12024 da ABNT (1992). Para os teores de Cal, a serem adicionados a mistura, foram adotados os valores de 4,5% e 9,0%. Procurou-se com isso, um solo estabilizado que se enquadrasse dentro dos critérios estabelecidos pelo DNIT para materiais de sub-base e base, respectivamente.

A quantidade de água utilizada nas misturas dos materiais (solo, resíduo oleoso e cal) foi estimada em função da realização dos ensaios de compactação. A cura dos corpos-de-prova foi realizada durante sete dias e a moldagem e rompimentos foram feitos com os equipamentos inseridos na **Figura 3.9**.

Para uma melhor análise dos resultados, foram moldados corpos-de-prova com duas réplicas para cada ponto de dosagem. Durante a moldagem dos corpos-de-prova procurou-se atingir um grau de compactação dentro do intervalo de 98% e 102%.



**Figura 3.9 – Equipamentos utilizados para a realização dos ensaios de compressão simples**

O valor do Grau de Compactação foi obtido pela **Equação 1**.

$$GC = \left( \frac{\gamma_c}{\gamma_s} \right) 100 \quad [1]$$

Onde:

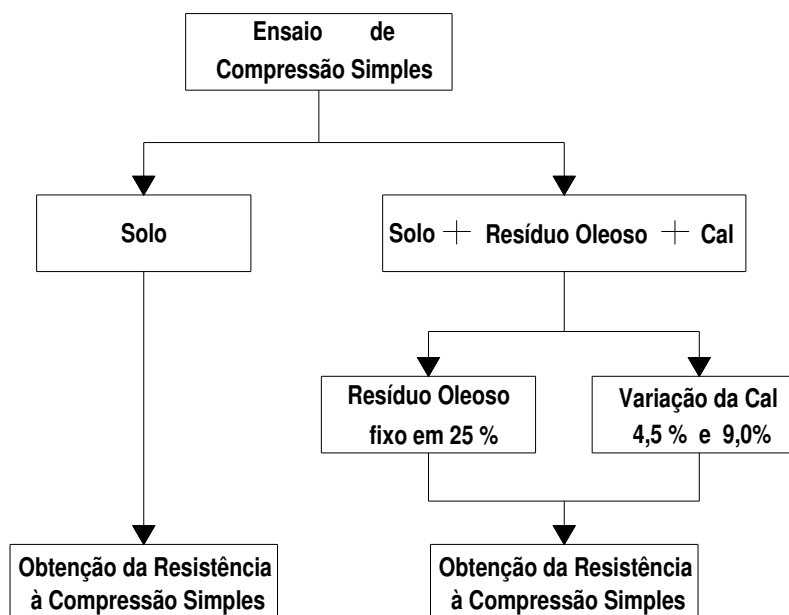
$\gamma_c$  = massa específica aparente seca do corpo-de-prova em g/cm<sup>3</sup>;

$\gamma_s$  = massa específica aparente seca máxima obtida com ensaio de compactação em g/cm<sup>3</sup>.

Para a determinação da Resistência à Compressão Simples dos corpos-de-prova, foi utilizada a norma NBR 12025 da ABNT (1990). A Resistência a Compressão Simples expressa em MPa foi calculada individualmente para cada corpo-de-prova, dividindo-se a carga de ruptura (C, em kgf) pela área de sua seção transversal (A, em cm<sup>2</sup>) segundo a **Equação 2**.

$$RC = \frac{C}{A} \times 0,1(\text{MPa}) \quad [2]$$

No **Fluxograma 3.4** está inserida a seqüência adotada para a realização dos ensaios de Resistência à Compressão Simples.



**Fluxograma 3.4 - Seqüência adotada para a realização dos ensaios para obtenção da resistência à compressão simples**

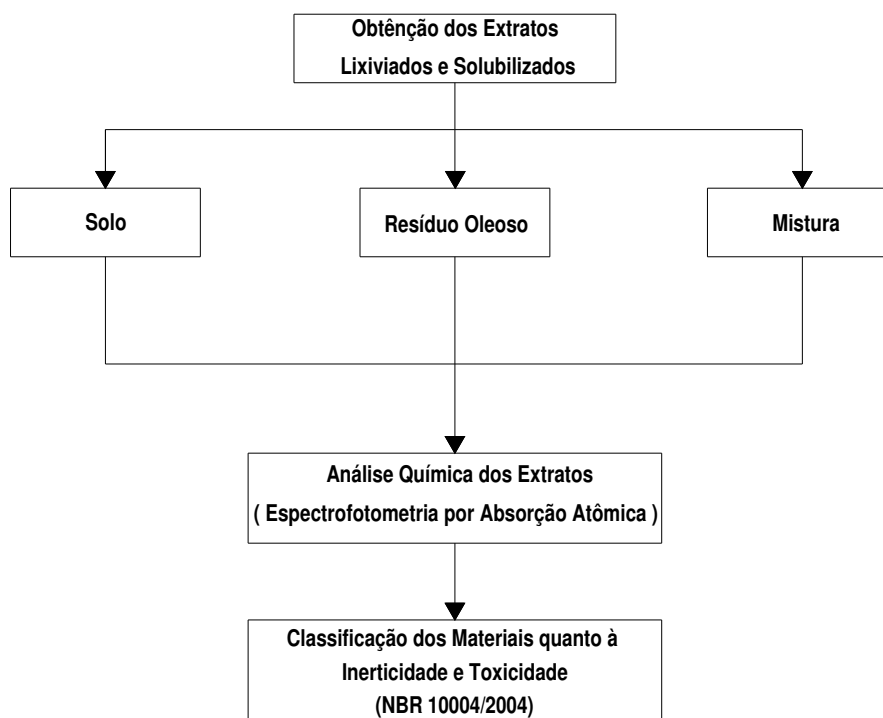
### 3.2.3 - Caracterização das propriedades químicas do solo, do resíduo oleoso e da mistura solo-resíduo-cal

Os experimentos realizados para obtenção dos constituintes químicos dos materiais utilizados na pesquisa foram conduzidos de acordo com as orientações das normas da ABNT. Procurou-se trabalhar com alíquotas que, depois de misturadas, apresentassem as mesmas características e propriedades da massa total do material em questão.

Para que um resíduo sólido seja disposto adequadamente é necessário que sua composição química seja determinada segundo os procedimentos sugeridos na NBR 10004/2004 da ABNT. Esta norma estabelece os critérios adotados para a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais para o meio ambiente e à saúde pública.

As normas, relacionadas a seguir, contêm disposições que constituem prescrições para a NBR 10004/2004 da ABNT. ABNT NBR 10005/2004 – Procedimento para obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos; ABNT NBR 10006/2004 – Procedimento para obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos; e ABNT NBR 10007/2004 – Amostragem de resíduos sólidos.

O **Fluxograma 3.5** contém a seqüência de atividades realizadas com o intuito de classificar, segundo a NBR 1004/2004 da ABNT, os materiais utilizados na pesquisa.



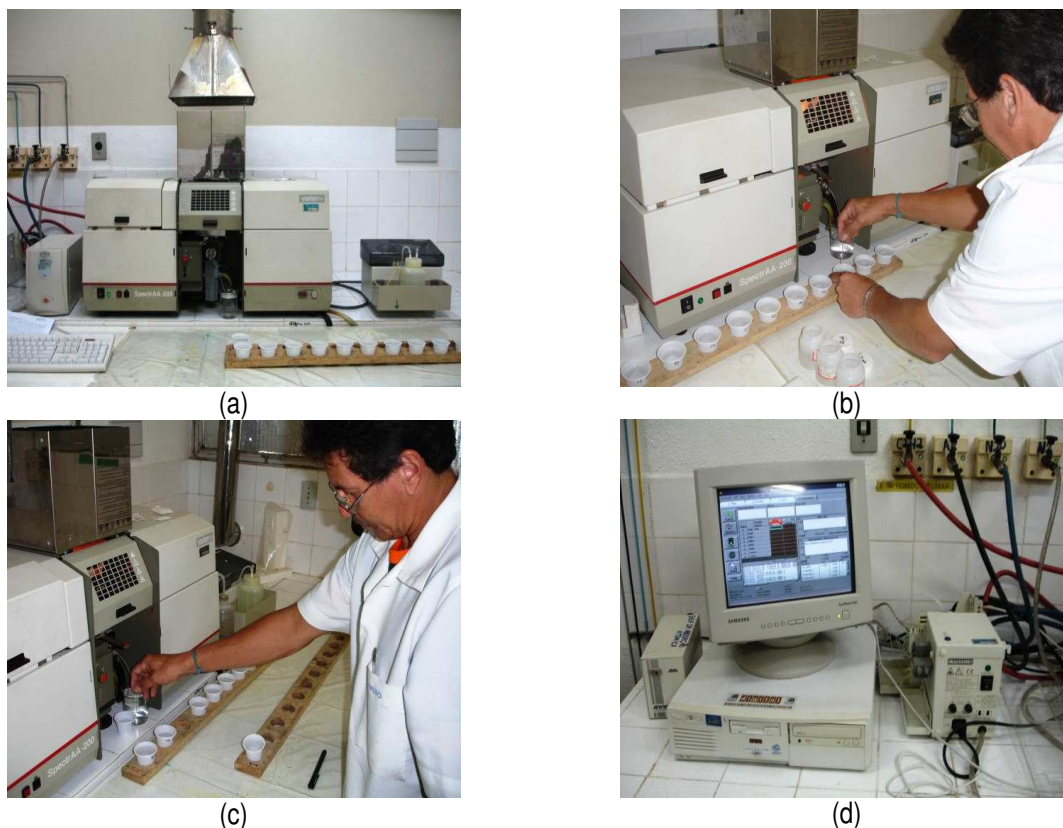
**Fluxograma 3.5 - Seqüência de atividades utilizadas para classificar os materiais utilizados na pesquisa**

A **Figura 3.10** apresenta os equipamentos utilizados para obtenção do extrato lixiviado e solubilizado dos materiais alvo da pesquisa.



**Figura 3.10 – Equipamentos utilizados para obtenção dos extratos lixiviado e solubilizado dos materiais utilizados na pesquisa**

A **Figura 3.11** apresenta os equipamentos de Espectrofotometria por Absorção Atômica utilizados para obtenção dos constituintes químicos contidos nos extratos lixiviado e solubilizado dos materiais alvo da pesquisa.



**Figura 3.11 – Equipamentos utilizados para realização dos ensaios de análises químicas por espectrofotometria por absorção atômica**

A composição química do resíduo oleoso também foi analisada em seu estado natural, com amostra previamente seca ao ar e que passou na peneira nº200 (0,075mm).

### 3.2.4 - Análise Estatística dos Resultados

Neste item, é feita uma descrição sucinta dos estudos estatísticos realizados sobre os resultados obtidos durante a fase experimental da pesquisa. Estes estudos compreenderam em uma análise de variância para um experimento com um único fator, com delineamento experimental inteiramente aleatorizado. A condição de aleatoriedade, adotada durante a fase experimental, teve como objetivo a minimização dos efeitos de qualquer variável perturbadora, que pudesse influenciar os resultados.

Os dados foram obtidos com o auxílio do programa de computador Statistica for Windows ao nível de significância,  $\alpha$ , de 5%.

Em um primeiro momento, procurou-se verificar a influência do incremento do teor do resíduo oleoso nas variáveis da mistura solo-resíduo: umidade ótima (%), densidade aparente seca máxima ( $\text{g/cm}^3$ ), CBR (%) e expansão (%).

Em seguida, após a escolha do teor de resíduo oleoso ideal, foram verificados os efeitos da incorporação dos teores de cal sobre a mistura solo-resíduo-cal nas variáveis: umidade ótima (%), densidade aparente seca máxima ( $\text{g/cm}^3$ ), CBR (%), expansão (%) e resistência à compressão simples (MPa).



## CAPÍTULO 4

### 4 - RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados dos experimentos obtidos com a realização dos ensaios de caracterização das propriedades físicas dos materiais, caracterização das propriedades mecânicas das misturas, caracterização das propriedades químicas, bem como a análise estatística dos resultados.

#### 4.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS PROPIEDADES FISICAS DOS MATERIAIS

##### 4.1.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas do solo

As partículas que compõem a amostra do solo apresentam diâmetros máximos inferiores a 9,5 mm. Os resultados da distribuição dos tamanhos das partículas por peneiramento e sedimentação são apresentados na **Tabela 4.1**.

**Tabela 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas do solo**

Diâmetro Médio das Partículas (mm)	9.5	4.8	2.0	1.2	0.6	0.42
Massa que passa (%)	96,22	91,41	87,24	84,24	79,21	74,68
Diâmetro Médio das Partículas (mm)	0.25	0.15	0.074	0.066	0.047	0.034
Massa que passa (%)	69,16	55,41	46,63	44,51	41,68	38,03
Diâmetro Médio das Partículas (mm)	0.024	0.017	0.013	0.009	0.006	0.005
Massa que passa (%)	34,37	32,54	28,89	27,06	25,23	21,57
Diâmetro Médio das Partículas (mm)	0.003	0.002	0.001			
Massa que passa (%)	19,75	17,92	16,09			

##### 4.1.2 - Teor de umidade higroscópica do solo

O teor de umidade higroscópica para o solo, definido como a razão do peso da água ( $P_a$ ) presente na amostra pelo peso do material sólido ( $P_s$ ), é apresentado na **Tabela 4.2**.

**Tabela 4.2 - Umidade do solo**

Cápsula	Pbh	Pbs	Tara	Pss	Pa	h (%)	h(%) média
AL-G	77,14	74,55	16,77	57,78	2,59	4,48	4,48
AL-H	76,58	73,96	15,40	58,56	2,62	4,47	

O valor da umidade obtido para a amostra de solo utilizado na pesquisa foi de 4,48%, em média.

#### 4.1.3 - Massa específica real do solo

Na **Tabela 4.3** está inserido o resultado obtido no ensaio da massa específica real dos grãos do solo.

**Tabela 4.3 – Massa específica real dos grãos do solo**

Solo	Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )
	2,662

#### 4.1.4 - Índices de consistência do solo

Na **Tabela 4.4** estão inseridos os resultados obtidos para os índices de consistência do solo nos ensaios de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP).

**Tabela 4.4 – Limites de consistência do solo**

Solo	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
	38,27	25,88	12,39

Os ensaios realizados indicam que o solo tem um considerável Índice de Plasticidade (IP). A partir dos resultados da distribuição dos tamanhos das partículas e dos índices de consistência, o solo foi classificado como A<sub>6</sub> (solo argiloso), de acordo com o sistema da AASHTO (American Association of State Highw and Transportation Officials) e como CL (argila inorgânica) pelo SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos).

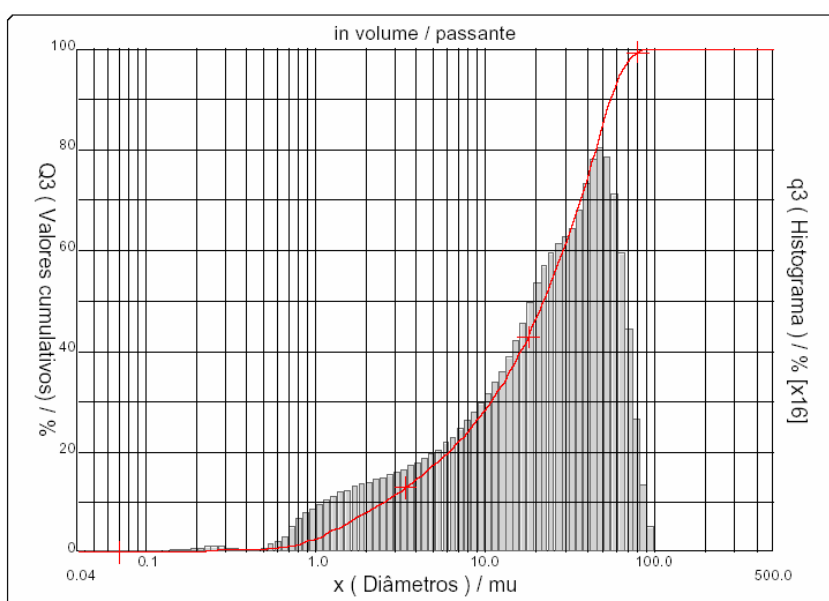
#### 4.1.5 - Distribuição dos tamanhos das partículas grãos do resíduo oleoso

As partículas que compõem a amostra do resíduo oleoso apresentam diâmetros máximos das partículas inferiores a 9,5 mm. Os resultados da distribuição dos tamanhos das partículas por peneiramento e sedimentação são apresentados na **Tabela 4.5**.

**Tabela 4.5 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso**

Diâmetro Médio das Partículas (mm)	9,5	4,8	2,0	1,2	0,6	0,42
Massa que passa (%)	99,60	97,79	93,65	88,90	81,11	73,54
Diâmetro Médio das Partículas (mm)	0,25	0,15	0,074	0,064	0,046	0,033
Massa que passa (%)	69,64	59,18	50,50	48,45	46,50	40,64
Diâmetro Médio das Partículas (mm)	0,023	0,017	0,013	0,009	0,007	0,005
Massa que passa (%)	34,78	26,96	23,05	19,15	15,24	13,28
Diâmetro Médio das Partículas (mm)	0,003	0,002	0,001			
Massa que passa (%)	11,53	9,77	7,43			

A distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso foi obtida concomitantemente ao que foi feito com os ensaios convencionais, com o aparelho analisador de partículas por difração a laser. O resultado deste ensaio é apresentado na **Figura 4.1**.

**Figura 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso obtida por difração a laser**

#### 4.1.6 - Teor de umidade higroscópica do resíduo oleoso

O valor do teor de umidade higroscópica, obtido para a amostra de resíduo oleoso utilizado na pesquisa, foi de 5,77% (**Tabela 4.6**).

**Tabela 4.6 - Umidade do resíduo oleoso**

Capsula	Pbh	Pbs	Tara	Pss	Pa	h (%)	h(%) média
AL-9	90,35	86,24	16,17	70,07	4,11	5,87	5,77
AL-8	85,30	81,58	16,01	65,57	3,72	5,67	

#### 4.1.7 - Massa específica real do resíduo oleoso

Na **Tabela 4.7** está inserido o resultado obtido no ensaio da massa específica real dos grãos para o resíduo oleoso.

**Tabela 4.7 – Massa específica real dos grãos do resíduo oleoso**

Resíduo Oleoso	Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )
	2,729

#### 4.1.8 - Índices de consistência do resíduo oleoso

Na **Tabela 4.8** estão inseridos os resultados dos índices de consistência obtidos nos ensaios de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) para o resíduo oleoso.

**Tabela 4.8 – Limites de consistência do resíduo oleoso**

Resíduo Oleoso	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
	24,58	14,75	9,83

A partir dos resultados da distribuição dos tamanhos das partículas e dos índices de consistência, o resíduo oleoso foi classificado como A<sub>4</sub> (solo siltoso), de acordo com o sistema da AASHTO (American Association of State Highw and Transportation Officials) e como ML (siltos inorgânicos) pelo SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos).

#### 4.1.9 - Difração de raios – x do resíduo oleoso

Com os resultados obtidos com o ensaio de difração de raios-x apresentados na **Figura 4.2** foram detectados as presenças de montemorilonita (SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO), mica (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) e quartzo, caracterizados pelas distancias interplanares de 14,70 Å , 3,35Å e 10,0Å respectivamente.

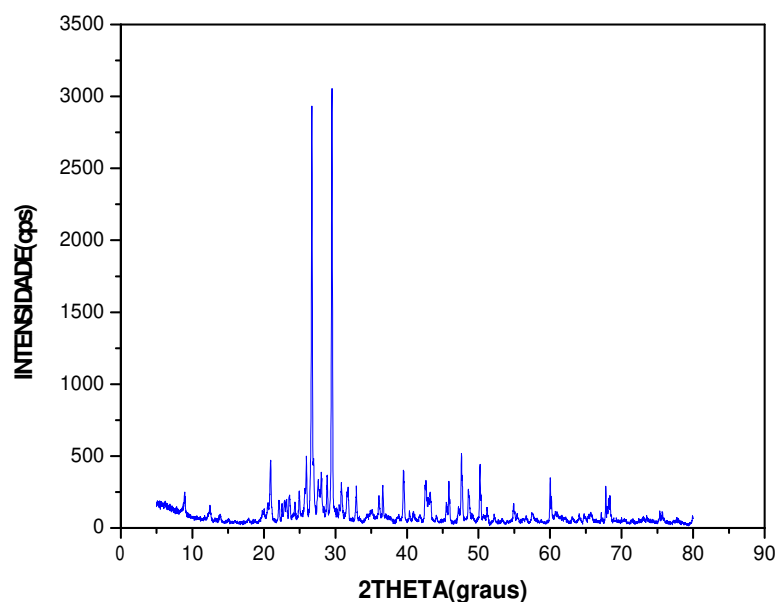


Figura 4.2 - Difração de raios-x do resíduo oleoso

#### 4.1.10 - Termogravimetria (TG) do resíduo oleoso

A **Figura 4.3** apresenta a curva termogravimétrica do resíduo oleoso. Foi observado perda de massa entre 30°C e 125°C correspondente à perda de água livre. Entre 180° e 200°C atribui-se a perda de massa a decomposição de hidrocarbonetos, entre 300°C e 500° C a perda de hidroxilas da mica ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ), como também a decomposição de alguns óleos, e entre 500°C e 800°C atribui-se a perda de massa a decomposição do óxido de alumínio e do óxido de magnésio. Para o experimento realizado a amostra do resíduo oleoso apresentou perda de massa total de aproximadamente 14%.

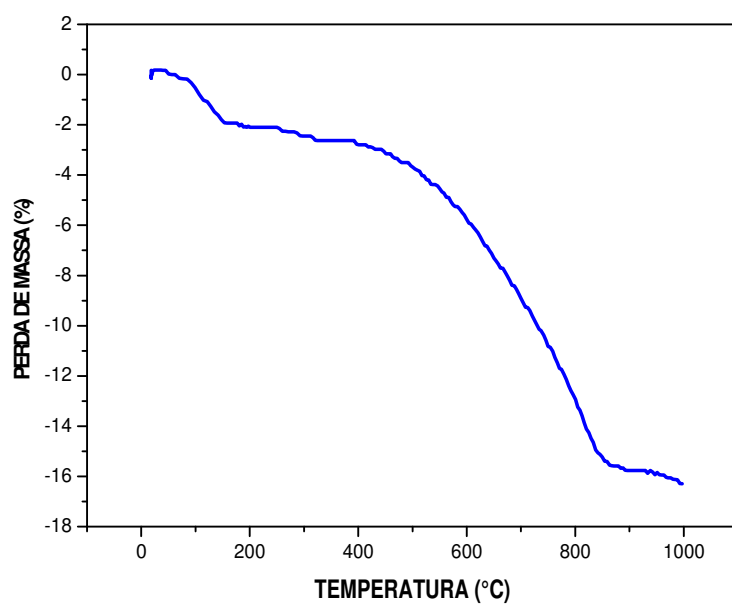
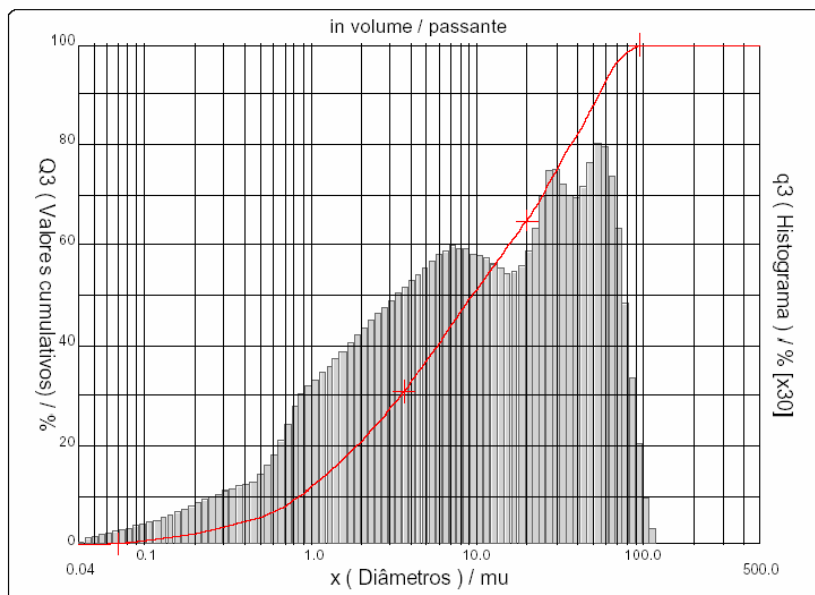


Figura 4.3 – Termogravimetria (TG) do resíduo oleoso

#### 4.1.11 - Cal hidratada

A cal hidratada utilizada nos experimentos apresentou massa específica aparente de  $2,480 \text{ g/cm}^3$  (ABNT, NBR-6508/84). A caracterização física da cal, realizada a partir da distribuição dos tamanhos das partículas, obtida com o aparelho analisador de partículas por difração a laser, encontra-se na **Figura 4.4**.



**Figura 4.4 - Distribuição dos tamanhos das partículas da cal obtida por difração a laser**

Segundo a literatura a cal reage causando melhores resultados quando incorporada em solos de granulometria média a fina, reduzindo plasticidade, expansão e aumento de sua trabalhabilidade. Destaca-se ainda que os solos mais reativos à adição da cal são os classificados pela AASHTO como  $A_6$ ,  $A_6$ , e  $A_7$  e solos classificados pelo sistema unificado como CL, CH, MH, ML, SC, SM, GC e GM. Desta forma os resultados obtidos nos ensaios de caracterização indicam que o solo em estudo, atende as recomendações para uma boa estabilização química com a cal.

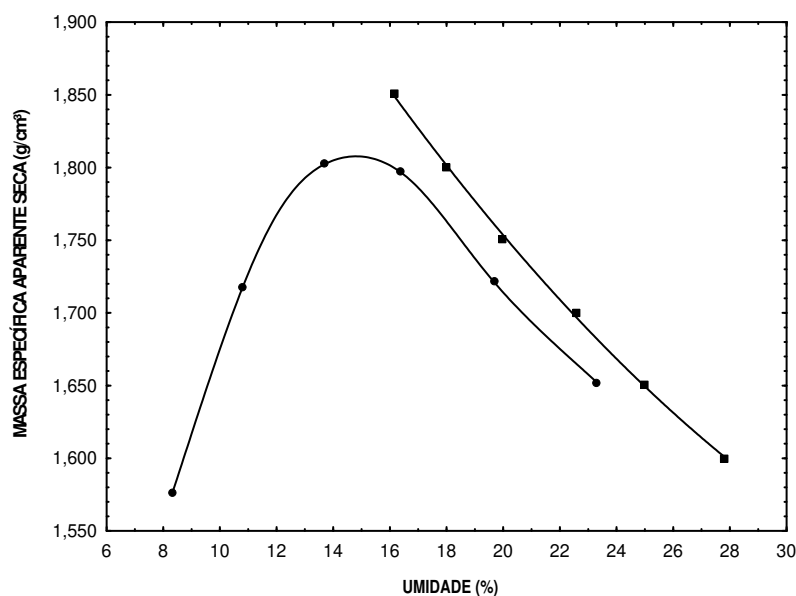
## 4.2 - CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MISTURAS DOS MATERIAIS

Para o estudo do comportamento mecânico do solo e das misturas solo-resíduo e solo-resíduo-cal, foram realizados os ensaios de CBR, de Expansão e de Resistência a Compressão Simples.

### 4.2.1 - Experimento Piloto

Os ensaios de compactação (Energia Proctor Intermediário) foram realizados conforme Método de Ensaio - ME 162/94, segundo recomendações do Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT). A mistura, depois de homogeneizada, foi fracionada em cinco partes iguais onde foram adicionadas diferentes quantidades de água.

Na **Figura 4.5** e na **Tabela 4.9** estão inseridos os resultados obtidos com a realização do ensaio de compactação para amostra de solo puro (sem mistura).

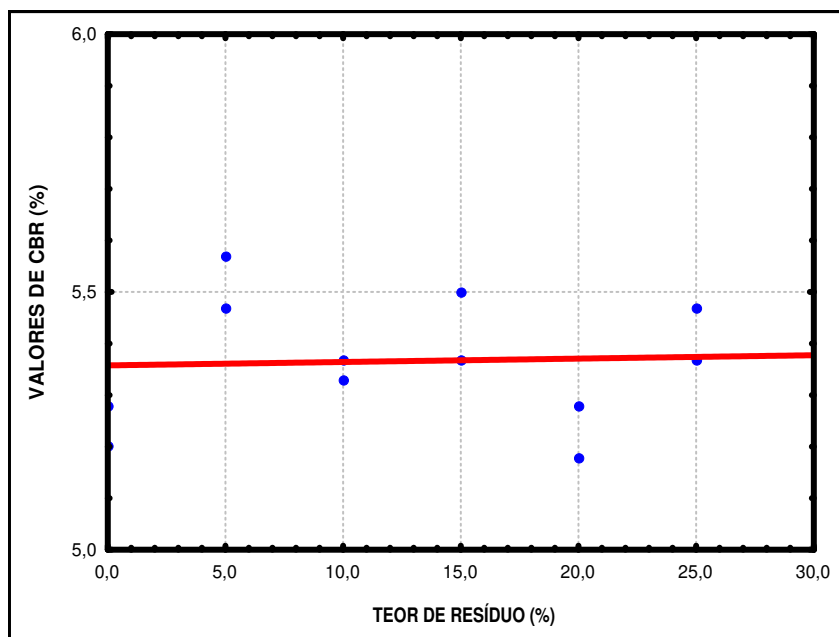


**Figura 4.5 – Curva de compactação para o solo**

**Tabela 4.9 - Resultados obtidos para o ensaio de compactação para o solo**

Solo	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade ótima (%)
	1,810	14,70

Os resultados obtidos com os ensaios de CBR para o solo puro (testemunha) e para o solo com adições de resíduo oleoso nas proporções de 5%, 10%, 15%, 20%, e 25% em massa, em relação à massa total da amostra (6.000g) estão lançados em gráfico e apresentados na **Figura 4.6**.



**Figura 4.6** – Efeito da adição do resíduo oleoso nos valores de CBR para o solo

Observa-se na **Figura 4.6**, que não houve incrementos ou diminuições significativos nos valores obtidos para o CBR quando foram adicionados vários percentuais de resíduo oleoso em relação ao peso da amostra de solo. Na **Tabela 4.10** estão os resultados detalhados destes ensaios, bem como os valores obtidos de umidade ótima (%), de massa específica aparente seca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) e de expansão (%).

**Tabela 4.10** - Resultados dos ensaios de CBR variando o resíduo oleoso

Teores de Resíduo (%)	Umidade (%)	Massa específica aparente seca corpo-de - prova ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	CBR (%)	Expansão (%)
0,0	14,53	1,800	5,28	1,70
	14,60	1,820	5,20	1,62
5,0	14,48	1,804	5,57	1,72
	14,76	1,801	5,47	1,58
10,0	14,50	1,801	5,37	1,88
	14,50	1,816	5,33	1,82
15,0	14,21	1,829	5,50	1,55
	14,63	1,809	5,37	1,58
20,0	14,84	1,808	5,18	1,60
	14,82	1,838	5,28	1,60
25,0	14,37	1,818	5,37	1,55
	14,49	1,818	5,47	1,59

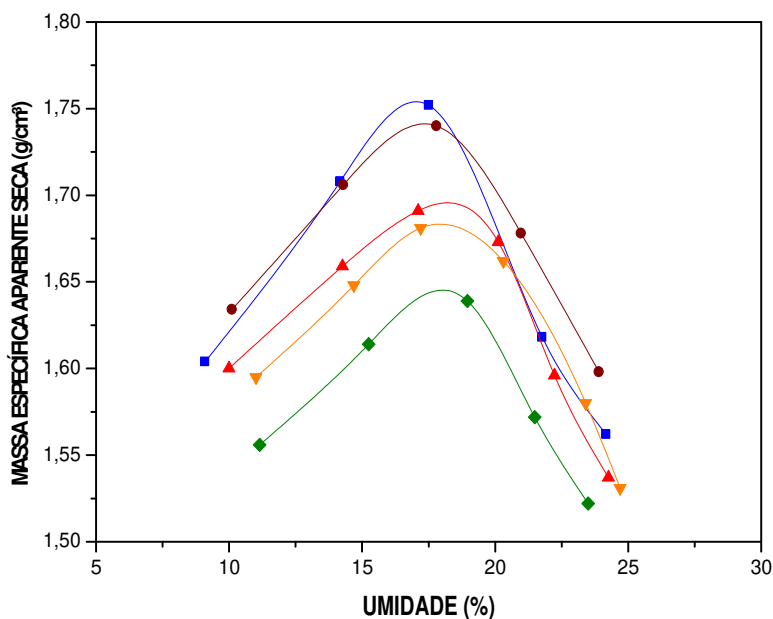


#### 4.2.2 - Resultados dos ensaios de compactação, CBR e expansão para as misturas

Após a realização dos ensaios no **Experimento Piloto**, em que foi observado que a incorporação do resíduo oleoso não alterava, significativamente, os valores de CBR, optou-se por fixar a quantidade de resíduo oleoso na mistura em 25% em relação à massa de solo seco e assim reincorporar a maior quantidade possível para os teores estudados.

A cal foi escolhida como estabilizante químico devido a sua eficácia diante de solos argilosos. Assim, após a fixação do resíduo oleoso em 25% a cal foi incorporada à mistura nos teores de 3%, 4,5%, 6,0%, 7,5% e 9,0%.

Na **Figura 4.7** são apresentados os resultados dos ensaios de compactação para as diferentes misturas de solo-resíduo-cal.



**Figura 4.7 – Curvas de compactação para as misturas solo - resíduo - cal**

Observou-se que os resultados, da massa específica aparente seca máxima para as amostras com adição de cal, foram inferiores as obtidas quando da utilização do solo puro. Portanto, quanto maior o teor de cal adicionado a mistura menor será o valor da massa específica aparente seca máxima. Atribui-se este comportamento ao maior teor de umidade e ao efeito das partículas de cal substituindo uma parcela dos grãos do solo de massa específica superior. Na **Tabela 4.11** está inserido o resumo dos resultados obtidos.

Tabela 4.11 – Resultados obtidos para os ensaios de compactação das misturas

Mistura	Massa específica aparente	
	seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade Ótima (%)
solo –resíduo – 3,0% cal	1,756	16,76
solo –resíduo - 4,5 %cal	1,736	17,48
solo –resíduo – 6,0% cal	1,692	17,73
solo –resíduo -7,5% cal	1,679	17,95
solo –resíduo – 9,0% cal	1,641	18,59

A **Figura 4.8** apresenta os resultados obtidos para o CBR em relação aos diferentes teores de cal adicionados a mistura.

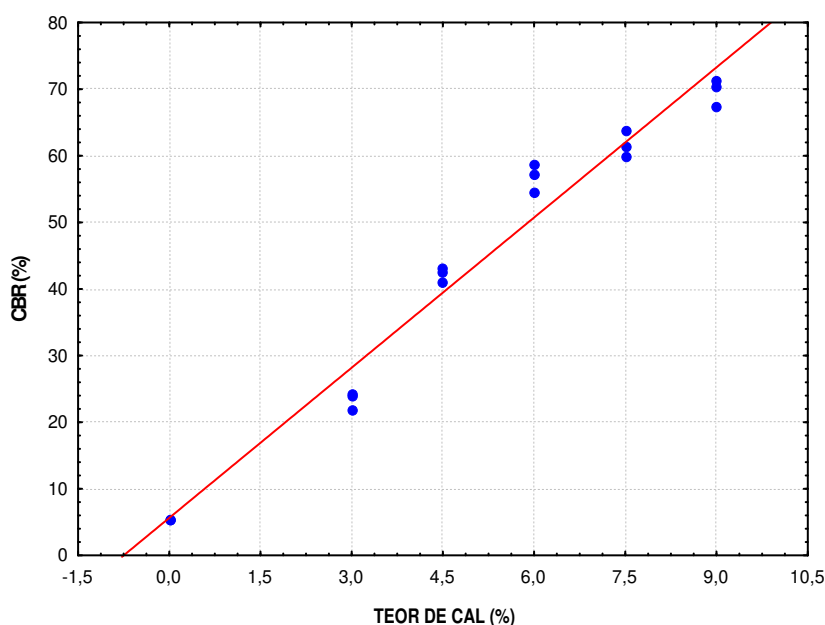


Figura 4.8 – Efeito do incremento do teor de cal na mistura nos valores de CBR

Analisando os resultados da **Figura 4.8**, percebeu-se que o aumento do teor de cal implicou em um aumento significativo de CBR. Acredita-se que a proximidade dos grãos, devido ao aumento da compactidade facilite as reações químicas no interior da amostra.

Na **Tabela 4.12** estão os resultados detalhados dos ensaios de CBR (%), bem como os valores obtidos para umidade (%), massa específica aparente seca (g/cm<sup>3</sup>) e expansão (%) obtidos para as amostras. Quanto aos valores de expansão, observa-se que não houve alterações significativas.

**Tabela 4.12 – Resultados dos ensaios de CBR variando a cal**

Teores de Cal (%)	Umidade (%)	Massa específica aparente seca corpo-de - prova (g/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Expansão (%)
3,0	16,73	1,748	23,83	0,14
	16,69	1,755	21,98	0,12
	16,90	1,751	24,22	0,14
4,5	17,62	1,728	43,21	0,10
	17,21	1,731	41,01	0,10
	17,38	1,729	42,49	0,09
6,0	17,35	1,697	58,74	0,09
	17,70	1,689	54,42	0,09
	17,81	1,685	57,14	0,07
7,5	17,84	1,655	61,53	0,06
	18,10	1,668	60,05	0,07
	18,05	1,669	63,73	0,07
9,0	18,80	1,639	67,39	0,07
	18,69	1,637	71,30	0,07
	18,47	1,642	70,31	0,04

Na **Tabela 4.13** foram inseridos os valores de referência para os valores de CBR e de Expansão (ambos na energia Proctor Intermediário) para solos estabilizados ou melhorados com cimento, segundo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT).

**Tabela 4.13 – Valores de referência para solos melhorados com cimento Portland**

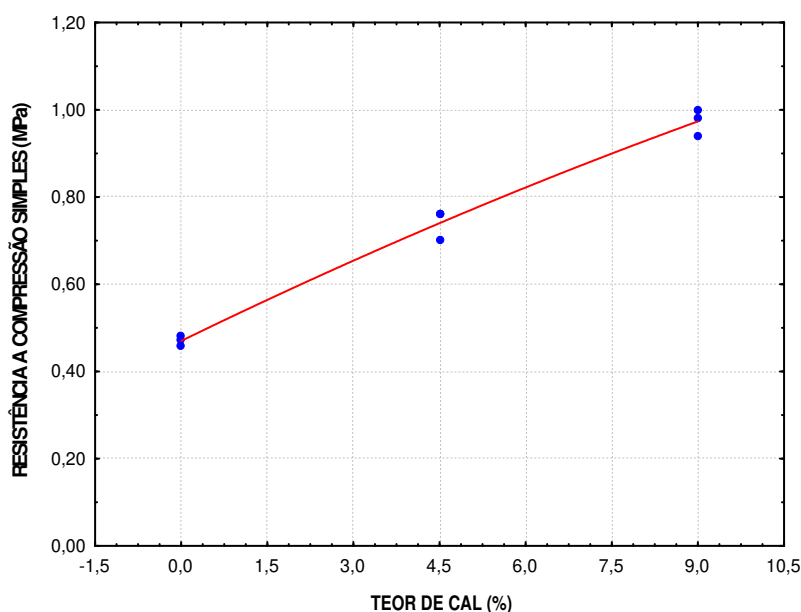
	CBR	Expansão
Sub-base (ES-302/97)	= 30%	Máxima de 1%
Base (ES-304/97)	= 80%	Máxima de 0,5%

Fonte: DNIT.

Os valores de CBR obtidos na pesquisa para as misturas contendo 4,5%, 6,0%, 7,5% e 9,0% de cal, são superiores aos recomendados para uso em sub-bases. Para a mistura com teor de cal igual a 9,0% os valores de CBR obtidos estão bem próximos do recomendado para utilização em bases melhoradas com cimento. Quanto à expansão todos os valores obtidos estão em conformidade com as especificações de serviços citadas na **Tabela 4.13**. Ressalta-se que os valores de referência, acima referidos, fazem parte das especificações de serviços para uso em estradas de tráfego pesado (**N > 10<sup>6</sup>**).

### 4.2.3 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples

Os ensaios de Resistência à Compressão Simples (RCS) foram realizados com o intuito de verificar a influência dos teores de cal (4,5% e 9,0%) neste parâmetro para as misturas, tendo como testemunha o mesmo ensaio realizado para amostras do solo puro. Todos os corpos-de-prova foram rompidos aos sete dias de cura. Na **Figura 4.9** estão lançados em gráfico os resultados de RCS obtidos para os teores de 0%, 4,5% e 9,0% de cal adicionada à mistura.



**Figura 4.9** – Efeito do teor de cal nos valores da resistência à compressão simples

De acordo com a **Figura 4.9**, ao se comparar a Resistência à Compressão Simples das misturas com e sem adição de cal, observou-se uma variação de mais de 100% nos seus valores. Na **Tabela 4.14** estão inseridos os resultados numéricos destes, para um tempo de cura de sete dias.

**Tabela 4.14** – Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples

Teores de Cal (%)	Umidade (%)	Massa específica aparente seca do corpo - de - prova (g/cm <sup>3</sup> )	GC (%)	Resistência à Compressão Simples (MPa)
0,0	14,77	1,812	100,11	0,47
	14,65	1,811	100,06	0,48
	14,78	1,819	100,50	0,46
4,5	17,47	1,730	99,65	0,76
	17,54	1,743	100,40	0,70
	17,41	1,738	100,11	0,76
9,0	18,57	1,645	100,24	0,94
	18,67	1,638	99,82	0,98
	18,52	1,648	100,43	1,00

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples para as misturas contendo 4,5% e 9,0% de cal foram acima dos recomendados pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Texas, que recomenda uma resistência à compressão simples de no mínimo 0,7 MPa para base e de 0,35 MPa para sub-base, segundo Baptista (1976).

#### 4.2.4 - Índices de consistência da mistura

Na **Tabela 4.15** estão inseridos os resultados dos índices de consistência obtidos com a realização dos ensaios de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) para a mistura solo-resíduo-cal.

**Tabela 4.15 – Limites de consistência da mistura**

<b>Misturas</b>	<b>Limite de Liquidez (%)</b>	<b>Limite de Plasticidade (%)</b>	<b>Índice de Plasticidade (%)</b>
solo-resíduo-cal (4,5%)	31,40	22,15	9,25
solo-resíduo-cal (9,0%)	31,10	21,90	9,20

Os resultados apresentados na **Tabela 4.15** indicam que a incorporação da cal na mistura implicou em uma redução da plasticidade o que teve como consequência direta uma melhor trabalhabilidade.

### 4.3 - CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO, DO RESÍDUO OLEOSO E DA MISTURA SOLO-RESÍDUO-CAL

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios de Espectrofotometria por Absorção Atômica e Análise Química Elemental realizados com as amostras dos extratos solubilizados e lixiviados (solo, resíduo oleoso e mistura solo-resíduo-cal) e do resíduo oleoso em seu estado natural, respectivamente.

#### 4.3.1 - Classificação do solo quanto a inerticidade e toxicidade

Na **Tabelas 4.16** e na **Tabela 4.17** estão inseridas as concentrações dos constituintes químicos do solo puro, obtidas a partir dos extratos solubilizado e lixiviado, respectivamente.

**Tabela 4.16 – Resultados do teste de solubilização para o solo**

Parâmetros	LMP (mg/l)		Caracterização
	Anexo G NBR 10004/2004	Solo (mg/l)	
Cádmio	0,005	0,109	NI
Chumbo	0,01	0,00	I
Cloreto	250,00	1.372,00	NI
Cobre	2,00	0,00	I
Cromo	0,05	0,00	I
Fero	0,30	0,027	I
Manganês	0,10	0,321	NI
Sódio	200,00	16,33	I
Sulfato	250,00	14,42	I
Zinco	5,00	0,030	I

LMP – Limite Máximo Permitido; NI - Não Inerte e I - Inerte

**Tabela 4.17 – Resultados do teste de lixiviação para o solo**

Parâmetros	LMP (mg/l)		Caracterização
	Anexo F NBR 10004/2004	Solo (mg/l)	
Cádmio	0,50	0,142	NT
Chumbo	1,00	0,00	NT
Cromo	5,00	0,00	NT

LMP – Limite Máximo Permitido; NT – Não Tóxico

Observa-se que, para as amostras de solo puro ensaiadas, os constituintes químicos, com exceção do cádmio, cloreto e manganês, apresentaram concentrações inferiores aos limites do anexo G, estabelecidos pela NBR 10004/2004 para análise de extratos solubilizados (**Tabela 4.16**). Para as concentrações dos constituintes químicos obtidos com o extrato lixiviado (**Tabela 4.17**), observou-se que todos apresentaram concentrações inferiores aos limites do anexo F, estabelecido pela NBR 10004/2004. Podemos inferir que, o solo pode ser

classificado como um “resíduo” não tóxico. Portanto, o solo puro foi classificado como não perigoso e não inerte, ou seja, “Resíduo Classe II A”.

Apesar de o solo puro ser classificado como “Resíduo Classe II A”, conceitualmente, este solo não constitui um resíduo, pois sua origem não é de resultado das atividades industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, como preconiza NBR 10004/2004. Entretanto, o intuito de classificá-lo de acordo com a NBR 10004 foi de estabelecer um parâmetro de referência e verificação de possíveis contaminações do mesmo que interferissem na análise final da mistura com o resíduo.

#### 4.3.2 - Classificação do resíduo oleoso quanto a inerticidade e toxicidade.

Na Tabela 4.18 e na Tabela 4.19 estão inseridas as concentrações dos constituintes químicos do resíduo oleoso, obtidas a partir dos extratos solubilizado e lixiviado respectivamente.

**Tabela 4.18 – Resultados do teste de solubilização para o resíduo oleoso**

Parâmetros	LMP (mg/l)	Resíduo Oleoso (mg/l)	Caracterização
	Anexo G NBR 10004/2004		
Cádmio	0,005	0,002	I
Chumbo	0,01	0,00	I
Cloreto	250,00	119,00	I
Cobre	2,00	0,00	I
Cromo	0,05	0,00	I
Ferro	0,30	0,087	I
Manganês	0,10	0,191	NI
Sódio	200,00	0,00	I
Sulfato	250,00	280,58	NI
Zinco	5,00	0,055	I

**LMP – Limite Máximo Permitido; NI - Não Inerte e I – Inerte**

**Tabela 4.19 – Resultados do teste de lixiviação para o resíduo oleoso**

Parâmetros	LMP (mg/l)	Resíduo Oleoso (mg/l)	Caracterização
	Anexo F NBR 10004/2004		
Cádmio	0,50	0,307	NT
Chumbo	1,00	0,00	NT
Cromo	5,00	0,00	NT

**LMP – Limite Máximo Permitido; NT – Não Tóxico**

Observa-se que, para as amostras de resíduo oleoso ensaiadas, os constituintes químicos, com exceção do manganês e do sulfato, apresentaram concentrações inferiores aos limites do anexo G, estabelecidos pela NBR 10004/2004 para análise de extratos solubilizados (Tabela 4.18). Para as

concentrações dos constituintes químicos obtidos com o extrato lixiviado (**Tabela 4.19**), observou-se que todos apresentaram concentrações inferiores aos limites do anexo F, estabelecido pela NBR 10004/2004. Desta forma, podemos inferir que, o resíduo oleoso pode ser classificado como resíduo não tóxico para os metais analisados. De acordo com os padrões da referida norma o resíduo oleoso classifica-se como não perigoso e não inerte, ou seja, “Resíduo Classe II A”.

#### 4.3.3 - Classificação da mistura solo-resíduo-cal quanto a inerticidade e toxicidade

Na **Tabela 20** e na **Tabela 21** estão inseridas as concentrações dos constituintes químicos da mistura solo-resíduo-cal (9,0%), obtidas a partir dos extratos solubilizado e lixiviado respectivamente.

**Tabela 4.20 – Resultados do teste de solubilização para a mistura**

Parâmetros	LMP (mg/l)		Caracterização
	Anexo G NBR 10004/2004	Mistura (mg/l)	
Cádmio	0,005	0,001	I
Chumbo	0,01	0,00	I
Cloreto	250,00	140,00	I
Cobre	2,00	0,00	I
Cromo	0,05	0,00	I
Ferro	0,30	0,039	I
Manganês	0,10	0,162	NI
Sódio	200,00	9,28	I
Sulfato	250,00	11,68	I
Zinco	5,00	0,019	I

**LMP – Limite Máximo Permitido; NI - Não Inerte e I – Inerte**

**Tabela 4.21 – Resultados do teste de lixiviação para a mistura**

Parâmetros	LMP (mg/l)		Caracterização
	Anexo F NBR 10004/2004	Mistura (mg/l)	
Cádmio	0,50	0,206	NT
Chumbo	1,00	0,00	NT
Cromo	5,00	0,00	NT

**LMP – Limite Máximo Permitido; NT – Não Tóxico**

Observa-se que, para as amostras da mistura solo-resíduo-cal ensaiadas, os constituintes químicos, com exceção do manganês, apresentaram concentrações inferiores aos limites do anexo G, estabelecidos pela NBR 10004/2004 para análise de extratos solubilizados (**Tabela 4.20**). Para as concentrações dos constituintes químicos obtidos com o extrato lixiviado (**Tabela 4.21**), observou-se que todos apresentam concentrações inferiores aos limites do anexo F, estabelecido pela NBR 10004/2004. Desta forma, podemos inferir que, a mistura solo-resíduo-cal pode ser classificada como “resíduo” não tóxico para os metais analisados. De acordo



com os padrões da referida norma a mistura solo-resíduo-cal classifica-se como não perigosa e não inerte, ou seja, "Resíduo Classe II A".

Os resultados obtidos dos constituintes químicos para a mistura solo-resíduo-cal foram inferiores aos obtidos para o solo puro e para o resíduo oleoso. Esta redução deve-se ao processo de estabilização química/solidificação que resultou em um melhor encapsulamento dos referidos constituintes.

De uma forma geral, todos os constituintes que apresentaram concentrações superiores aos recomendados pela NBR 10004/2004 tiveram seus valores reduzidos após o processo de estabilização química/solidificação, com exceção do manganês o qual, não estando inferior ao limite máximo permitido, teve seu valor reduzido consideravelmente, o que corrobora mais uma vez a vantagem do processo de estabilização química/solidificação utilizado.

Vale salientar que, os constituintes químicos para a mistura, obtidos por Espectrofotometria por Absorção Atômica a partir dos extratos lixiviados e solubilizados, foram relativos às amostras de corpos-de-prova rompidos aos sete dias de cura. Sendo assim, é possível que estes valores sejam reduzidos ainda mais, para um maior tempo de cura.

#### 4.3.4 - Classificação do resíduo oleoso quanto a composição química

Para uma melhor caracterização do resíduo oleoso, foi realizada a Análise Química Elementar no seu estado natural. A **Tabela 4.22** apresenta os resultados obtidos. A composição química do resíduo oleoso utilizado classifica-o como sendo um silicato-aluminato com um elevado teor de sílica,  $\text{SiO}_2$ , e de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**Tabela 4.22 - Composição química do resíduo oleoso no estado natural.**

Amostra	PR (%)	$\text{SiO}_2$ (%)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	CaO (%)	MgO (%)	$\text{Na}_2\text{O}$ (%)	RI (%)	$\text{K}_2\text{O}$ (%)
Resíduo Oleoso	9,73	49,65	2,60	13,00	5,60	3,43	1,76	12,00	2,20

[Fonte: Laboratório de Análises Mineraias / LAM-UFCG, (2007)]

#### 4.4 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Os valores da umidade ótima (%), massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ ), CBR (%) e expansão (%), obtidos para o solo com adições de resíduo oleoso nos teores de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% apresentados nas **Tabelas 4.23 a 4.26** e seus respectivos gráficos de caixa nas **Figuras 4.10 a 4.13**, foram analisados estatisticamente e suas respectivas análises de variância estão apresentadas nas **Tabelas 4.27 a Tabela 4.30**.

**Tabela 4.23 – Valores dos teores de umidades (%) dos ensaios de CBR (mistura solo-resíduo)**

Teores de resíduo (%)	Umidade (%)		Totais	Médias
	1	2		
5	14,48	14,76	29,24	14,62
10	14,50	14,50	29,00	14,50
15	14,21	14,63	28,84	14,42
20	14,84	14,82	29,66	14,83
25	14,37	14,49	28,86	14,43
			145,60	14,56

**Tabela 4.24 - Valores das massas específicas ( $\text{g/cm}^3$ ) dos ensaios de CBR (mistura solo-resíduo)**

Teores de resíduo (%)	Massa específica ( $\text{g/cm}^3$ )		Totais	Médias
	1	2		
5	1,804	1,801	3,605	1,802
10	1,801	1,816	3,617	1,808
15	1,829	1,809	3,638	1,819
20	1,808	1,838	3,646	1,823
25	1,818	1,818	3,636	1,818
			18,14	1,814

**Tabela 4.25 - Valores do CBR (%) (mistura solo-resíduo)**

Teores de resíduo (%)	CBR (%)		Totais	Médias
	1	2		
5	5,57	5,47	11,04	5,52
10	5,37	5,33	10,70	5,35
15	5,50	5,37	10,87	5,44
20	5,18	5,28	10,46	5,23
25	5,37	5,47	10,84	5,42
			53,92	5,39

**Tabela 4.26 - Valores das expansões (%) dos ensaios de CBR (mistura solo-resíduo)**

Teores de resíduo (%)	Expansão (%)		Totais	Médias
	1	2		
5	1,72	1,58	3,30	1,65
10	1,88	1,82	3,70	1,85
15	1,55	1,58	3,13	1,56
20	1,60	1,60	3,20	1,60
25	1,55	1,59	3,14	1,57
			16,47	1,65

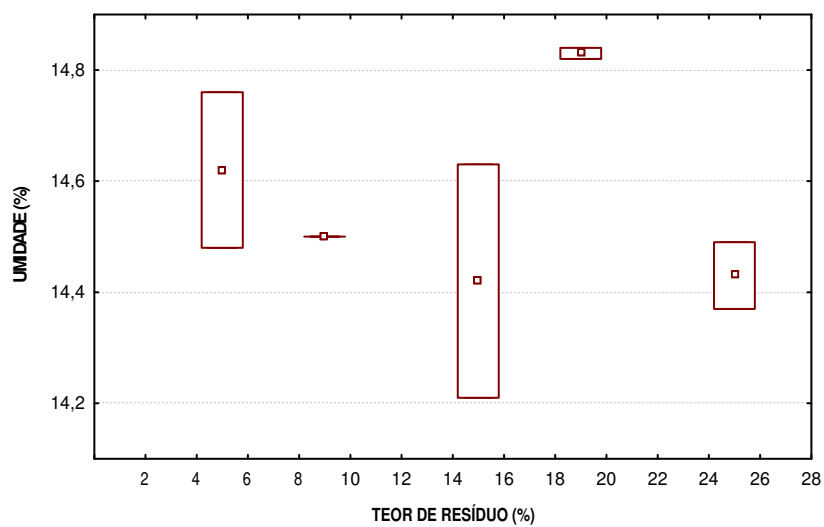


Figura 4.10 – Gráfico de caixa para os valores do teor de umidade (%) (mistura solo-residuo)

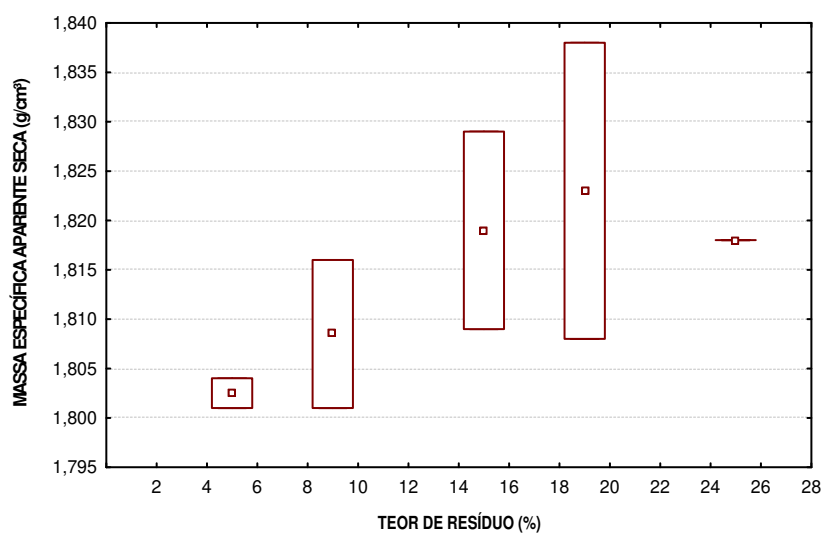


Figura 4.11 - Gráfico de caixa para os valores da massa específica aparente seca (g/cm³) (mistura solo-residuo)

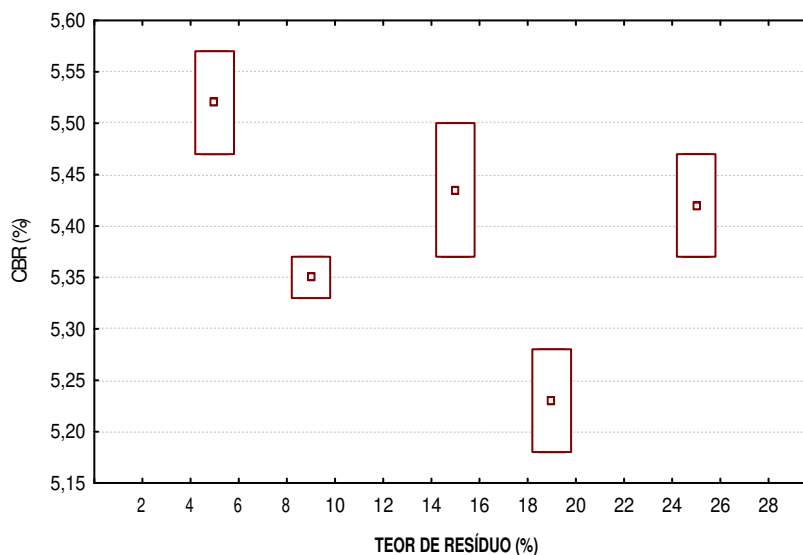


Figura 4.12 - Gráfico de caixa para os valores de CBR (%) (mistura solo-residuo)

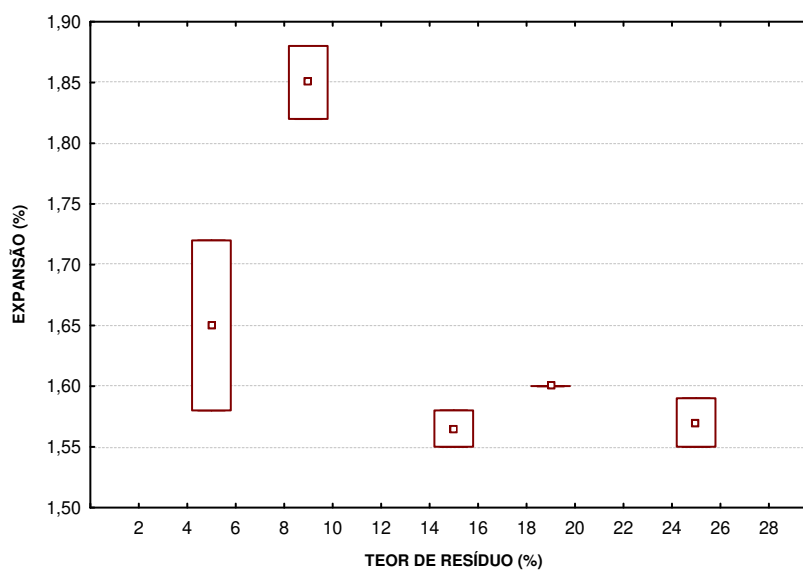


Figura 4.13 - Gráfico de caixa para os valores da expansão (%) (mistura solo-residuo)

Tabela 4.27 - Análise da variância dos efeitos da adição do resíduo no solo sobre a variável teor de umidade ótima (%) com a realização do ensaio de CBR

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de resíduo	0,233	4	0,058	2,16	0,209864
Erro	0,135	5	0,027		
Total	0,368	9			

**Tabela 4.28 - Análise da variância dos efeitos da adição do resíduo no solo sobre a variável massa específica aparente seca ( $g/cm^3$ ) com a realização do ensaio de CBR**

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de resíduo	0,00057	4	0,00014	0,9	0,515909
Erro	0,00077	5	0,00015		
Total	0,00134	9			

**Tabela 4.29 - Análise da variância dos efeitos da adição do resíduo no solo sobre a variável CBR (%)**

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de resíduo	0,0940	4	0,0235	4,85	0,056848
Erro	0,0243	5	0,0049		
Total	0,1183	9			

**Tabela 4.30 - Análise da variância dos efeitos da adição do resíduo no solo sobre a variável expansão (%) com a realização do ensaio de CBR**

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de resíduo	0,11216	4	0,02804	10,91	0,010986
Erro	0,01285	5	0,00257		
Total	0,12501	9			

Nas **Tabelas 4.31 a 4.34** são apresentados os valores obtidos para umidade ótima (%), massa específica aparente seca ( $g/cm^3$ ), CBR (%) e expansão (%) para a mistura solo-resíduo-cal com o resíduo oleoso fixo em 25 % e a cal adicionada a mistura nos teores de 3%, 4,5%, 6,0%, 7,5% e 9,0%, seus respectivos gráficos de caixa são apresentados nas **Figuras 4.14 a 4.17**, e suas análises de variâncias estão apresentadas nas **Tabelas 4.35 a 4.38**.

**Tabela 4.31 - Valores dos teores de umidades (%) com a realização do ensaio de CBR (mistura solo-resíduo-cal)**

Teores de cal (%)	Umidade (%)			Totais	Médias
	1	2	3		
3	16,73	16,69	16,90	50,32	16,77
4,5	17,62	17,21	17,38	52,21	17,40
6,0	17,35	17,70	17,81	52,86	17,62
7,5	17,84	18,10	18,05	53,99	18,00
9,0	18,80	18,69	18,47	55,96	18,65
				265,34	17,69

**Tabela 4.32 - Valores de massas específicas (g/cm<sup>3</sup>) com a realização do ensaio de CBR (mistura solo-resíduo-cal)**

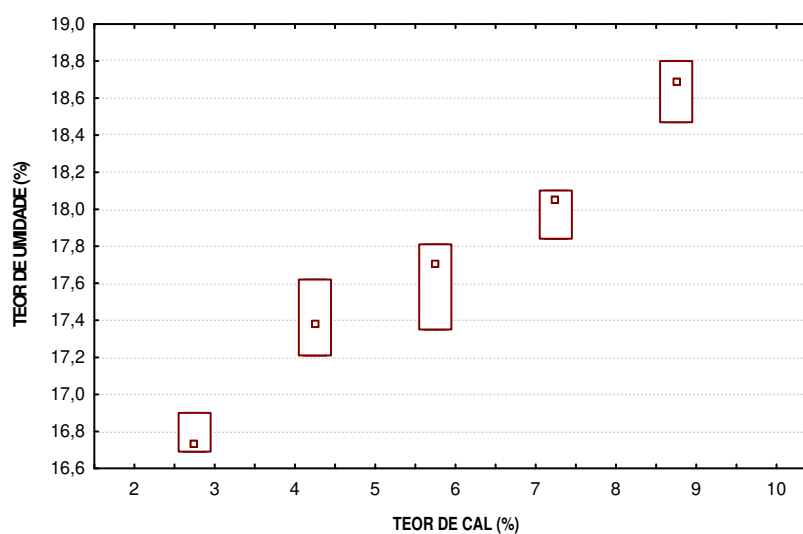
Teores de cal (%)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )			Totais	Médias
	1	2	3		
3	1,748	1,755	1,751	5,254	1,751
4,5	1,728	1,731	1,729	5,188	1,729
6,0	1,697	1,689	1,685	5,071	1,690
7,5	1,655	1,668	1,669	4,992	1,664
9,0	1,639	1,637	1,642	4,918	1,639
				25,42	1,695

**Tabela 4.33 - Valores do CBR (%) (mistura solo-resíduo-cal)**

Teores de cal (%)	CBR (%)			Totais	Médias
	1	2	3		
3	23,83	21,98	24,22	70,03	23,34
4,5	43,21	41,01	42,49	126,71	42,24
6,0	58,74	54,42	57,14	170,30	56,77
7,5	61,53	60,05	63,73	185,31	61,77
9,0	67,39	71,30	70,31	209,00	69,67
				761,35	50,76

**Tabela 4.34 - Valores de expansões (%) com a realização do ensaio de CBR (mistura solo-resíduo-cal)**

Teores de cal (%)	Expansão (%)			Totais	Médias
	1	2	3		
3	0,14	0,12	0,14	0,40	0,13
4,5	0,10	0,10	0,09	0,29	0,10
6,0	0,09	0,09	0,07	0,25	0,08
7,5	0,06	0,07	0,07	0,20	0,07
9,0	0,07	0,07	0,04	0,18	0,06
				1,32	0,09



**Figura 4.14 - Gráfico de caixa para os valores do teor de umidade (%) (mistura solo-resíduo-cal)**

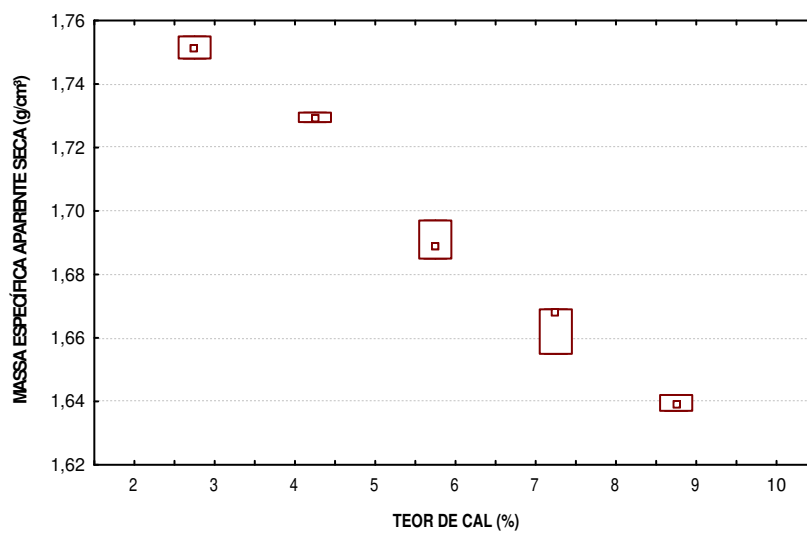


Figura 4.15 - Gráfico de caixa para os valores de massa específica aparente seca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) (mistura solo-residuo-cal)

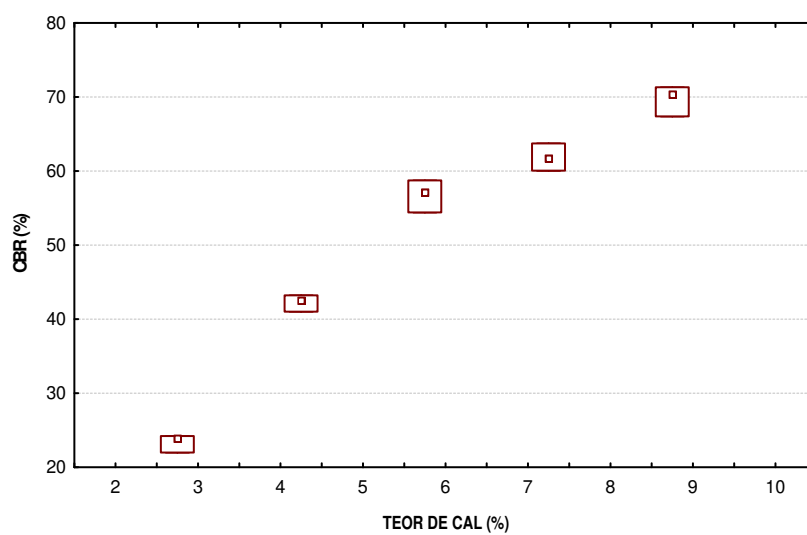


Figura 4.16 - Gráfico de caixa para os valores do CBR (%) (mistura solo-residuo-cal)

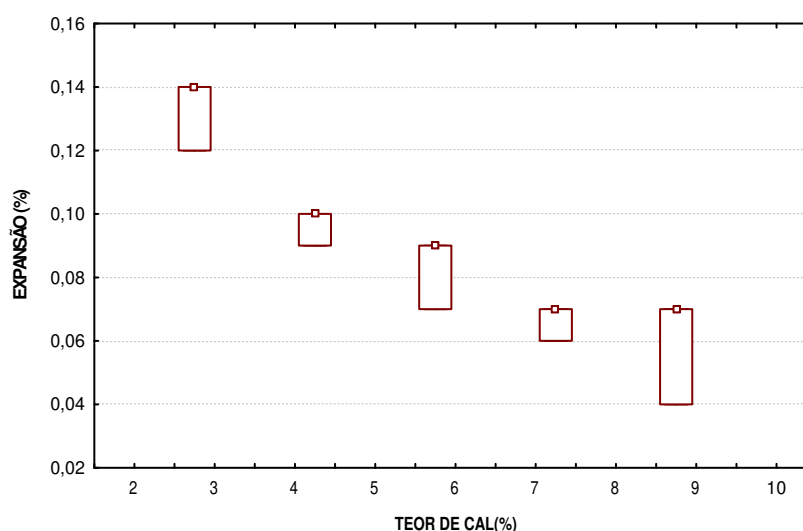


Figura 4.17 - Gráfico de caixa para os valores de expansão (mistura solo-residuo-cal)

Tabela 4.35 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-residuo sobre a variável umidade ótima (%) com a realização do ensaio de CBR

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de cal	5,848	4	1,462	45,7	0,000002
Erro	0,320	10	0,032		
Total	6,168	14			

Tabela 4.36 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-residuo sobre a variável massa específica aparente seca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) através do ensaio de CBR

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de cal	0,02530	4	0,00633	265	0,000000
Erro	0,00024	10	0,00002		
Total	0,02524	14			

Tabela 4.37 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-residuo sobre a variável CBR (%)

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de cal	4017,25	4	1004,31	334,29	0,000000
Erro	30,04	10	3,00		
Total	4047,29	14			



**Tabela 4.38 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável expansão (%) com a realização do ensaio de CBR**

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de cal	0,010173	4	0,002543	20,0789	0,000091
Erro	0,001267	10	0,000127		
Total	0,01144	14			

Nas **Tabelas 4.39 a 4.41** são apresentados os valores obtidos através do ensaio de resistência à compressão simples para umidade ótima (%), massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ ) e resistência à compressão simples (MPa) para a mistura solo-resíduo-cal com o resíduo oleoso fixo em 25 % e a cal adicionada a mistura nos teores de 4,5% e 9,0%, seus respectivos gráficos de caixa são apresentados nas **Figuras 4.18 a 4.20**, e suas análises de variâncias estão apresentadas nas **Tabelas 4.42 a 4.44**.

**Tabela 4.39 - Valores de umidades (%) dos ensaios de resistência à compressão simples**

Teores de cal (%)	Umidade (%)			Totais	Médias
	1	2	3		
4,5	17,47	17,54	17,41	52,42	17,47
9,0	18,57	18,67	18,52	55,76	18,59
				108,18	18,03

**Tabela 4.40 - Valores de massas específicas ( $\text{g/cm}^3$ ) do ensaio de resistência à compressão simples**

Teores de cal (%)	Densidade ( $\text{g/cm}^3$ )			Totais	Médias
	1	2	3		
4,5	1,730	1,743	1,738	5,211	1,737
9,0	1,645	1,638	1,648	4,931	1,644
				10,142	1,690

**Tabela 4.41 - Valores de resistências à compressão simples (MPa)**

Teores de cal (%)	Resistência c. simples (MPa)			Totais	Médias
	1	2	3		
4,5	0,76	0,70	0,76	2,22	0,74
9,0	0,94	0,98	1,00	2,92	0,97
				5,14	0,86

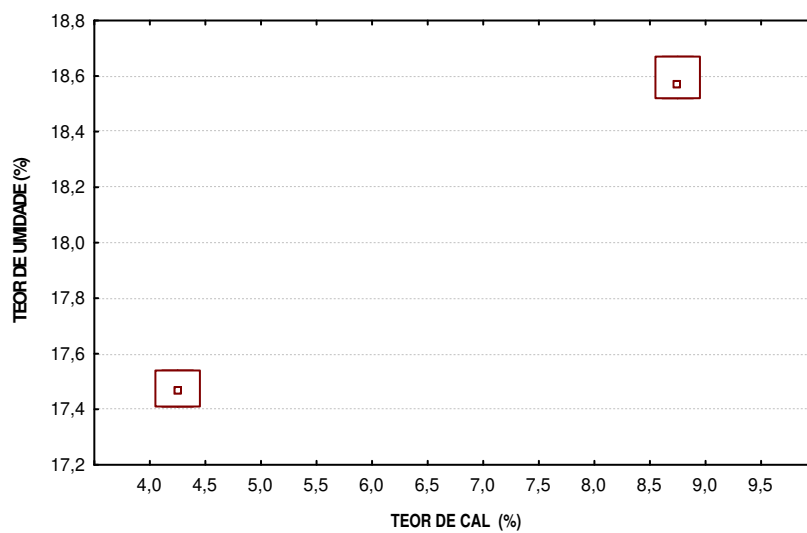


Figura 4.18 - Gráfico de caixa para os valores do teor de umidade (%) na resistência à compressão simples

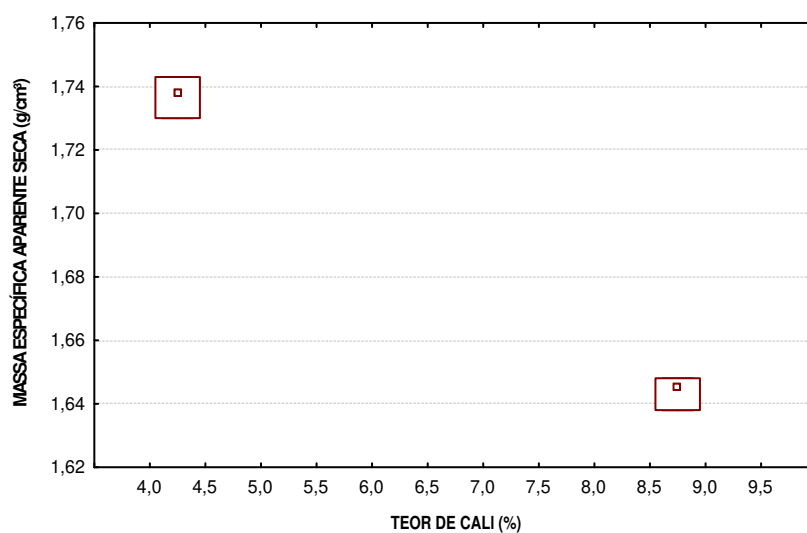


Figura 4.19 - Gráfico de caixa para os valores da massa específica aparente seca (g/cm³) na resistência à compressão simples

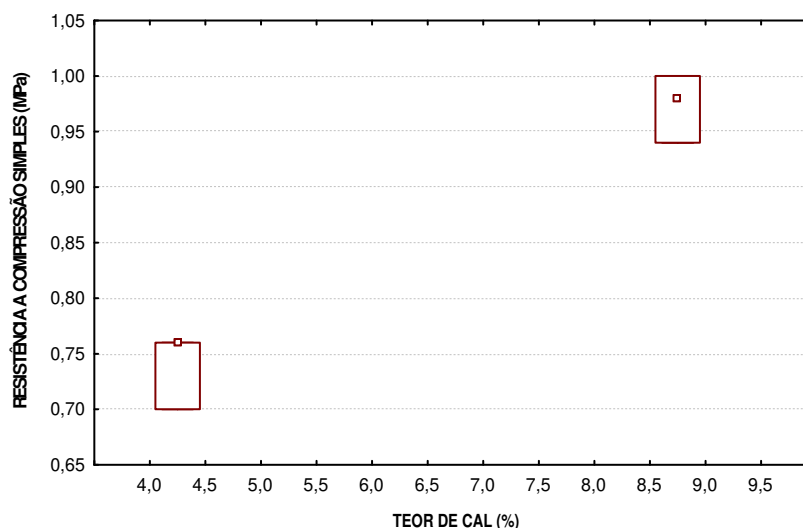


Figura 4.20 - Gráfico de caixa para os valores da resistência à compressão simples (MPa)

Tabela 4.42 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável umidade ótima (%) através do ensaio de resistência à compressão simples

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de cal	1,859	1	1,859	369,4	0,000043
Erro	0,020	4	0,005		
Total	1,879	5			

Tabela 4.43 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável massa específica aparente seca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) através do ensaio de resistência à compressão simples

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de cal	0,01307	1	0,01307	376,9	0,000041
Erro	0,00014	4	0,00003		
Total	0,01321	5			

Tabela 4.44 - Análise da variância referente aos efeitos da adição de cal na mistura solo-resíduo sobre a variável resistência à compressão simples (MPa)

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Media Quadrática	F	Valo P
Teor de cal	0,081667	1	0,081667	76,562	0,000940
Erro	0,004267	4	0,001067		
Total	0,085934	5			

Podemos inferir no que se refere à análise de variância, que a incorporação do resíduo ao solo não interferiu nos valores obtidos do teor umidade (%), da massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ ) e do CBR (%), quando comparados aos mesmos valores para o solo puro.

Após escolha de um percentual de 25% do resíduo oleoso e os sucessivos incrementos do teor da cal na mistura, obtivemos como consequência alterações significativas nos valores obtidos do teor umidade (%), da massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ ) e do CBR (%), quando comparados aos mesmos valores para o solo puro.

Os resultados das análises de variância indicam que houve um aumento do teor de umidade (%), enquanto que a massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ ) diminuiu quando comparados ao solo no seu estado natural. Atribui-se este comportamento ao maior teor de umidade para a obtenção da respectiva massa específica seca máxima das amostras solo argiloso-resíduo-cal e às partículas de cal, substituindo uma parcela dos grãos de massa específica superior. Vale salientar que a cal hidratada é havida por água e possui propriedade de retenção de água elevada.

Os valores de CBR sofreram alterações com elevados ganhos de resistência quando comparados com aqueles obtidos para o solo em seu estado natural. Para a expansão observou-se uma acentuada diminuição em seus valores. Ressalta-se que a medida que o teor de cal foi adicionado a mistura tais comportamentos tornavam-se mais evidentes.

## CAPÍTULO 5

### 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

#### 5.1 - CONCLUSÕES

Apresentam-se neste trabalho, os resultados de uma pesquisa que teve como objetivo utilizar a estabilização química e solidificação, com o uso do resíduo oleoso gerado nas atividades de exploração e produção de petróleo, em solo para uso em camadas de bases e ou sub-bases de pavimentos rodoviários.

O resíduo oleoso de petróleo é um material não segregado proveniente de vários setores da indústria do petróleo.

Observou-se, que não houve incrementos ou diminuições significativas nos valores obtidos para o CBR quando foram adicionados vários percentuais de resíduo oleoso (5%, 10%, 15%, 20% e 25%) em relação ao peso da amostra de solo, bem como nos valores de umidade ótima (%) e massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ ). Em relação à expansão (%) observou-se pequenas variações.

Após a incorporação da cal ao processo, foram observados aumentos significativos nos valores de CBR (%), no teor da umidade ótima (%), e uma diminuição dos valores de massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ ) e expansão (%). O ganho de resistência, também, foi observado com os resultados obtidos com ensaios de compressão simples realizados para as misturas contendo 4,5% e 9,0% de cal.

Os valores de CBR exigidos, pelas especificações de serviço DNIT – ES 302/97 e DNIT – ES 304/97 são de = 30% (sub-base) e = 80% (base) respectivamente. As misturas com adições de 4,5%, 6,0%, 7,5% e 9,0% de cal superam os valores recomendados para utilização desses materiais em sub-bases de pavimentos flexíveis. Ao considerarmos os materiais estudados em camadas de bases, observamos que a mistura contendo 9,0% de cal encontra-se muito próxima do sugerido pela norma. Em relação à expansão, todas as misturas apresentaram resultados dentro dos limites pré-estabelecidos pelas referidas normas, que especificam um valor máximo para expansão de 1,0% para materiais utilizados em camadas de sub-base e 0,5% para materiais utilizados em camadas de base.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples para as misturas contendo 4,5% e 9,0% de cal foram acima dos recomendados pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Texas (DOT-Texas, U.E.A), que recomenda uma resistência á compressão simples de no mínimo 0,7 MPa para materiais utilizados em camadas de base e de 0,35 MPa para materiais utilizados em camadas de sub-base, segundo (BATISTA,1976).

Em relação à classificação dos materiais quanto a toxicidade e inerticidade segundo a ABNT NBR-10004, o solo, o resíduo oleoso e a mistura classificam-se como “Resíduo Classe II A”. Os resultados obtidos para os constituintes químicos da mistura solo-resíduo-cal (Resíduo oleoso = 25%; teor de cal = 9,0%) foram inferiores aos obtidos individualmente para o solo e para o resíduo oleoso. Esta redução deve-se ao processo de estabilização química e solidificação que resultou em um melhor encapsulamento dos referidos constituintes.

## 5.2 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

A pesquisa realizada utilizando o resíduo oleoso gerado nas atividades de E & P de Petróleo, deve ser vista como um estudo inicial para outras pesquisas que envolvam o aperfeiçoamento das atividades propostas.

Com isso, sugere-se:

- realizar um estudo sobre os impactos ambientais na região, provocados pela disposição de rejeito do resíduo oleoso de forma irregular, e quais as conseqüências que este material venha a afetar o meio ambiente;

- analisar o resíduo oleoso quanto a: inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade, obtendo assim uma classificação mais completa do mesmo segundo a ABNT – NBR 10004;

- executar e observar o comportamento de um trecho experimental utilizando a mistura solo-resíduo-cal com as proporções estudadas neste trabalho;

- analisar a Resistência à Compressão Simples para misturas, solo-resíduo-cal, contendo outros teores de cal;

- estudar a influência do tempo de cura nas caracterizações mecânicas e químicas das misturas.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGOSTINI, R. M. Solidificação/Estabilização de Resíduos Sólidos Oleosos de Atividades de Exploração e Produção de Óleo e Gás em Matrizes de Cimento. Dissertação de Mestrado, UES, Vitória-ES, 2002.

ALVES, FRANCISCO. O que está sendo feito com os resíduos industriais? Revista Saneamento Ambiental, Nº 45, Nov/Dez, p 16-24, 1998.

ARIDE, S. Uso do Resíduo Oleoso das Atividades de Extração de Petróleo em Manutenção de Estradas – Um enfoque econômico e ambiental. Dissertação de Mestrado, UFES, Vitória, 2003.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Fabricação de blocos pré-moldados de concreto para pavimentação: pratica recomendada. 2 ed. São Paulo, 16p, 1995.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Meio-fio pré-moldado de concreto. 3 ed. São Paulo, 16p, 1997.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-6457. Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-6508. Determinação da massa específica dos sólidos do solo. Rio de Janeiro, 1984.

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

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-10004. Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-10005. Procedimento para obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-10006. Procedimento para obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-10007. Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-12024. Solo cimento – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-12025. Solo cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990.

BAPTISTA, C. N. Pavimentação: Compactação dos Solos no Campo, Camadas de Base e Estabilização dos solos, 4ª edição, ed. Globo, Rio de Janeiro, 1976.

BEZERRA, A. J. V. Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA – Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural. Dissertação de Mestrado, UFCG, Campina Grande-PB, 2002.

BLECKMANN, C.A.et all. Land treatment of produced oily sand: field results. *Waste Management & Research*. Vol. 15, pp. 223-237, 1997.

BOYTON, R.S. Experiências de estabilização de solos com cal nos Estados Unidos. Conferencia internacional sobre cal. Austrália, 1970.

BRAILE, P.M. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. 18 ed., CETESB, São Paulo, 1993, 764p.

BROMS, B.B. & BOMAN, P. Line Coluns – A new fundadition method, ASCE – J. Geotech, Eng. Div, nº. 105, 1979.

CAVALCANTE, J. R. & CHERIAF, F. M. Ensaio de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados. In: *Reciclagem e Reutilização de Resíduos com Materiais de Construção Civil*. Anais. São Paulo, WORKSHOP, 1996. p: 31-37.

CHIAVERINI, V. Desenvolvimento Sustentado. *Metalurgia e Materiais*. ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. V 50. n 435. p 1066. São Paulo. Novembro, 1994.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resoluções CONAMA: 1984/1986*. Brasília, SEMA, 1986.

CRISTELO, N. M. C. Estabilização de Solos Residuais Graníticos Através da Adição de Cal. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal, 2001.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME- 049/94. Solos - Determinação do Índice de Suporte Califórnia, 1994.



- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, ME- 162/94. Solos – Ensaio de compactação utilizando amostras trabalhadas, 1994.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, ES- 302/97. Pavimentação – Sub-base de solo melhorada com cimento, 1997.
- DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, ES- 304/97. Pavimentação – Base de solo melhorada com cimento, 1997.
- DUEL JR, L. E. PhD. Soil and waste remediation, Hardcover/March 1998.
- DUEL JR, L. E. PhD. Soil and waste remediation. URL: [http- www.spe.org/pdf/ehas\\_soil-waste\\_remediation.pdf](http://www.spe.org/pdf/ehas_soil-waste_remediation.pdf), capturado em 10/09/2006 na internet.
- E & FORUM. Publicação: Exploration and Production (E & P) Waste management guidelines. Report Nº 2.58/196, Setembro de 1993.
- EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Profile of the oil and gas extraction industry. Notebook project oil and gas extraction, Sector Notebook Project, EPA/310-R-99-006. Outubro, 2000.
- FAÉ, I.M.; BRAGA, F. S.; BICALHO, C. V.; SILVA, M. G. Viabilidade Técnica, Ambiental e Econômica da Aplicação da Areia Oleosa em Estradas Vicinais e em Artefatos de Concreto. Relatório final, Vitória-ES, 2002.
- FONSECA, M.H.G.P. Estudo do Resíduo Oleoso das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo na Manutenção de Estradas de Terra – Enfoque ambiental. Dissertação de Mestrado, UFES, Vitória, 2003.
- GUIMARÃES, J.E.P. A Cal: Fundamentos e aplicações na engenharia civil. Associação Brasileira dos Produtores de Cal. São Paulo, 2002, 341p.
- GUIMARÃES, J.E.P. Estabilização de solos com cal – Princípios básicos. Associação Brasileira dos Produtores de Cal. São Paulo, 1992, 102p.
- GUIMARÃES, J.E.P. Tijolos de solo-cal, p 121-130 – Reunião aberta da indústria de cal. São Paulo, 1985, 323p. Anais.
- HERRIN, M. & MITCHELL, H. Soil lime mixtures. Highway Research Board, p 20-32, 1961, 256p.
- INTERSTATE OIL AND GAS COMPACT COMMISSION (IOGCC). Study of State Regulation of Oil and Gas Exploration and Production Waste, California, 1994.
- JATALI, S. Estabilização química de solos residuais graníticos. Revista Geotecnia. Ano 37. n.101. Julho de 2004.

- LEIRIAS, H. S.; SANTOS, A. C.; ARAÚJO, W. M. & CONCIANI, W. Estabilização do Solo Saprolítico da Baixada Cuiabana com Adição de Cinza da Casca de Arroz. In: Simpósio de Solos Tropicais e Processos Erosivos, Goiânia, 2002.
- LEITE, L. T. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas - Instituto de Tecnologia do Paraná. Paraná, 2005.
- LIMA, D.C.; RÖHM, S. A. & BARBOSA, P. S. A. Estabilização de solos II – Técnicas e aplicações a solos da microrregião de Viçosa. Empresa Universitária, Viçosa-MG, 32p, 1993.
- LIMA, F. C. Resíduo Proveniente do Corte de Rochas Ornamentais: Uma Alternativa de Utilização na Pavimentação. Dissertação de Mestrado, UFCG, Campina Grande-PB, 2003.
- LIMA, M. S. Utilização do Resíduo de Caulim para Uso em Blocos de Concreto sem Função Estrutural. Dissertação de Mestrado. UFCG, Campina Grande-PB, 2005.
- MARTINS, G. B. H. Práticas Limpas Aplicadas às Indústrias Têxteis de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis-SC, 1997.
- MEDEIROS, E. IV Fórum Internacional de Direito Ambiental. Jornal do CREA, fevereiro/março, 2002. p 1-2.
- NEDER, Lúcia de T. C. Tratamento de Resíduos Industriais Perigosos – Tecnologia do encapsulamento por complexos argilominerais. Tese de Doutorado, Departamento de saúde ambiental da Faculdade de Saúde Pública, USP, São Paulo, 1998.
- OLIVEIRA, D. F. Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Blocos de Concreto Produzidos com a Utilização de Entulho da Construção Civil. Tese de Doutorado, UFCG. Campina Grande-PB, 2004.
- PEREIRA, R. S.; MACHADO, C. C.; e CARVALHO, C. A. B. de. Aplicações de misturas solo-grits em estradas florestais: resistência mecânica via CBR. Revista Árvore, Viçosa-MG, v. 30, p. 619-627, 2006.
- RIZZO, A. C. L. & SANTOS, R. et al. Bioremediation of Crude Oil Contaminated Soil, In: Proceedings of the Fourth International Congress on Environmental Geotechnics, Rio de Janeiro, 2002.
- ROLIM, Mario Monteiro. Caracterização Físico-Mecânica de Misturas de Solo, Cal e Resíduo “Água de Cola”. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, São Paulo, 1999.
- SILVA, M. G.; SILVA, V. G. Construção civil e meio ambiente, caminhos para uma atitude ambiental responsável. Revista engenharia, ciência e tecnologia . Ano 2. n.8. Fevereiro de 1999.
- SOUZA, A. A. C. Investigação Geoambiental de Solos Argilosos Contaminados por Resíduos de Petróleo. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2001,

THOMAS, J.E. Fundamentos da engenharia do petróleo. 1 ed. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2001. 271 p.

TRINDADE, T.P. Estabilização química do subleito de estradas - Influência do tempo decorrido entre a mistura e a compactação na resistência mecânica de misturas Solo-Rbi Grade 81 - Revista Árvore, Viçosa, 2005.

THIENSEN, M. P. Metodologia de minimização aplicada no gerenciamento de resíduos. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa –PB, Anais, Setembro, 2001.

TRISTÃO, M. L. B. Caracterização química de resíduos de E & P para destinação em cimenteiras. 1º Seminário sobre proteção ambiental na exploração e produção de petróleo, Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP), Rio de Janeiro, 2001.

VARGAS, Milton. Introdução à Mecânica dos Solos, Mc Graw-Hill do Brasil, 1977.

VILLARIM, S. C. Estabilização de Solos Lateríticos com Cal: Avaliação por um Processo Acelerado de Cura. Dissertação de Mestrado, UFCG, Campina Grande, 1995.

WILES, C.C. A Review of Solidification/Stabilization Technology. Journal of Hazardous Materials, Vol. 14, pp.5-21, 1987.

## ANEXOS

### Anexo A – Análise granulométrica

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação.

### Anexo B – Difração a laser

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos ensaios com o analisador de partículas por difração a laser.

### Anexo C – Ensaio de compactação

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos ensaios de compactação.

### Anexo D – Ensaio de CBR e expansão

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos ensaios de CBR e expansão.

### Anexo E – Ensaio de compressão simples

Constam planilhas de cálculos resultantes dos ensaios de compressão simples.

### Anexo F – Análise química dos constituintes

Constam os laudos dos ensaios de espectrofotometria por absorção atômica e análise química elementar, realizados com as amostras dos extratos solubilizados e lixiviados (solo, resíduo oleoso e mistura solo-resíduo-cal) e do resíduo oleoso em seu estado natural, respectivamente.

### Anexo G – Quantitativos.

Detalha as quantidades de materiais (solo, resíduo oleoso e cal), utilizados na execução de um trecho de 1000m x 7,0m x 0,20m, para as misturas contendo 4,5% e 9,0% de cal.

### Anexo H – Esquema geral para pesquisas com a utilização de resíduos

## **ANEXO A – Análise Granulométrica**

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação.

### Análise granulométrica para o solo

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO	
UFCG - CTRN - DEC - ATECEL							Nº 01	
SOLO								
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA						RESUMO DA GRANULOMETRIA		
Cap .	Pbh	Pbs	Tara	Pss	Pa	h %	%Pedregulho > 2,0	12,76
B	79,40	76,44	16,77	59,67	2,96	4,96	%Areia grossa: 2,0 a 0,42	12,56
E	74,50	71,97	16,70	55,27	2,53	4,58	%Areia fina: 0,42 a 0,074	28,05
DADOS			média:			4,77	% - Silte: 0,074 a 0,005	25,06
Mt - Massa da Amostra Seca ao Ar						1500,00	% - Argila < 0,005	21,57
Ms - Massa Total da Amostra Seca						1440,09	% - Total	100
Mg - Massa do Material Seco, Retido na # 2.0 mm						183,81	% - Retido entre 2.0 e 0.074	40,61
Mh - Massa Úmida do material para peneiramento fino ou sedimentação						200,00	% - Silte + argila	46,63
							% - Umidade higroscópica	4,77
N: % do mat. que passa na # de 2,00 mm				87,24	Massa Específica dos Grãos do Solo:		2,662	

### GRANULOMETRIA

PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL				PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL					
# (mm)	Material Retido		% passa da amostra total	# (mm)	Material Retido		% passa da amostra total		
	Massa (g)	Mi (g)			Massa(g)	Mi (g)			
50	0,00	0,00	100,00	1,2	6,56	6,56	84,24		
38	0,00	0,00	100,00	0,6	11,00	17,56	79,21		
25,4	0,00	0,00	100,00	0,42	9,92	27,48	74,68		
19,1	0,00	0,00	100,00	0,25	12,07	39,55	69,16		
9,5	54,44	54,44	96,22	0,15	30,10	69,65	55,41		
4,8	69,27	123,71	91,41	0,074	19,20	88,85	46,63		
2	60,10	183,81	87,24						
Lavar na # 2,0 mm				Sedimentação :		80,00 g	Lavar na # 0,074 mm		
Cáp.Nº:	6	Prov. Nº:	3	Cáp.Nº:	AG-01	Dens. Nº:	09\95	Cáp.Nº:	AP-01

### SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora Observada	Tempo Decorrido	L	T (°C)	Ld	a	Diâmetro (mm)	Amostra Total (%)
01/08/2006	07:22:30	0,50	1,026	25	1,0022	13,20	0,066	44,51
01/08/2006	07:23:00	1,00	1,025	25	1,0022	13,50	0,047	41,68
01/08/2006	07:24:00	2,00	1,023	25	1,0022	13,90	0,034	38,03
01/08/2006	07:26:00	4,00	1,021	25	1,0022	13,70	0,024	34,37
01/08/2006	07:30:00	8,00	1,020	25	1,0022	13,80	0,017	32,54
01/08/2006	07:37:00	15,00	1,018	25	1,0022	14,40	0,013	28,89
01/08/2006	07:52:00	30,00	1,017	25	1,0022	14,60	0,009	27,06
01/08/2006	08:22:00	60,00	1,016	25	1,0022	14,80	0,006	25,23
01/08/2006	09:22:00	120,00	1,014	25	1,0022	15,20	0,005	21,57
01/08/2006	11:22:00	240,00	1,013	26	1,0021	15,40	0,003	19,75
01/08/2006	15:22:00	480,00	1,012	27	1,0020	15,70	0,002	17,92
02/08/2006	07:22:30	1440,00	1,011	25	1,0022	15,90	0,001	16,09

### Análise granulométrica para o resíduo oleoso

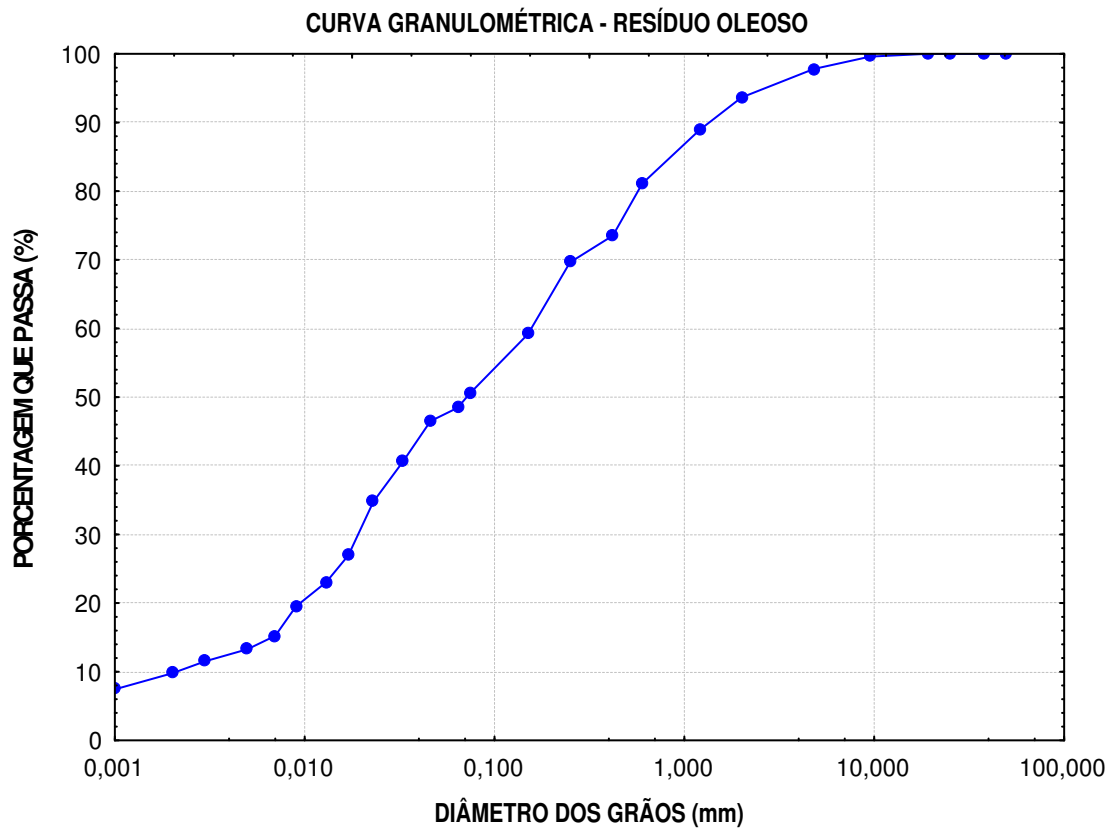
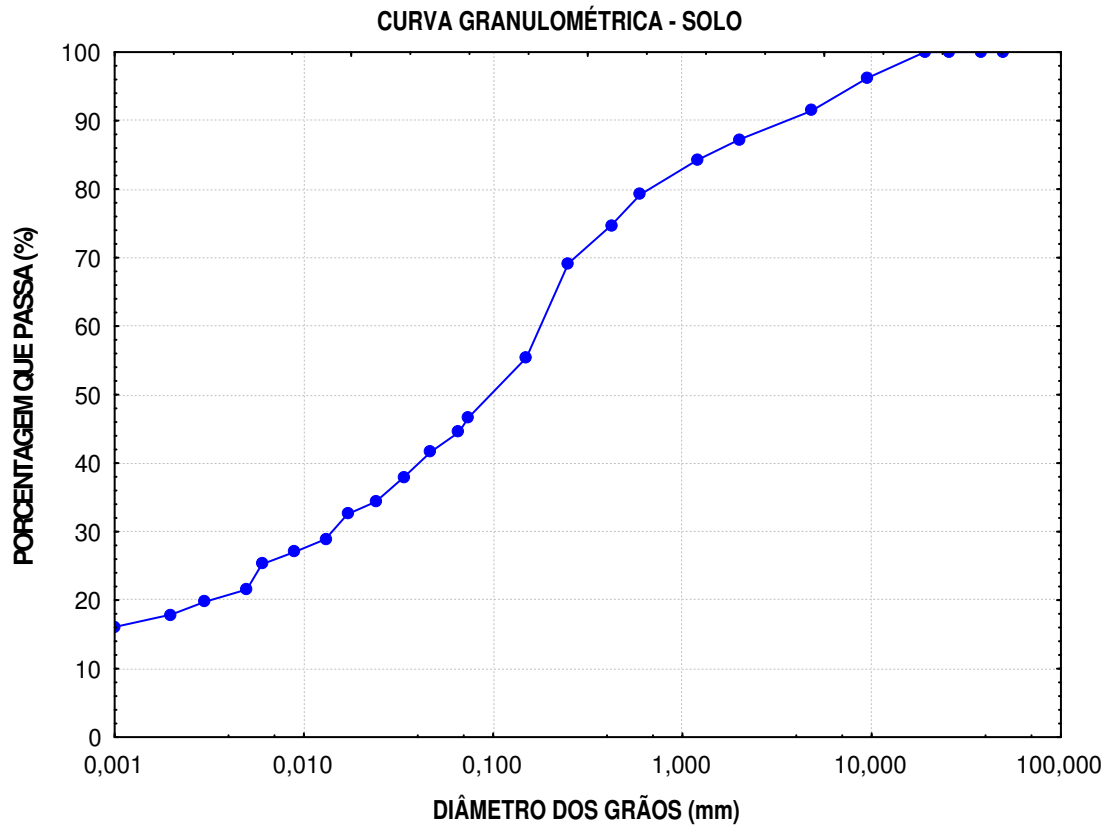
GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO	
UFCG - CCT - DEC - ATECEL							Nº 02	
RESÍDUO OLEOSO								
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA						RESUMO DA GRANULOMETRIA		
Cáp.	Pbh	Pbs	Tara	Pss	Pa	h %	%-Pedregulho > 2,0	6,35
9	90,35	86,24	16,17	70,07	4,11	5,87	%-Areia grossa: 2,0 a 0,42	20,11
8	85,30	81,58	16,01	65,57	3,72	5,67	%-Areia fina: 0,42 a 0,074	23,04
DADOS				média:		5,77	%- Silte: 0,074 a 0,005	37,22
Mt - Massa da Amostra Seca ao Ar						1500,00	% - Argila < 0,005	13,28
Ms - Massa Total da Amostra Seca						1423,11	% - Total	100
Mg - Massa do Material Seco, Retido na # 2.0 mm						90,43	% - Retido entre 2.0 e 0.074	43,14
Mh - Massa Úmida do material para peneiramento fino ou sedimentação						200,00	% - Silte + argila	50,50
							% - Umidade higroscópica	5,77
N: % do mat. que passa na # de 2,00 mm				93,65	Massa Específica dos Grãos do Solo:		2,729	

### GRANULOMETRIA

PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL				PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL					
# (mm)	Material Retido		% passa da amostra total	# (mm)	Material Retido		% passa da amostra total		
	Massa (g)	Mi (g)			Massa(g)	Mi (g)			
50	0,00	0,00	100,00	1,2	9,58	9,58	88,90		
38	0,00	0,00	100,00	0,6	15,73	25,31	81,11		
25,4	0,00	0,00	100,00	0,42	15,29	40,60	73,54		
19,1	0,00	0,00	100,00	0,25	7,86	48,46	69,65		
9,5	5,66	5,66	99,60	0,15	21,12	69,58	59,19		
4,8	25,86	31,52	97,79	0,074	17,53	87,11	50,51		
2	58,91	90,43	93,65						
Lavar na # 2,0 mm				Sedimentação:		80,00 g	Lavar na # 0,074 mm		
Cáp. Nº:	6	Prov. Nº:	3	Cáp. Nº:	AG-01	Dens. Nº:	09/95	Cáp. Nº:	AP-01

### SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora Observada	Tempo Decorrido	L	T (°C)	Ld	a	Diâmetro (mm)	Amostra Total (%)
01/08/2006	07:22:30	0,50	1,027	25	1,0022	13,00	0,064	48,45
01/08/2006	07:23:00	1,00	1,026	25	1,0022	13,20	0,046	46,50
01/08/2006	07:24:00	2,00	1,023	25	1,0022	13,90	0,033	40,64
01/08/2006	07:26:00	4,00	1,020	25	1,0022	13,80	0,023	34,78
01/08/2006	07:30:00	8,00	1,016	25	1,0022	14,80	0,017	26,96
01/08/2006	07:37:00	15,00	1,014	25	1,0022	15,20	0,013	23,05
01/08/2006	07:52:00	30,00	1,012	25	1,0022	15,70	0,009	19,15
01/08/2006	08:22:00	60,00	1,010	25	1,0022	16,20	0,007	15,24
01/08/2006	09:22:00	120,00	1,009	25	1,0022	16,40	0,005	13,28
01/08/2006	11:22:00	240,00	1,008	26	1,0021	16,70	0,003	11,53
01/08/2006	15:22:00	480,00	1,007	27	1,0020	16,90	0,002	9,77
02/08/2006	07:22:30	1440,00	1,006	25	1,0022	17,10	0,001	7,43





**ANEXO B – Difração a laser**

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos ensaios com o analisador de partículas por difração a laser.

Ref da amostra : residuo oleoso de petroleo  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Frank Neto  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : Nenhum  
 Operador : Heber  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 11/07/2006 Hora : 10:28:52  
 Índice med. : 550

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 96  
 Diâmetro a 10% : 2.56 mu  
 Diâmetro a 50% : 22.18 mu  
 Diâmetro a 90% : 55.44 mu  
 Diâmetro médio : 26.10 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

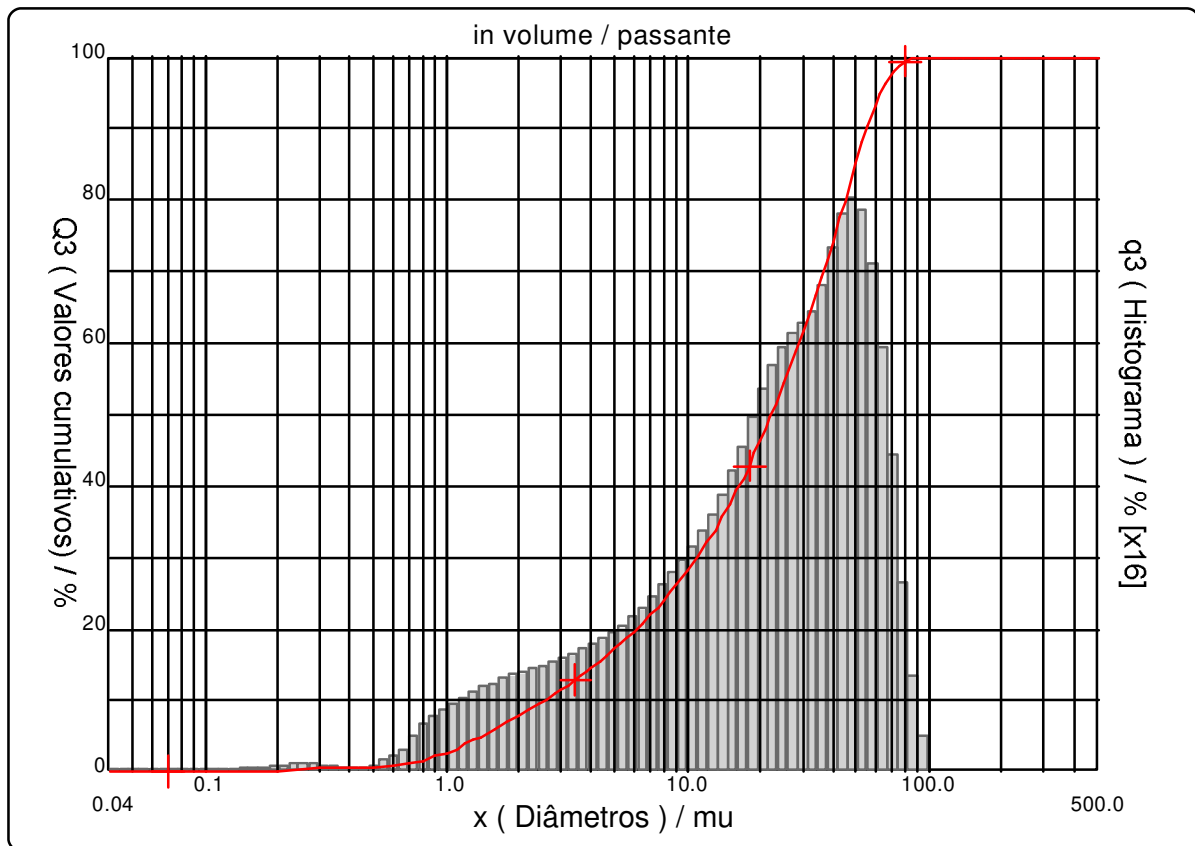
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.03	0.07	0.09	0.33	0.59	1.30	2.69	7.79	11.55	14.60

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	17.26	28.19	46.33	61.57	74.09	85.20	95.86	99.82	100.00	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	8.42	16.39	40.75	49.80	90.00



Ref da amostra : residuo oleoso de petroleo  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Frank Neto  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : Nenhum  
 Operador : Heber  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 11/07/2006 Hora : 10:28:52  
 Índice med. : 550

Ultrasom : 60 s  
 Concentração : 96  
 Diâmetro a 10% : 2.56 mu  
 Diâmetro a 50% : 22.18 mu  
 Diâmetro a 90% : 55.44 mu  
 Diâmetro médio : 26.10 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.03	0.07	0.09	0.21	0.43	0.52	0.59	0.77	1.07	1.56
q3	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.02	0.02	0.07	0.13	0.25
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	2.12	2.69	3.26	3.82	4.37	4.91	5.93	6.89	7.79	8.63
q3	0.32	0.37	0.41	0.44	0.47	0.49	0.52	0.55	0.58	0.60
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	9.42	10.16	10.87	11.55	12.20	12.83	13.44	14.03	14.60	15.43
q3	0.61	0.63	0.65	0.67	0.68	0.70	0.72	0.74	0.75	0.78
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	16.23	17.26	18.00	18.73	19.67	20.82	21.94	23.04	24.11	25.16
q3	0.80	0.84	0.86	0.90	0.92	0.97	1.02	1.08	1.12	1.17
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	26.19	28.19	30.14	32.03	33.88	35.70	37.51	39.30	41.07	42.84
q3	1.22	1.29	1.39	1.47	1.57	1.66	1.78	1.88	1.98	2.10
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	44.59	46.33	48.03	49.70	51.33	54.46	58.84	61.57	64.17	66.70
q3	2.19	2.30	2.36	2.43	2.48	2.54	2.62	2.68	2.73	2.83
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	69.18	71.65	74.09	77.64	79.91	85.20	87.99	90.45	93.21	94.90
q3	2.94	3.09	3.22	3.32	3.38	3.40	3.24	3.03	2.71	2.35
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	96.29	97.98	98.81	99.46	99.82	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	2.02	1.57	1.03	0.68	0.40	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Ref da amostra : Cal  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Macel  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : Nenhum  
 Operador : Heber  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 16/05/2006 Hora : 09:44:20  
 Índice med. : 545

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 132  
 Diâmetro a 10% : 0.86 mu  
 Diâmetro a 50% : 9.42 mu  
 Diâmetro a 90% : 53.78 mu  
 Diâmetro médio : 19.23 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

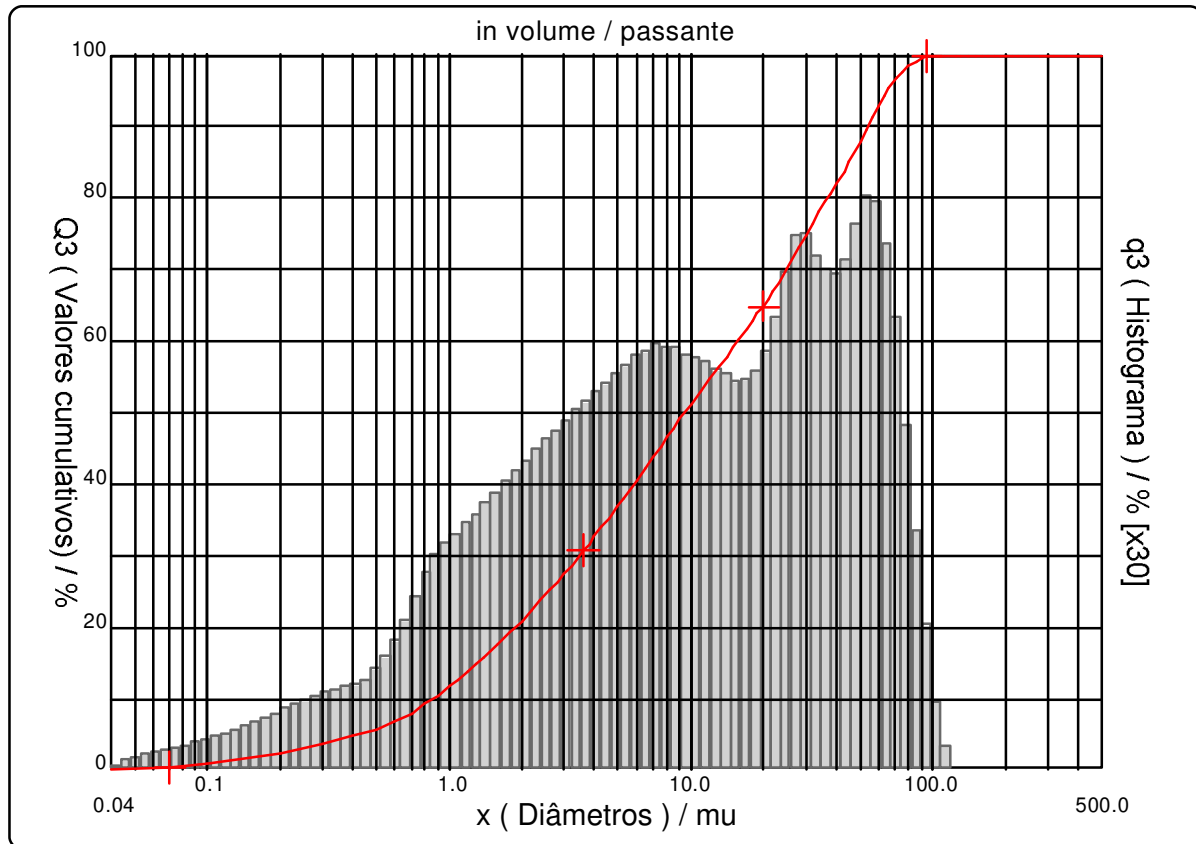
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.04	0.42	0.87	3.06	5.87	8.68	11.71	20.91	27.50	32.69

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	36.98	51.21	64.85	74.90	82.01	87.95	94.94	99.09	99.88	100.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	2.59	5.81	30.12	44.97	112.00



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

Ref da amostra : Cal  
 Type produit : Argila  
 Client : UFCG  
 Comentários : Macel  
 Líquido : Água  
 Agente dispersante : Nenhum  
 Operador : Heber  
 Empresa : UFCG  
 Localização : Campina Grande - PB  
 Data : 16/05/2006 Hora : 09:44:20  
 Índice med. : 545

Ultrassom : 60 s  
 Concentração : 132  
 Diâmetro a 10% : 0.86 mu  
 Diâmetro a 50% : 9.42 mu  
 Diâmetro a 90% : 53.78 mu  
 Diâmetro médio : 19.23 mu  
 Fraunhofer  
 Densidade/Fator : -----  
 Superfície específica : -----  
 Diluição automática : Não / Não  
 Medida./Limp. : 60/60/3  
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

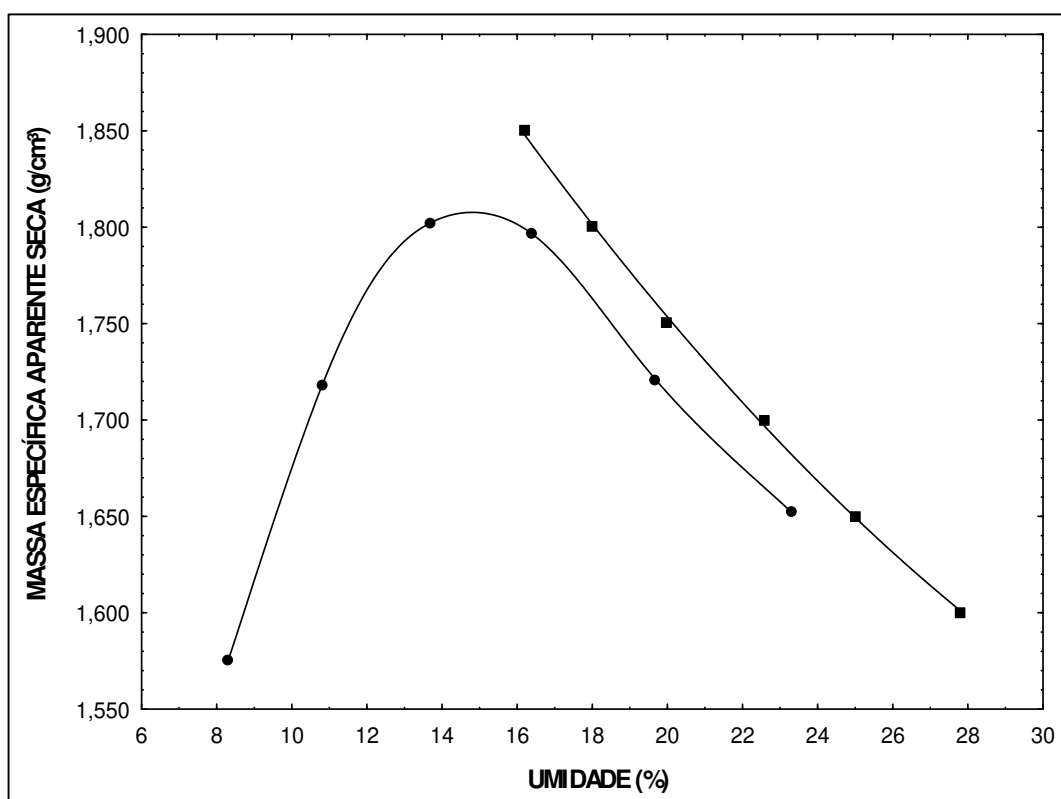
x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.04	0.42	0.87	2.35	3.71	4.86	5.87	6.93	8.07	9.30
q3	0.01	0.05	0.09	0.16	0.25	0.30	0.34	0.43	0.55	0.69
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	10.53	11.71	12.82	13.88	14.88	15.84	17.65	19.34	20.91	22.38
q3	0.78	0.84	0.87	0.91	0.93	0.97	1.01	1.07	1.11	1.15
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	23.77	25.08	26.32	27.50	28.63	29.71	30.74	31.73	32.69	34.05
q3	1.19	1.22	1.25	1.28	1.31	1.33	1.35	1.37	1.40	1.41
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	35.35	36.98	38.14	39.25	40.66	42.31	43.86	45.30	46.64	47.90
q3	1.44	1.46	1.49	1.51	1.53	1.54	1.56	1.56	1.55	1.55
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	49.07	51.21	53.13	54.86	56.43	57.87	59.19	60.42	61.59	62.71
q3	1.53	1.52	1.51	1.49	1.47	1.45	1.43	1.42	1.44	1.46
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	63.79	64.85	65.90	66.95	67.99	70.10	73.09	74.90	76.53	78.03
q3	1.49	1.54	1.61	1.69	1.75	1.89	1.97	1.96	1.89	1.85
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	79.43	80.74	82.01	83.83	85.02	87.95	89.59	91.13	92.98	94.20
q3	1.83	1.81	1.85	1.88	1.96	2.08	2.10	2.09	2.00	1.87
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	95.28	96.75	97.65	98.49	99.09	99.49	99.73	99.88	100.00	100.00
q3	1.74	1.50	1.23	0.97	0.74	0.52	0.33	0.22	0.08	0.00
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu    Q3 : valor cumulativo / %    q3 : Histograma / %

**ANEXO C – Ensaio de compactação**

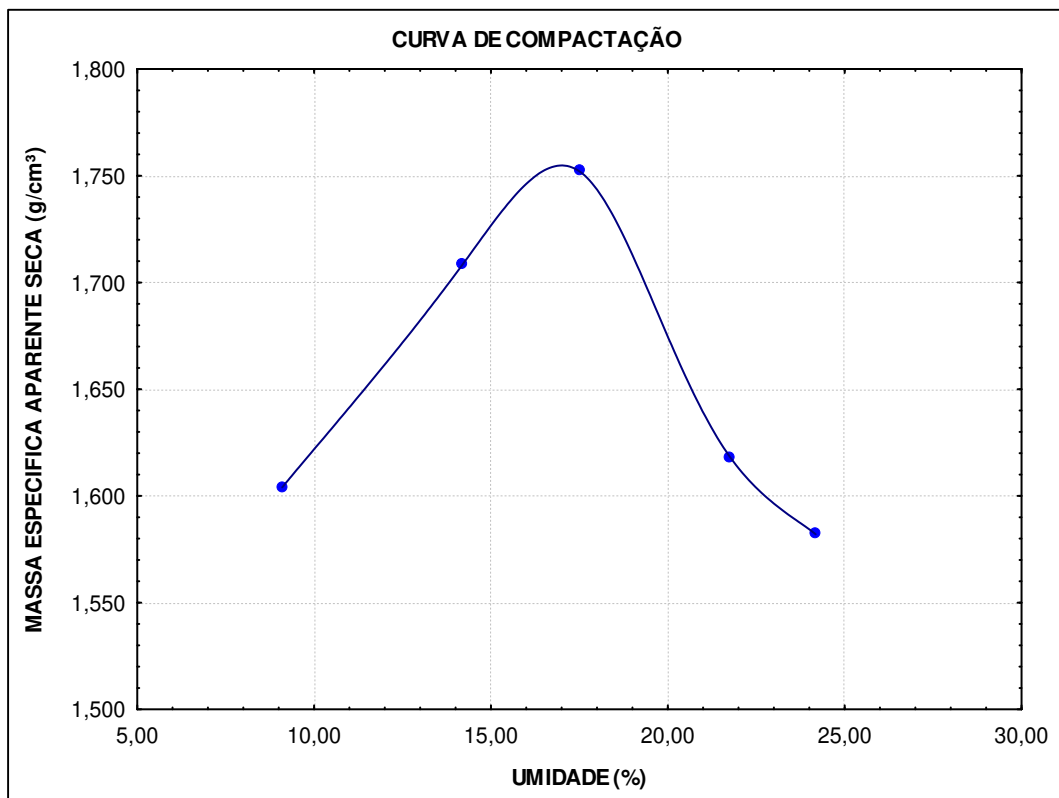
Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos ensaios de compactação.

RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: ATECEL				REGISTRO Nº: 01						
MISTURA: SOLO		LOCAL: MASSARANDUBA		PROFUND.-cm:		γs máx = 1,810 g/cm³						
INTERESSADO: FRANKNETO / DEC / MESTRADO / GEOTECNIA						Hót = 14,70%						
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº:		11		GOLPES/CAMADAS				
CÁPSULA Nº		G	H	VOLUME DO MOLDE (cm³):		2103,85		26 GOLPES				
PESO BRUTO ÚMIDO (g)		77,14	76,58	PESO DO MOLDE (g):		4335						
PESO BRUTO SECO (g)		74,55	73,96	DNIT:		ME - 162/94		Nº DA CAMADAS				
TARA DA CÁPSULA (g)		16,77	15,40	ENERGIA:		INTERMEDIÁRIA		5 CAMADAS				
PESO DA ÁGUA (g)		2,59	2,62									
PESO DO SOLO SECO (g)		57,78	58,56									
UMIDADE (%)		4,48	4,47									
UMIDADE MÉDIA (%)		4,48										
PONTO Nº	PESO BRUTO	PESO DO SOLO	DENS. SOLO	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						UMIDADE	DENS. SOLO	
	ÚMIDO	ÚMIDO	ÚMIDO	CAP Nº	PBU	PBS	PC	PA	PSS	UMIDADE	MÉDIA	SECO
	g	g	g/cm³	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm³
1	7925	3590	1,71	A1	87,70	82,26	15,36	5,44	66,90	8,13	8,31	1,575
				B1	79,55	74,65	16,90	4,90	57,75	8,48		
2	8340	4005	1,90	C1	82,90	76,31	15,91	6,59	60,40	10,91	10,81	1,718
				D1	80,50	74,16	14,95	6,34	59,21	10,71		
3	8645	4310	2,05	E1	74,43	67,14	13,59	7,29	53,55	13,61	13,67	1,802
				F1	74,31	67,10	14,56	7,21	52,54	13,72		
4	8735	4400	2,09	G1	74,10	65,81	15,10	8,29	50,71	16,35	16,36	1,797
				H1	73,48	65,35	15,72	8,13	49,63	16,38		
5	8680	4345	2,06	I1	77,42	67,26	15,99	10,16	51,27	19,82	19,69	1,721
				J1	78,45	68,16	15,54	10,29	52,62	19,56		
6	8620	4285	2,04	L1	74,95	63,68	15,24	11,27	48,44	23,27	23,31	1,652
				M1	76,25	64,91	16,35	11,34	48,56	23,35		



RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: ATECEL		REGISTRO Nº: 02	
MISTURA: SOLO+ 25% RESÍDUO+3% CAL		LOCAL: MASSARANDUBA		PROFUND.-cm: ys máx= 1,756g/cm³	
INTERESSADO: FRANKNETO / DEC / MESTRADO / GEOTECNIA				Hót=16,76%	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº: 8	
CÁPSULA Nº		O	P	GOLPES/CAMADAS	
PESO BRUTO ÚMIDO (g)		42,72	32,45	26 GOLPES	
PESO BRUTO SECO (g)		41,85	31,60	VOLUME DO MOLDE (cm²): 2068,63	
TARA DA CÁPSULA (g)		14,48	7,75	PESO DO MOLDE (g): 4065	
PESO DA ÁGUA (g)		0,87	0,85	DNIT: ME - 162/94	
PESO DO SOLO SECO (g)		27,37	23,85	ENERGIA: INTERMEDIÁRIA	
UMIDADE (%)		3,18	3,56	Nº DA CAMADAS	
UMIDADE MÉDIA (%)		3,37		5 CAMADAS	

PONTO Nº	PESO BRUTO ÚMIDO	PESO DO SOLO ÚMIDO	DENS. SOLO ÚMIDO	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA	DENS. SOLO SECO
				CAP Nº	PBU	PBS	PC	PA	PSS	UMIDADE		
	g	g	g/cm³	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm³
1	7685	3620	1,75	A	56,10	52,50	14,01	3,60	38,49	9,35	9,10	1,604
				B	60,17	56,40	13,82	3,77	42,58	8,85		
2	8100	4035	1,95	C	47,48	43,32	13,89	4,16	29,43	14,14	14,18	1,708
				D	45,51	41,52	13,49	3,99	28,03	14,23		
3	8340	4275	2,07	E	53,60	47,65	13,37	5,95	34,28	17,36	17,51	1,752
				F	47,37	42,30	13,58	5,07	28,72	17,65		
4	8135	4070	1,97	G	37,57	32,15	7,70	5,42	24,45	22,17	21,77	1,618
				H	47,21	41,40	14,22	5,81	27,18	21,38		
5	8085	4020	1,94	I	50,11	43,10	14,17	7,01	28,93	24,23	24,18	1,562
				J	44,02	38,29	14,54	5,73	23,75	24,13		

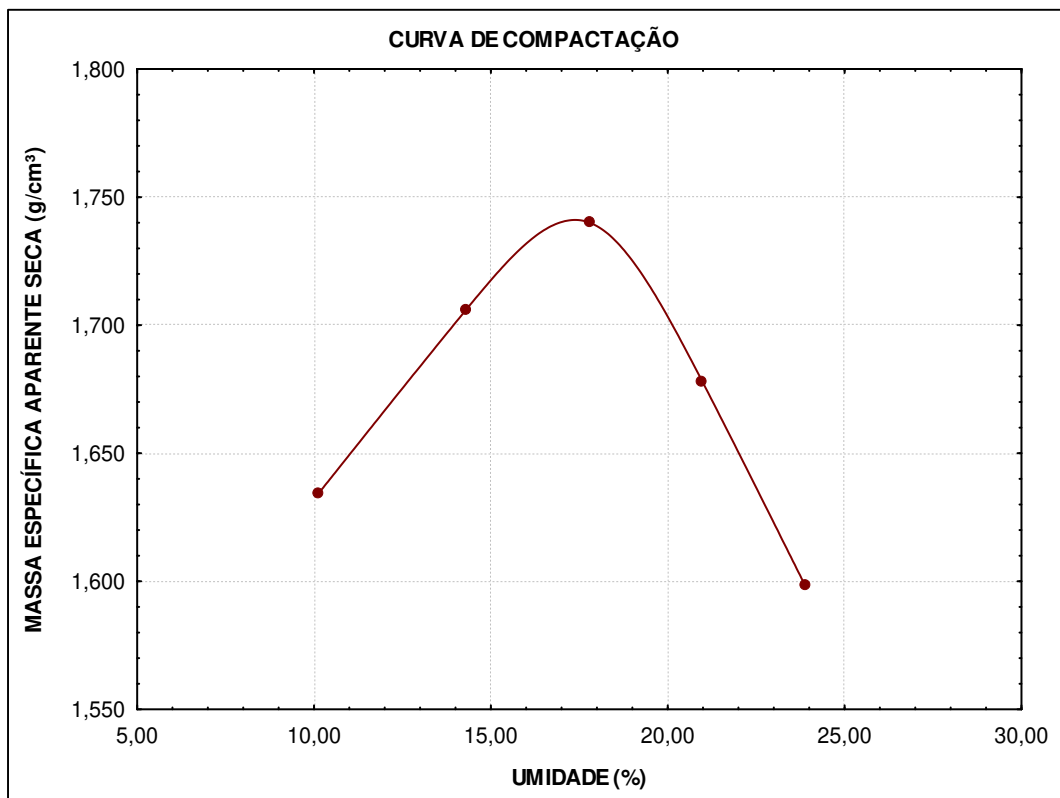




RODOVIA/TRECHO:	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: ATECEL		REGISTRO Nº:03
MISTURA: SOLO + 25% RESÍDUO + 4,5% CAL	LOCAL: MASSARANDUBA	PROFUND.-cm:	γ <sub>s</sub> máx= 1,736g/cm³
INTERESSADO: FRANKNETO / DEC / MESTRADO / GEOTECNIA			Hót = 17,48%

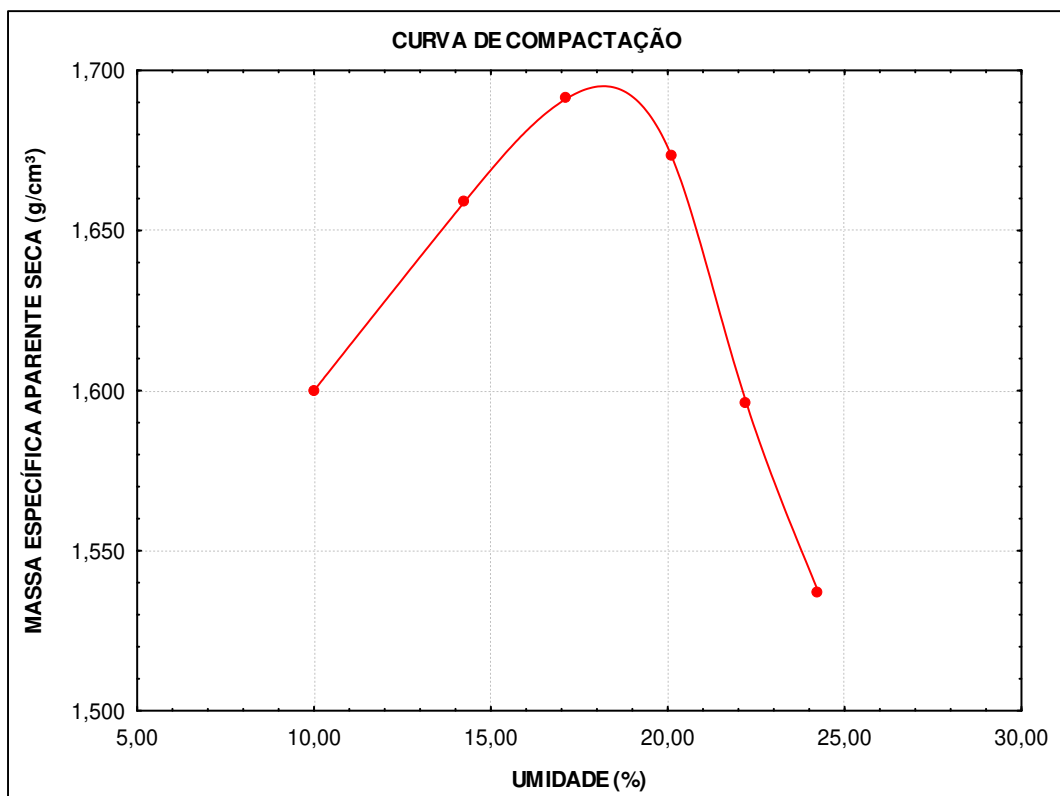
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº:	14	GOLPES/CAMADAS
CÁPSULA Nº	O	P		VOLUME DO MOLDE (cm³):	2103,85	26 GOLPES
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	44,15	40,32		PESO DO MOLDE (g):	4330	
PESO BRUTO SECO (g)	43,20	39,30		DNIT:	ME - 162/94	Nº DA CAMADAS
TARA DA CÁPSULA (g)	14,48	7,75		ENERGIA:	INTERMEDIÁRIA	5 CAMADAS
PESO DA ÁGUA (g)	0,95	1,02				
PESO DO SOLO SECO (g)	28,72	31,55				
UMIDADE (%)	3,31	3,23				
UMIDADE MÉDIA (%)	3,27					

PONTO Nº	PESO BRUTO ÚMIDO	PESO DO SOLO ÚMIDO	DENS. SOLO ÚMIDO	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA	DENS. SOLO SECO
				CAP Nº	PBU	PBS	PC	PA	PSS	UMIDADE		
	g	g	g/cm³	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm³
1	8116	3786	1,80	A	57,13	53,20	14,01	3,93	39,19	10,03	10,11	1,634
				B	61,25	56,86	13,82	4,39	43,04	10,20		
2	8432	4102	1,95	C	48,10	43,97	13,89	4,13	30,08	13,73	14,30	1,706
				D	44,56	40,54	13,49	4,02	27,05	14,86		
3	8642	4312	2,05	E	65,20	57,28	13,37	7,92	43,91	18,04	17,80	1,740
				F	58,10	51,45	13,58	6,65	37,87	17,56		
4	8601	4271	2,03	G	42,00	36,11	7,70	5,89	28,41	20,73	20,98	1,678
				H	45,00	39,61	14,22	5,39	25,39	21,23		
5	8495	4165	1,98	I	55,60	47,58	14,17	8,02	33,41	24,00	23,90	1,598
				J	49,50	42,78	14,54	6,72	28,24	23,80		

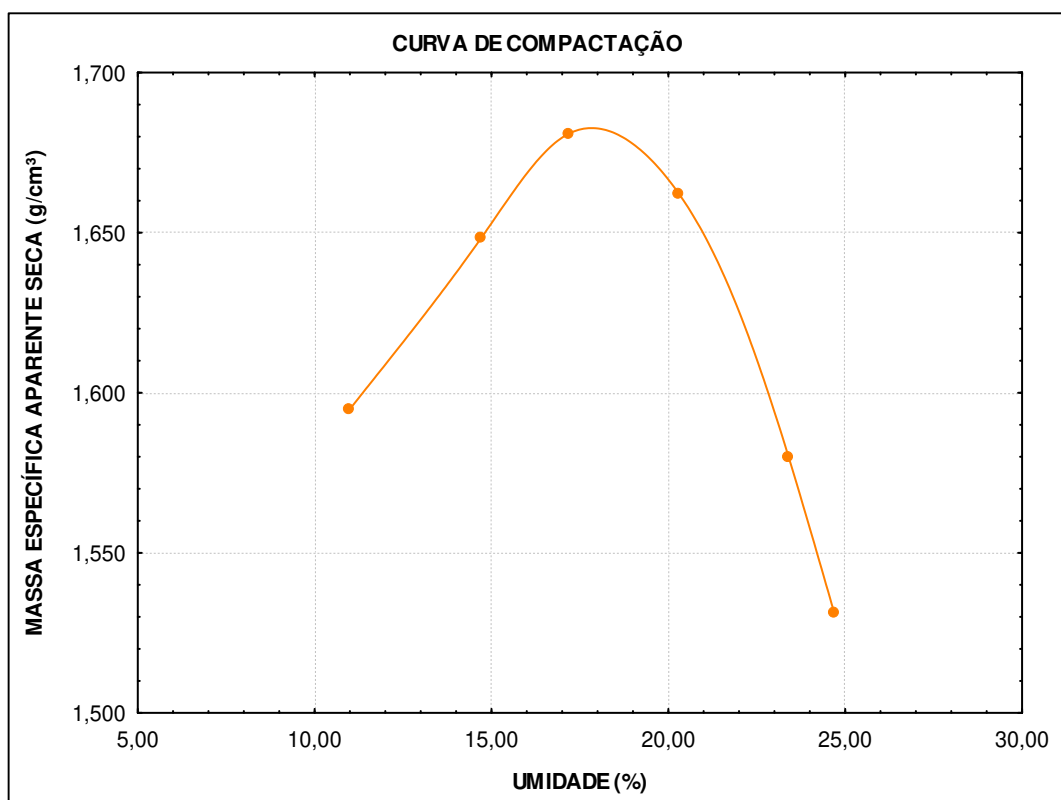


RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: ATECEL		REGISTRO Nº:04	
MISTURA: SOLO + 25% RESÍDUO + 6% CAL		LOCAL: MASSARANDUBA		PROFUND.-cm: ys máx=1,692g/cm³	
INTERESSADO: FRANKNETO / DEC / MESTRADO / GEOTECNIA				Hót=17,73%	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº: 14	
CÁPSULA Nº		T	U	GOLPES/CAMADAS	
PESO BRUTO ÚMIDO (g)		45,10	47,20	26 GOLPES	
PESO BRUTO SECO (g)		44,15	45,95	VOLUME DO MOLDE (cm²): 2103,85	
TARA DA CÁPSULA (g)		14,48	7,75	PESO DO MOLDE (g): 4330	
PESO DA ÁGUA (g)		0,95	1,25	DNIT: ME - 162/94	
PESO DO SOLO SECO (g)		29,67	38,20	ENERGIA: INTERMEDIÁRIA	
UMIDADE (%)		3,20	3,27	Nº DA CAMADAS	
UMIDADE MÉDIA (%)		3,24		5 CAMADAS	

PONTO Nº	PESO BRUTO ÚMIDO	PESO DO SOLO ÚMIDO	DENS. SOLO ÚMIDO	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA	DENS. SOLO SECO
				CAP Nº	PBU	PBS	PC	PA	PSS	UMIDADE		
	g	g	g/cm³	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm³
1	8032	3702	1,76	14	60,15	56,10	15,36	4,05	40,74	9,94	10,00	1,600
				15	55,20	51,61	15,91	3,59	35,70	10,06		
2	8318	3988	1,90	16	50,30	45,86	14,68	4,44	31,18	14,24	14,26	1,659
				17	60,10	54,40	14,46	5,70	39,94	14,27		
3	8496	4166	1,98	18	63,20	56,30	15,99	6,90	40,31	17,12	17,11	1,691
				19	62,90	55,94	15,24	6,96	40,70	17,10		
4	8559	4229	2,01	20	62,10	54,25	15,10	7,85	39,15	20,05	20,12	1,673
				21	60,34	52,42	13,20	7,92	39,22	20,19		
5	8433	4103	1,95	22	61,80	53,29	15,10	8,51	38,19	22,28	22,23	1,596
				23	63,10	54,03	13,12	9,07	40,91	22,17		
6	8348	4018	1,91	24	61,52	52,53	15,30	8,99	37,23	24,15	24,26	1,537
				25	60,85	51,93	15,34	8,92	36,59	24,38		



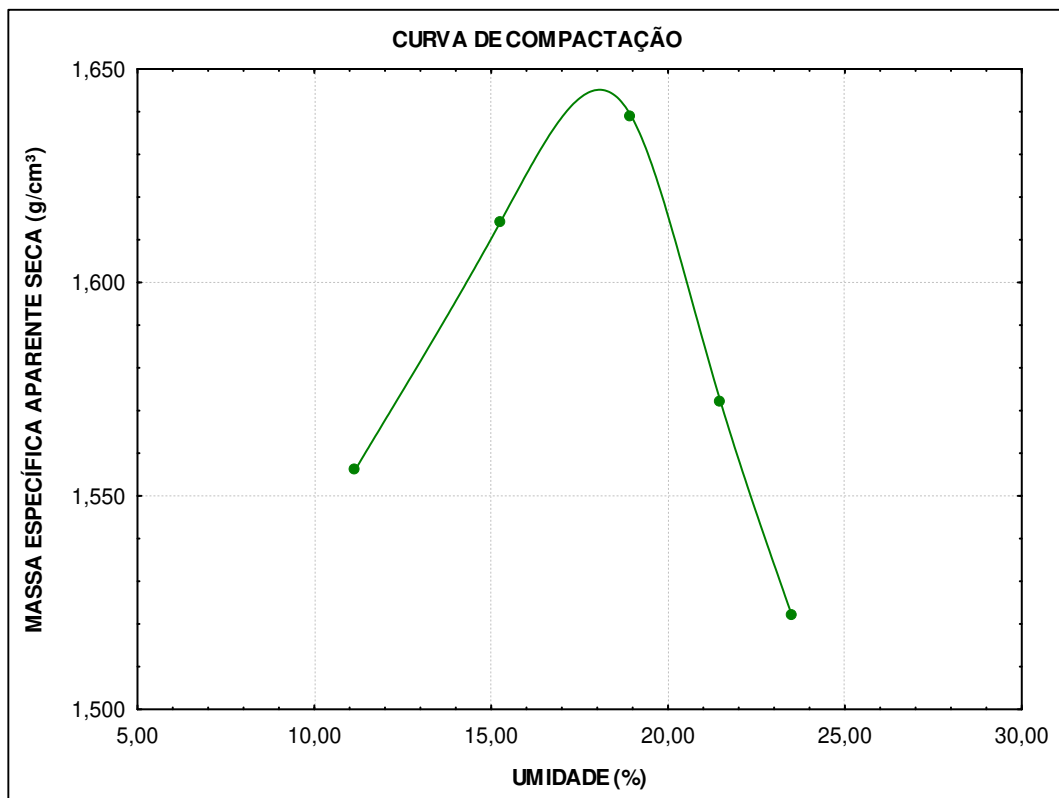
RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: ATECEL				REGISTRO Nº:05						
MISTURA: SOLO + 25% RESÍDUO + 7,5% CAL		LOCAL: MASSARANDUBA		PROFUND.-cm:		γs máx=1,679g/cm³						
INTERESSADO: FRANKNETO / DEC / MESTRADO / GEOTECNIA						Hót=17,95%						
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº:		11		GOLPES/CAMADAS				
CÁPSULA Nº		T		U		VOLUME DO MOLDE (cm²):		26 GOLPES				
PESO BRUTO ÚMIDO (g)		45,01		50,30		2103,85						
PESO BRUTO SECO (g)		44,03		48,92		PESO DO MOLDE (g)		4335				
TARA DA CÁPSULA (g)		14,48		7,75		DNIT:		ME - 162/94				
PESO DA ÁGUA (g)		0,98		1,38		ENERGIA:		INTERMEDIÁRIA				
PESO DO SOLO SECO (g)		29,55		41,17				Nº DA CAMADAS				
UMIDADE (%)		3,32		3,35				5 CAMADAS				
UMIDADE MÉDIA (%)		3,33										
PONTO Nº	PESO BRUTO	PESO DO SOLO	DENS. SOLO	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						UMIDADE	DENS. SOLO	
	ÚMIDO	ÚMIDO	ÚMIDO	CAP Nº	PBU	PBS	PC	PA	PSS	UMIDADE	MÉDIA	SECO
	g	g	g/cm³	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm³
1	8059	3724	1,77	14	60,10	55,70	15,36	4,40	40,34	10,91	11,01	1,595
				15	58,30	54,06	15,91	4,24	38,15	11,11		
2	8311	3976	1,89	16	50,23	45,60	14,68	4,63	30,92	14,97	14,69	1,648
				17	54,23	49,22	14,46	5,01	34,76	14,41		
3	8480	4145	1,97	18	65,20	58,01	15,99	7,19	42,02	17,11	17,20	1,681
				19	59,20	52,72	15,24	6,48	37,48	17,29		
4	8543	4208	2,00	20	49,90	44,10	15,10	5,80	29,00	20,00	20,31	1,662
				21	60,10	52,08	13,20	8,02	38,88	20,63		
5	8437	4102	1,95	22	59,20	50,85	15,10	8,35	35,75	23,36	23,40	1,580
				23	61,30	52,15	13,12	9,15	39,03	23,44		
6	8353	4018	1,91	24	60,30	51,40	15,30	8,90	36,10	24,65	24,70	1,531
				25	54,90	47,05	15,34	7,85	31,71	24,76		



RODOVIA/TRECHO:	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: ATECEL		REGISTRO Nº:06
MISTURA: SOLO + 25% RESÍDUO + 9% CAL	LOCAL: MASSARANDUBA	PROFUND.-cm:	ys máx=1,641g/cm³
INTERESSADO: FRANKNETO / DEC / MESTRADO / GEOTECNIA			Hót =18,59%

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA				MOLDE Nº:	11	GOLPES/CAMADAS
CÁPSULA Nº	M	N		VOLUME DO MOLDE (cm³):	2103,85	26 GOLPES
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	50,20	47,20		PESO DO MOLDE (g):	4335	
PESO BRUTO SECO (g)	49,10	45,90		DNIT:	ME - 162/94	Nº DA CAMADAS
TARA DA CÁPSULA (g)	14,50	7,55		ENERGIA:	INTERMEDIÁRIA	5 CAMADAS
PESO DA ÁGUA (g)	1,10	1,30				
PESO DO SOLO SECO (g)	34,60	38,35				
UMIDADE (%)	3,18	3,39				
UMIDADE MÉDIA (%)	3,28					

PONTO Nº	PESO BRUTO ÚMIDO	PESO DO SOLO ÚMIDO	DENS. SOLO ÚMIDO	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE							UMIDADE MÉDIA	DENS. SOLO SECO
				CAP Nº	PBU	PBS	PC	PA	PSS	UMIDADE		
	g	g	g/cm³	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm³
1	7970	3635	1,73	1	63,10	58,20	14,01	4,90	44,19	11,09	11,15	1,556
				2	60,30	55,35	11,20	4,95	44,15	11,21		
2	8250	3915	1,86	3	60,12	54,11	14,85	6,01	39,26	15,31	15,25	1,614
				4	58,15	52,57	15,84	5,58	36,73	15,19		
3	8438	4103	1,95	5	58,30	51,58	15,84	6,72	35,74	18,80	18,96	1,639
				6	58,40	51,47	15,23	6,93	36,24	19,12		
4	8349	4014	1,91	7	61,22	54,30	14,50	8,66	39,80	21,76	21,49	1,572
				8	58,30	50,48	13,64	7,82	36,84	21,23		
5	8300	3965	1,88	11	60,80	52,30	15,95	8,50	36,35	23,38	23,50	1,522
				12	61,85	52,87	14,85	8,98	38,02	23,62		



**ANEXO D – Ensaio de CBR e expansão**

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos ensaios de CBR e expansão.

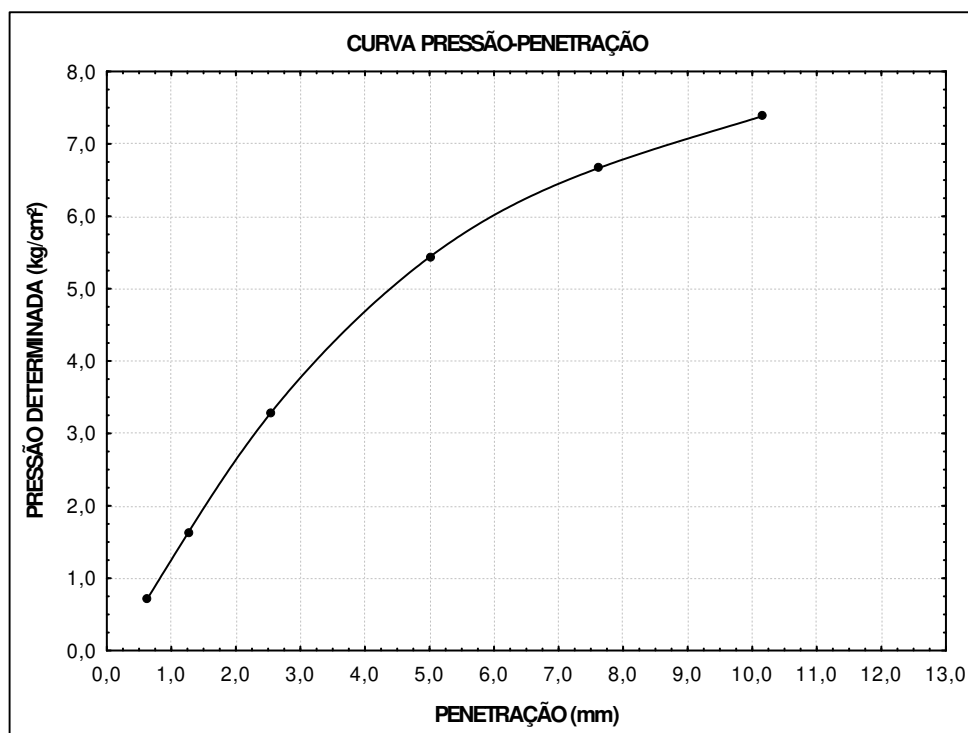
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	H	20			
Umidade ótima (ho)=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	76,50	90,00			
Umidade higroscópica (hi)=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	68,45	81,15			
ho - hi =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	13,60	20,19			
Cilindro n <sup>o</sup> =	8	Peso da água (g) =	8,05	8,85			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	54,85	60,96			
Volume (S)=	2103,85 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,68	14,52			
Tara (T) =	7300 g	Teor médio de umidade (%) =	14,60				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11688g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4388g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,086g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,820g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	7	0,72		4,69 <b>5,20</b>	
1 min.	0,05	1,27	16	1,64			
2 min.	0,1	2,54	32	3,28	70		
4 min.	0,2	5,00	53	5,44	105		
6 min.	0,3	7,62	65	6,67	133		
8 min.	0,4	10,16	72	7,38	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
10/7/2006	14:00	0,20		1,88			
14/7/2006	14:00	2,08					



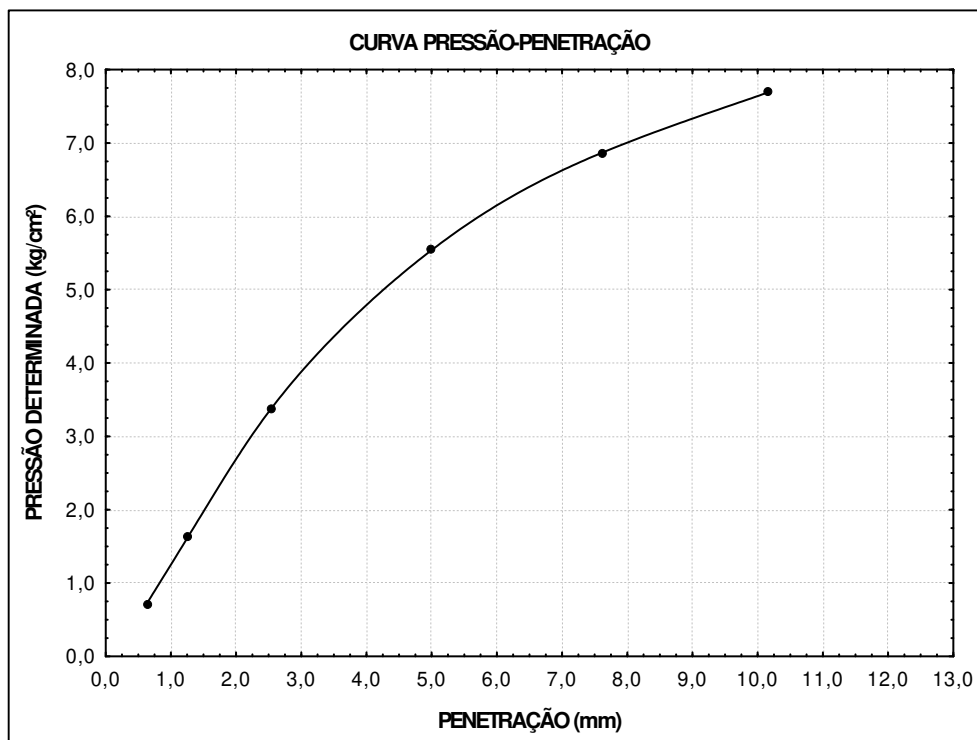
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	H	20			
Umidade ótima (ho)=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	75,50	88,95			
Umidade higroscópica (hi)=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	67,58	80,30			
ho - hi =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	13,60	20,19			
Cilindro n <sup>o</sup> =	8	Peso da água (g) =	7,92	8,65			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	53,98	60,11			
Volume (S)=	2103,85 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,67	14,39			
Tara (T) =	7300 g	Teor médio de umidade (%) =	14,53				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11645g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4345g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,06g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,800g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no Extensômetro (kg)	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255  CBR (%)	
tempo	pol	mm		Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	7	0,72		<b>4,83</b> <b>5,28</b>	
1 min.	0,05	1,27	16	1,64			
2 min.	0,1	2,54	33	3,38	70		
4 min.	0,2	5,00	54	5,54	105		
6 min.	0,3	7,62	67	6,87	133		
8 min.	0,4	10,16	75	7,69	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
10/7/2006	14:30	0,20					
14/7/2006	14:30	2,17	1,97	1,70			



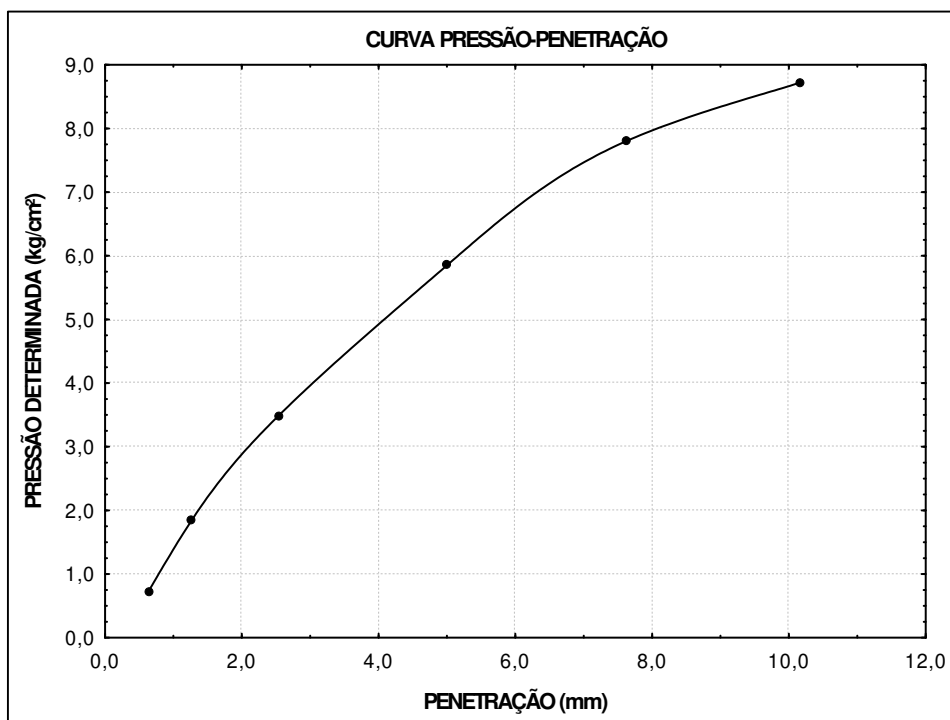
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 5% DE RESÍDUO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	23	20			
Umidade ótima (ho)=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	93,69	90,00			
Umidade higroscópica (hi)=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	84,41	81,18			
ho - hi =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	20,40	20,19			
Cilindro n <sup>o</sup> =	11	Peso da água (g) =	9,28	8,82			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	64,01	60,99			
Volume (S)=	2103,85 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,50	14,46			
Tara (T) =	7300 g	Teor médio de umidade (%) =	14,48				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11645g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4345g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,065g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,804g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	7	0,72		<b>4,98</b> <b>5,57</b>	
1 min.	0,05	1,27	18	1,85			
2 min.	0,1	2,54	34	3,49	70		
4 min.	0,2	5,00	57	5,85	105		
6 min.	0,3	7,62	76	7,79	133		
8 min.	0,4	10,16	85	8,72	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
10/8/2006	14:30	0,00				1,72	
14/8/2006	14:30	2,00	2,00				





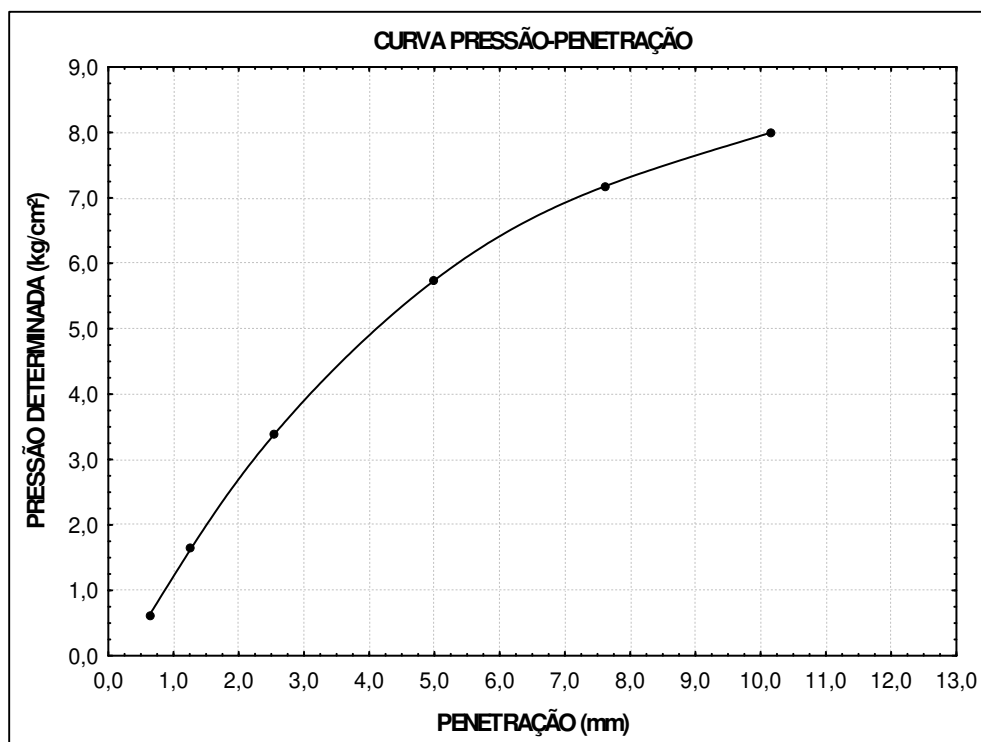
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 5% DE RESÍDUO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	26	20			
Umidade ótima (ho)=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	111,47	110,20			
Umidade higroscópica (hi)=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	99,83	98,64			
ho - hi =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	20,70	20,60			
Cilindro n <sup>o</sup> =	4	Peso da água (g) =	11,64	11,56			
Altura (H)=	11,40 cm	Peso do solo seco (g) =	79,13	78,04			
Volume (S)=	2068,63 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,71	14,81			
Tara (T) =	7060 g	Teor médio de umidade (%) =	14,76				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11335g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4275g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,067g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,801g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no Extensômetro (kg)	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255  CBR (%)	
tempo	pol	mm		Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	6	0,62		<b>4,83</b> <b>5,47</b>	
1 min.	0,05	1,27	16	1,64			
2 min.	0,1	2,54	33	3,38	70		
4 min.	0,2	5,00	56	5,74	105		
6 min.	0,3	7,62	70	7,18	133		
8 min.	0,4	10,16	78	8,00	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
10/8/2006	14:30	0,00					
14/8/2006	14:30	1,80	1,80	1,58			



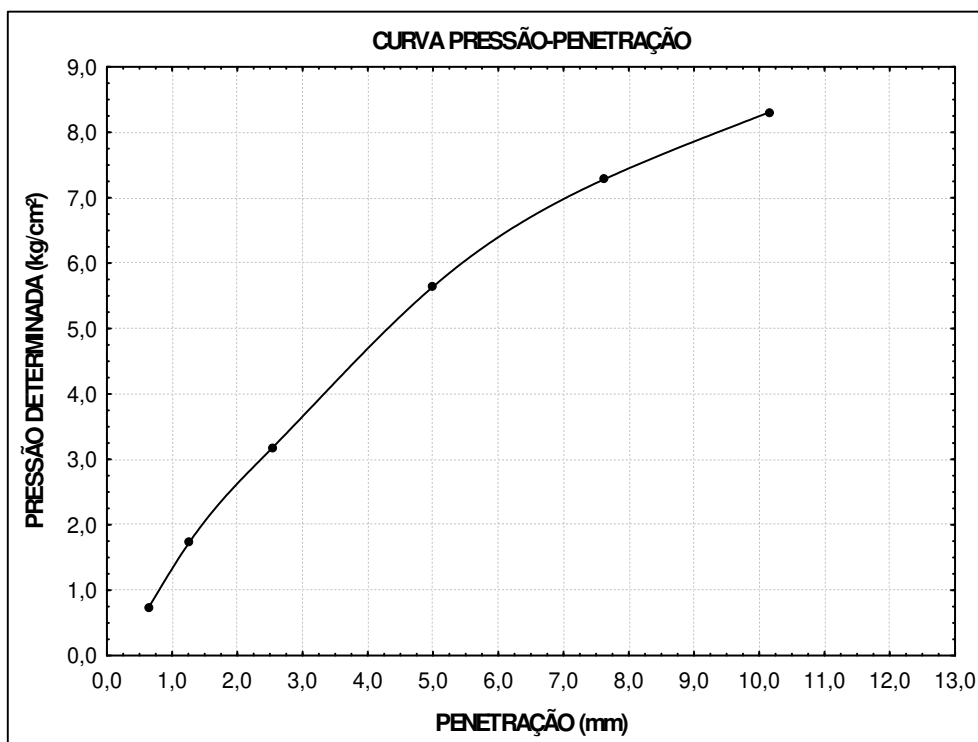
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 10% DE RESÍDUO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	23	26			
Umidade ótima (h <sub>o</sub> )=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	96,07	90,00			
Umidade higroscópica (h <sub>i</sub> )=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	86,62	81,13			
h <sub>o</sub> - h <sub>i</sub> =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	20,34	20,95			
Cilindro n <sup>o</sup> =	3	Peso da água (g) =	9,45	8,87			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	66,28	60,18			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,26	14,74			
Tara (T) =	7440 g	Teor médio de umidade (%) =	14,50				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11755g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4315g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,050g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,801g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	7	0,72		<b>4,54</b> <b>5,37</b>	
1 min.	0,05	1,27	17	1,74			
2 min.	0,1	2,54	31	3,18	70		
4 min.	0,2	5,00	55	5,64	105		
6 min.	0,3	7,62	71	7,28	133		
8 min.	0,4	10,16	81	8,31	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
11/8/2006	10:30	0,00		1,88			
15/8/2006	10:30	2,18	2,18				



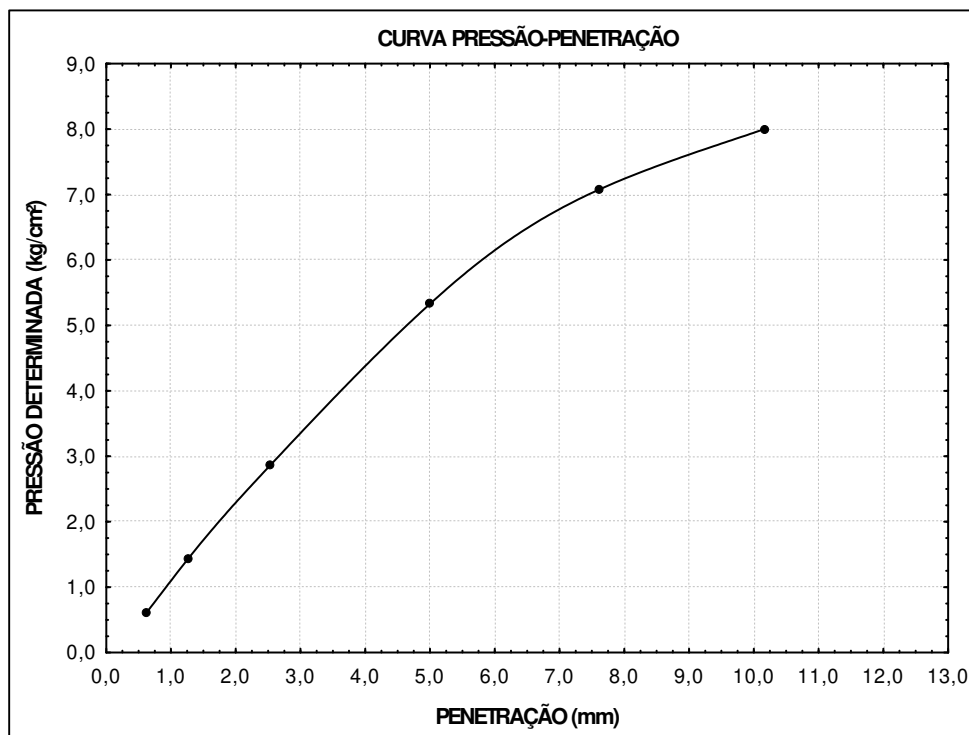
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 10% DE RESÍDUO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	h	26			
Umidade ótima (ho)=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	75,50	90,28			
Umidade higroscópica (hi)=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	67,59	81,58			
ho - hi =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	13,60	20,95			
Cilindro n <sup>o</sup> =	8	Peso da água (g) =	7,91	8,70			
Altura (H)=	11,40 cm	Peso do solo seco (g) =	53,99	60,63			
Volume (S)=	2068,63 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,65	14,35			
Tara (T) =	7540 g	Teor médio de umidade (%) =	14,50				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11840g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4300g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,079g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,816g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	6	0,62		4,10 <b>5,33</b>	
1 min.	0,05	1,27	14	1,44			
2 min.	0,1	2,54	28	2,87	70		
4 min.	0,2	5,00	54,5	5,59	105		
6 min.	0,3	7,62	69	7,08	133		
8 min.	0,4	10,16	78	8,00	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
11/8/2006	10:30	0,00					
15/8/2006	10:30	2,08	2,08			1,82	



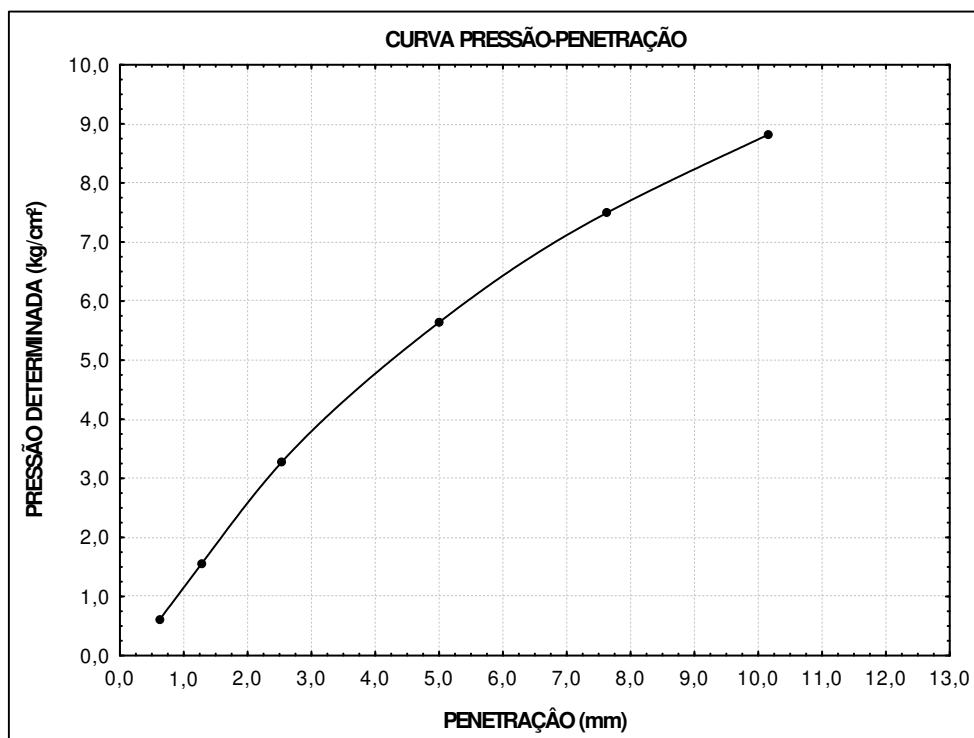
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 15% DE RESÍDUO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>		Cápsula n <sup>o</sup> =	12	x		
Umidade ótima (ho)=	14,70 %		Peso bruto úmido (g) =	90,38	90,12		
Umidade higroscópica (hi)=	4,50 %		Peso bruto seco (g) =	81,44	81,27		
ho - hi =	10,20 %		Tara da cápsula (g) =	20,19	20,95		
Cilindro n <sup>o</sup> =	4		Peso da água (g) =	8,94	8,85		
Altura (H)=	11,40 cm		Peso do solo seco (g) =	61,25	60,32		
Volume (S)=	2068,63 cm <sup>3</sup>		Teor de umidade (%) =	14,60	14,67		
Tara (T) =	7060 g		Teor médio de umidade (%) =	14,63			
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g		Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11350g			
Peso do solo a utilizar=	5742 g		Peso do corpo-de-prova úmido=	4290g			
Água a juntar=	586 g		Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,074g/cm <sup>3</sup>			
			Densidade do corpo-de-prova seco=	1,809g/cm <sup>3</sup>			
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no Extensômetro (kg)	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255  CBR (%)	
tempo	pol	mm		Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	6	0,62		<b>4,69</b> <b>5,37</b>	
1 min.	0,05	1,27	15	1,54			
2 min.	0,1	2,54	32	3,28	70		
4 min.	0,2	5,00	55	5,64	105		
6 min.	0,3	7,62	73	7,49	133		
8 min.	0,4	10,16	86	8,82	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
14/8/2006	16:00	0,00					
18/8/2006	16:00	1,80	1,80	1,58			



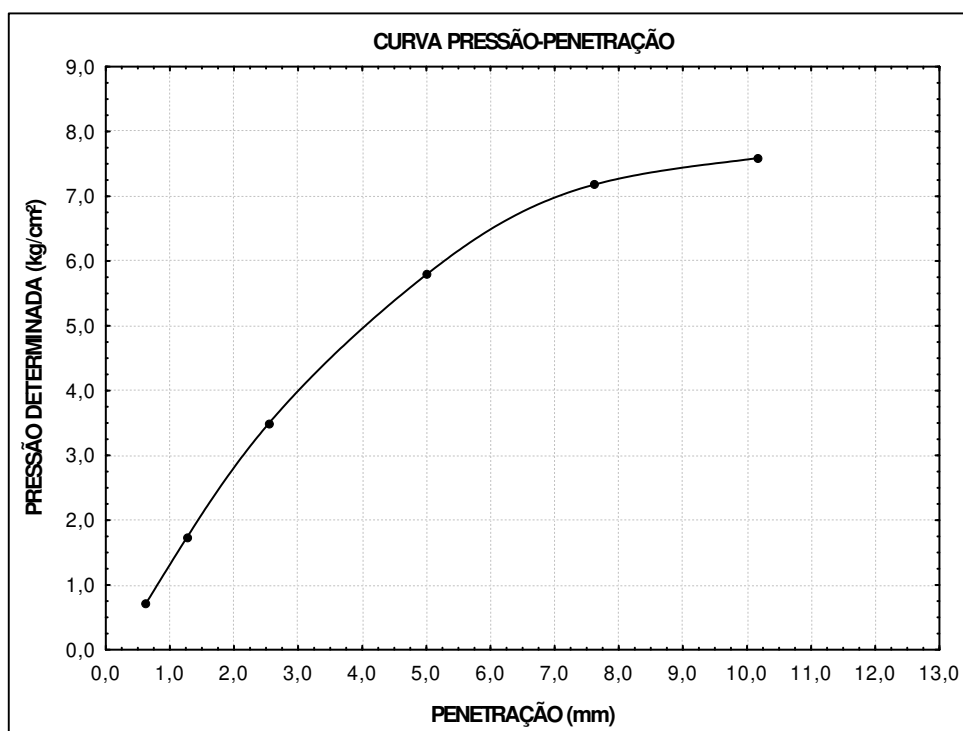
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 15% DE RESÍDUO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	26	16			
Umidade ótima (ho)=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	88,45	86,35			
Umidade higroscópica (hi)=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	80,10	78,09			
ho - hi =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	20,95	20,35			
Cilindro n <sup>o</sup> =	11	Peso da água (g) =	8,35	8,26			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	59,15	57,74			
Volume (S)=	2103,85 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,12	14,31			
Tara (T) =	7300 g	Teor médio de umidade (%) =	14,21				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11695g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4395g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,089g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,829g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	7	0,72		4,98 <b>5,50</b>	
1 min.	0,05	1,27	17	1,74			
2 min.	0,1	2,54	34	3,49	70		
4 min.	0,2	5,00	56,5	5,79	105		
6 min.	0,3	7,62	70	7,18	133		
8 min.	0,4	10,16	74	7,59	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
14/8/2006	16:00	0,00				1,55	
18/8/2006	16:00	1,80	1,80				



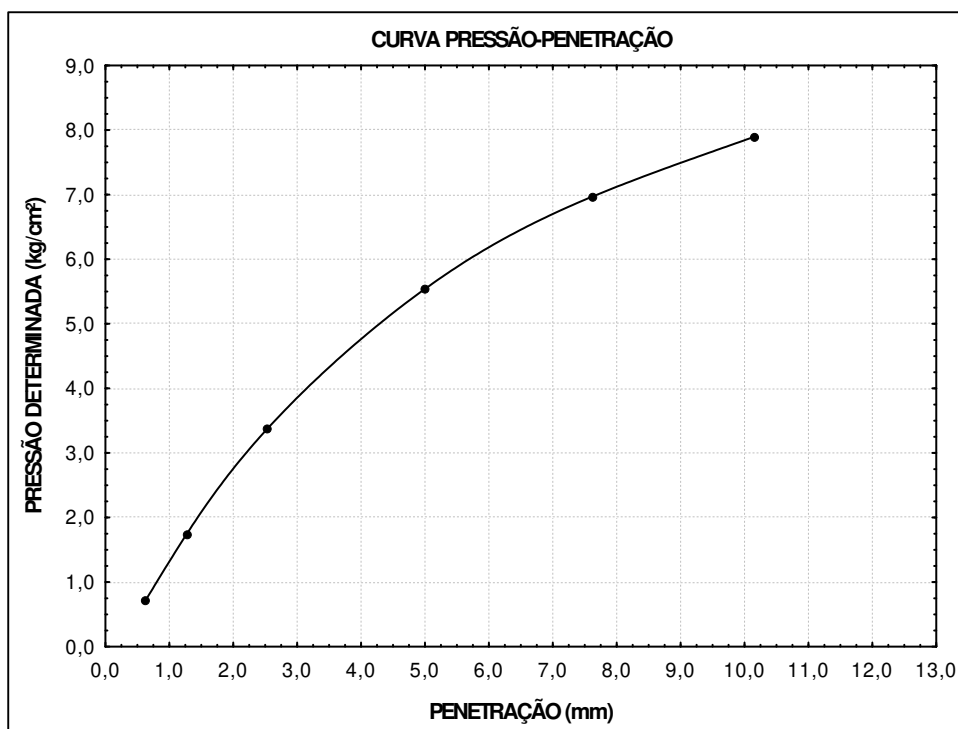
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 20% DE RESÍDUO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	23	h			
Umidade ótima (ho)=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	86,50	90,20			
Umidade higroscópica (hi)=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	77,90	80,38			
ho - hi =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	20,34	13,60			
Cilindro n <sup>o</sup> =	8	Peso da água (g) =	8,60	9,82			
Altura (H)=	11,40 cm	Peso do solo seco (g) =	57,56	66,78			
Volume (S)=	2068,63 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,94	14,71			
Tara (T) =	7540 g	Teor médio de umidade (%) =	14,82				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11900g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4360g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,110g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,838g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	7	0,72		4,83 <b>5,28</b>	
1 min.	0,05	1,27	17	1,74			
2 min.	0,1	2,54	33	3,38	70		
4 min.	0,2	5,00	54	5,54	105		
6 min.	0,3	7,62	68	6,97	133		
8 min.	0,4	10,16	77	7,90	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
17/8/2006	10:00	0,00		1,60			
21/8/2006	10:00	1,83	1,83				



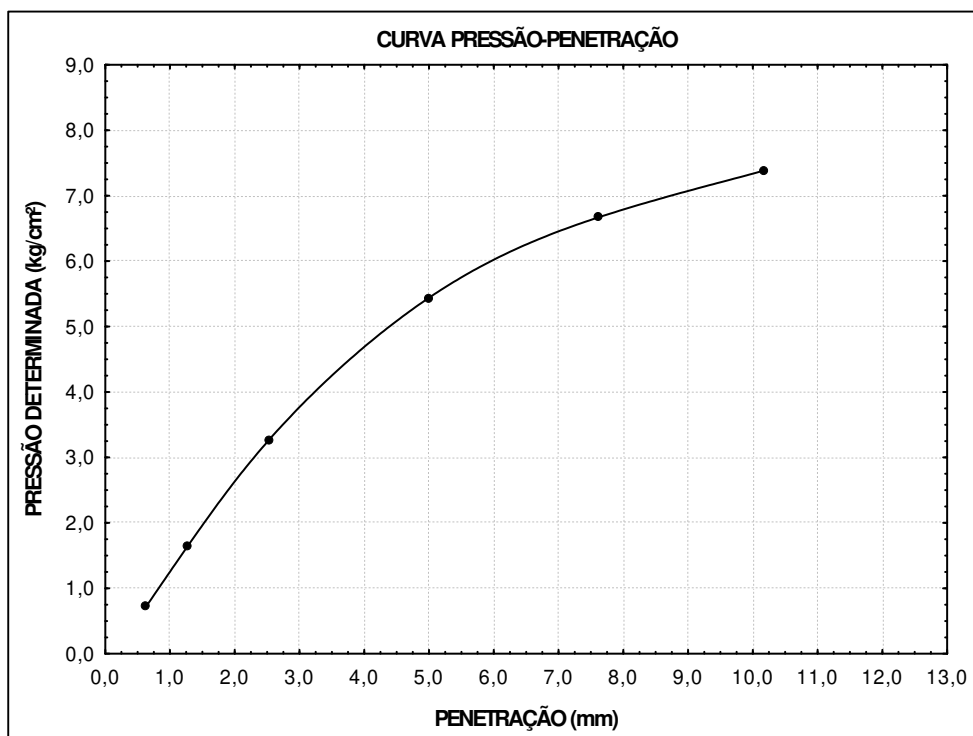
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 20% DE RESÍDUO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	t	16			
Umidade ótima (ho)=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	112,32	110,20			
Umidade higroscópica (hi)=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	100,51	98,52			
ho - hi =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	20,36	20,32			
Cilindro n <sup>o</sup> =	3	Peso da água (g) =	11,81	11,68			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	80,15	78,20			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,73	14,94			
Tara (T) =	7440 g	Teor médio de umidade (%) =	14,84				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11810g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4370g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,080g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,808g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	7	0,72		<b>4,69</b> <b>5,18</b>	
1 min.	0,05	1,27	16	1,64			
2 min.	0,1	2,54	32	3,28	70		
4 min.	0,2	5,00	53	5,44	105		
6 min.	0,3	7,62	65	6,67	133		
8 min.	0,4	10,16	72	7,38	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
17/8/2006	10:00	0,00				1,60	
21/8/2006	10:00	1,86	1,86				



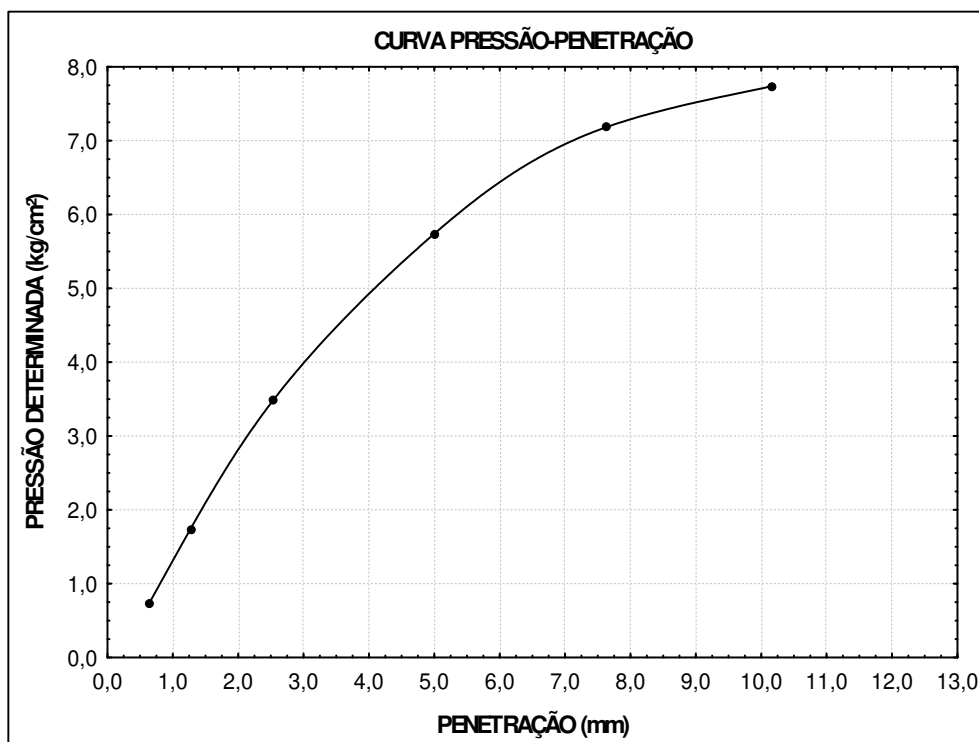
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 25% DE RESÍDUO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	26	23			
Umidade ótima (ho)=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	84,75	80,32			
Umidade higroscópica (hi)=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	76,70	72,82			
ho - hi =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	20,95	20,34			
Cilindro n <sup>o</sup> =	4	Peso da água (g) =	8,05	7,50			
Altura (H)=	11,40 cm	Peso do solo seco (g) =	55,75	52,48			
Volume (S)=	2068,63 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,44	14,29			
Tara (T) =	7060 g	Teor médio de umidade (%) =	14,37				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11360g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4300g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,079g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,818g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	7	0,72		4,98 <b>5,47</b>	
1 min.	0,05	1,27	17	1,74			
2 min.	0,1	2,54	34	3,49	70		
4 min.	0,2	5,00	56	5,74	105		
6 min.	0,3	7,62	70	7,18	133		
8 min.	0,4	10,16	75,5	7,74	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
18/8/2006	15:30	0,00				1,59	
22/8/2006	15:30	1,81	1,81				





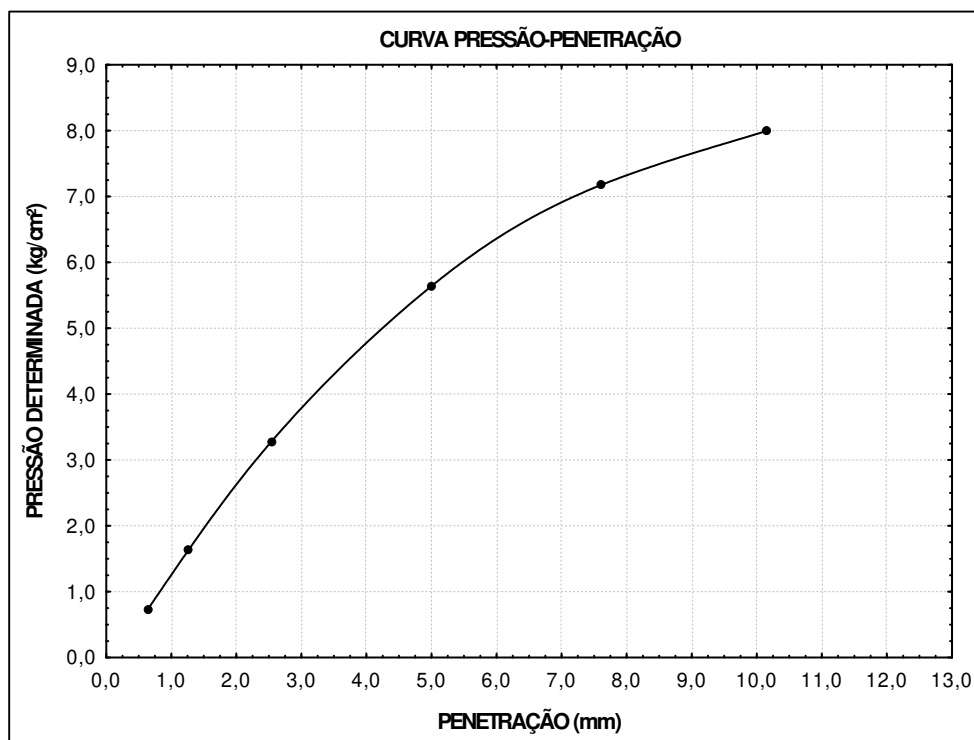
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 25% DE RESÍDUO

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,810 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula nº=	k	L			
Umidade ótima (h <sub>o</sub> )=	14,70 %	Peso bruto úmido (g) =	81,75	80,35			
Umidade higroscópica (h <sub>i</sub> )=	4,50 %	Peso bruto seco (g) =	73,85	72,86			
h <sub>o</sub> - h <sub>i</sub> =	10,20 %	Tara da cápsula (g) =	20,34	20,19			
Cilindro nº=	11	Peso da água (g) =	7,90	7,49			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	53,51	52,67			
Volume (S)=	2103,85 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,76	14,22			
Tara (T) =	7300 g	Teor médio de umidade (%) =	14,49				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11680g				
Peso do solo a utilizar=	5742 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4380g				
Água a juntar=	586 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,082g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,818g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	7	0,72		4,69 <b>5,37</b>	
1 min.	0,05	1,27	16	1,64			
2 min.	0,1	2,54	32	3,28	70		
4 min.	0,2	5,00	55	5,64	105		
6 min.	0,3	7,62	70	7,18	133		
8 min.	0,4	10,16	78	8,00	161		
10 min.	0,5	12,70		1,82			
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
18/8/2006	15:30	0,00					
22/8/2006	15:30	1,80	1,80	1,55			



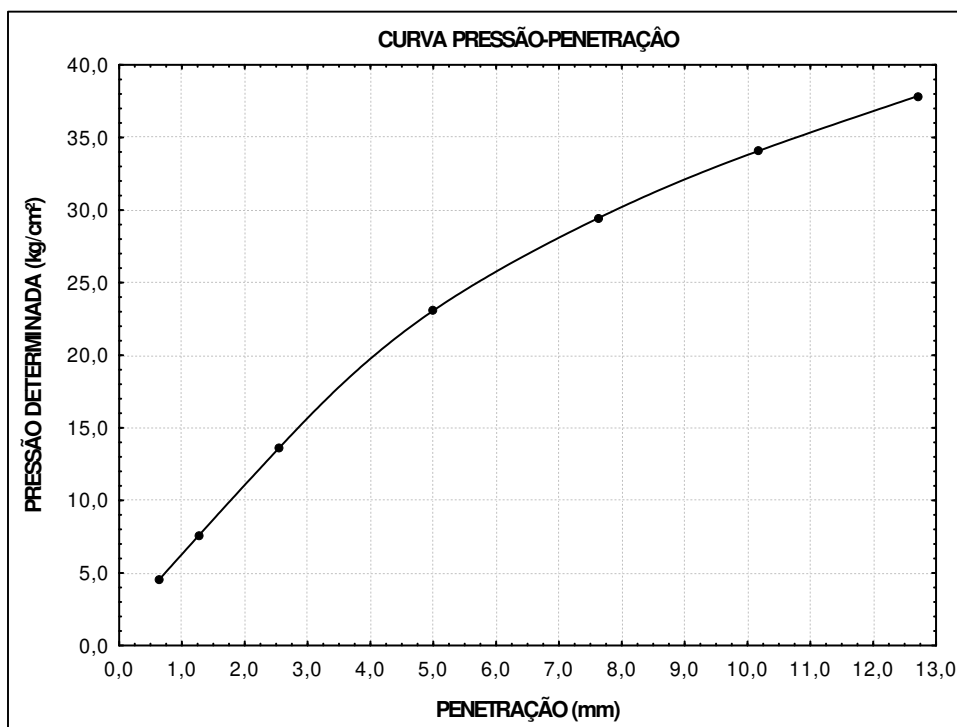
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

SOLO + 25% DE RESÍDUO + 3,0% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,756 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	1	3			
Umidade ótima (ho)=	16,76 %	Peso bruto úmido (g) =	132,31	117,03			
Umidade higroscópica (hi)=	3,37 %	Peso bruto seco (g) =	115,18	101,56			
ho - hi =	13,39 %	Tara da cápsula (g) =	14,22	7,29			
Cilindro n <sup>o</sup> =	17	Peso da água (g) =	17,13	15,47			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	100,96	94,27			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	16,97	16,41			
Tara (T) =	7640 g	Teor médio de umidade (%) =	16,69				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11950g				
Peso do solo a utilizar=	5804,39 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4310g				
Água a juntar=	777,21 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,048g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,755g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	44	4,51		<b>19,78</b> <b>21,98</b>	
1 min.	0,05	1,27	74	7,59			
2 min.	0,1	2,54	135	13,84	70		
4 min.	0,2	5,00	225	23,07	105		
6 min.	0,3	7,62	287	29,43	133		
8 min.	0,4	10,16	332	34,05	161		
10 min.	0,5	12,70	369	37,84	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
16/10/2006	12:10	0,00					
20/10/2006	12:10	0,14	0,14			0,12	



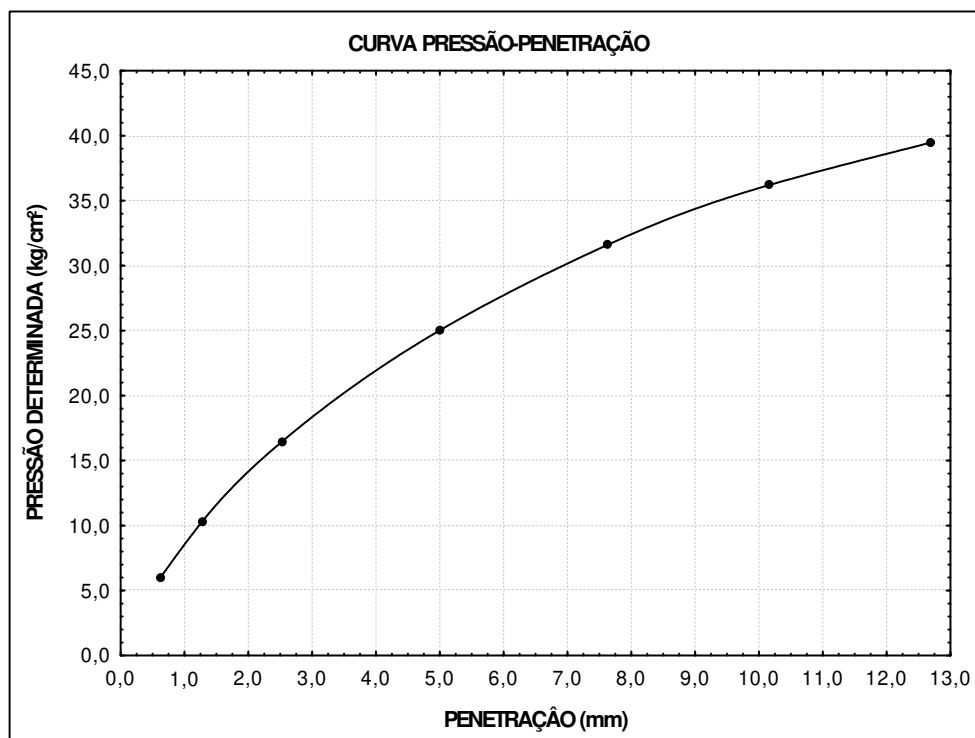
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

SOLO + 25% DE RESÍDUO + 3,0% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,756 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	26	6			
Umidade ótima (ho)=	16,76 %	Peso bruto úmido (g) =	137,48	157,46			
Umidade higroscópica (hi)=	3,37 %	Peso bruto seco (g) =	121,02	137,56			
ho - hi =	13,39 %	Tara da cápsula (g) =	20,97	20,58			
Cilindro n <sup>o</sup> =	15	Peso da água (g) =	16,46	19,90			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	100,05	116,98			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	16,45	17,01			
Tara (T) =	7640 g	Teor médio de umidade (%) =	16,73				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11935g				
Peso do solo a utilizar=	5804,39 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4295g				
Água a juntar=	777,21 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,040g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,748g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	59	6,05		<b>23,83</b>	
1 min.	0,05	1,27	100	10,26			
2 min.	0,1	2,54	161	16,51	70		
4 min.	0,2	5,00	244	25,02	105		
6 min.	0,3	7,62	308	31,59	133		
8 min.	0,4	10,16	353	36,20	161		
10 min.	0,5	12,70	385	39,48	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
16/10/2006	12:30	0,00					
20/10/2006	12:30	0,16	0,16	0,14			



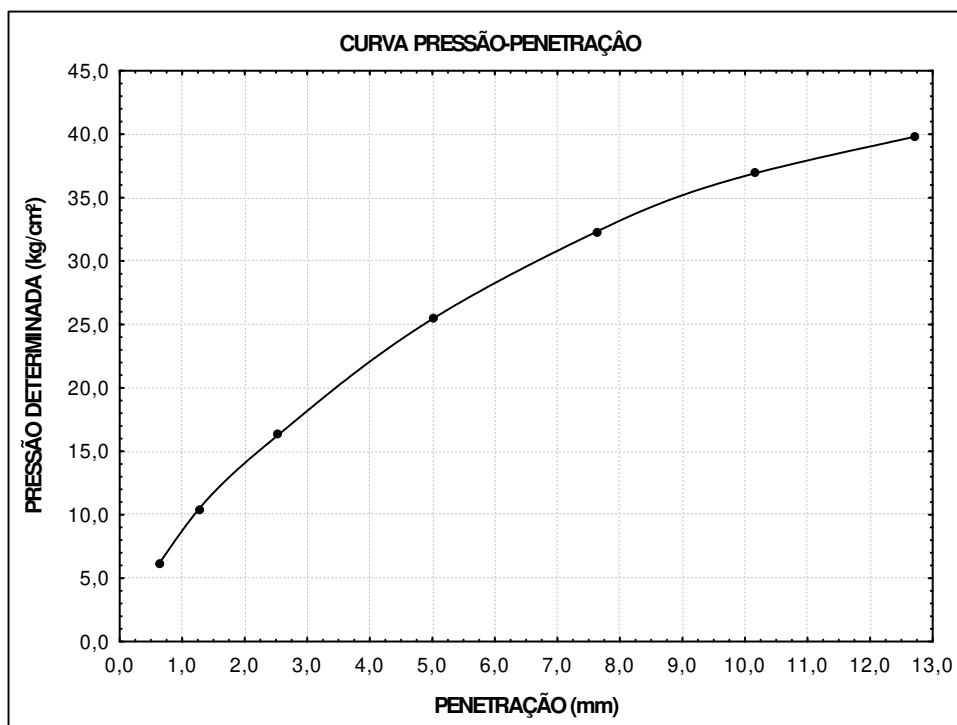
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 25% DE RESÍDUO + 3,0% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,756 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	40	25			
Umidade ótima (ho)=	16,76 %	Peso bruto úmido (g) =	90,30	96,50			
Umidade higroscópica (hi)=	3,37 %	Peso bruto seco (g) =	80,36	85,60			
ho - hi =	13,39 %	Tara da cápsula (g) =	21,65	20,95			
Cilindro n <sup>o</sup> =	16	Peso da água (g) =	9,94	10,90			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	58,71	64,65			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	16,93	16,86			
Tara (T) =	7785 g	Teor médio de umidade (%) =	16,90				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	12095g				
Peso do solo a utilizar=	5804,39 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4310g				
Água a juntar=	777,21 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,047g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,751g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	60	6,15		<b>23,29</b> <b>24,22</b>	
1 min.	0,05	1,27	102	10,46			
2 min.	0,1	2,54	159	16,31	70		
4 min.	0,2	5,00	248	25,43	105		
6 min.	0,3	7,62	315	32,30	133		
8 min.	0,4	10,16	360	36,92	161		
10 min.	0,5	12,70	388	39,79	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
30/10/2006	12:30	0,00					
3/11/2006	12:30	0,16	0,16			0,14	



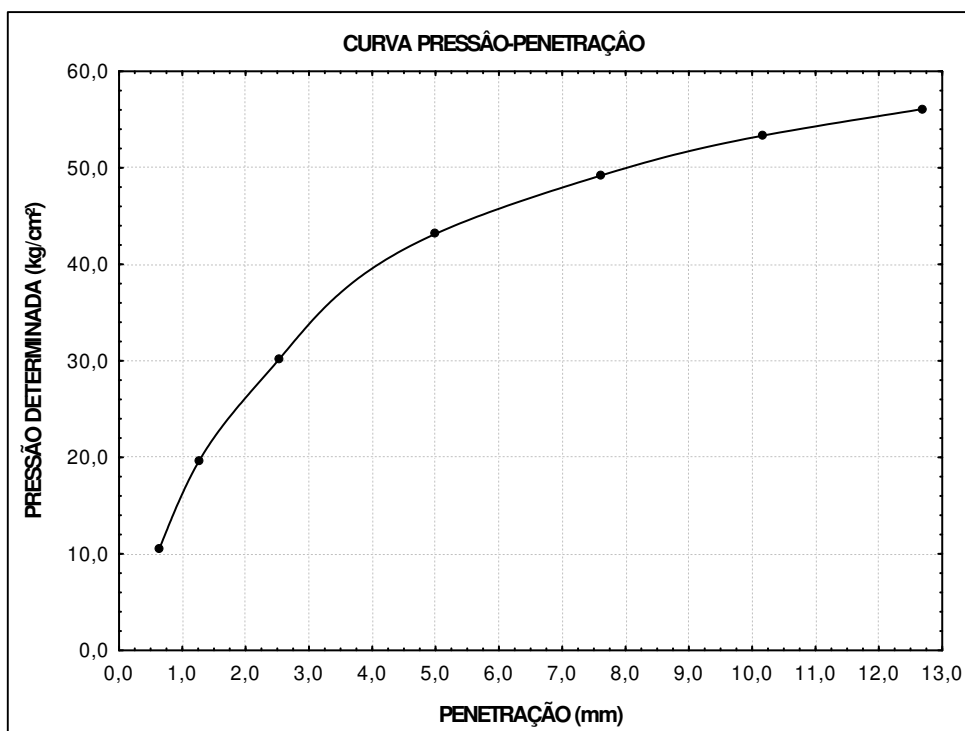
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

SOLO + 25% DE RESÍDUO + 4,5% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,736 g/cm <sup>3</sup>		Cápsula n <sup>o</sup> =	1	3		
Umidade ótima (ho)=	17,48 %		Peso bruto úmido (g) =	74,30	78,20		
Umidade higroscópica (hi)=	3,27 %		Peso bruto seco (g) =	65,20	67,70		
ho - hi =	14,21 %		Tara da cápsula (g) =	14,22	7,29		
Cilindro n <sup>o</sup> =	15		Peso da água (g) =	9,10	10,50		
Altura (H)=	11,60 cm		Peso do solo seco (g) =	50,98	60,41		
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>		Teor de umidade (%) =	17,85	17,38		
Tara (T) =	7640 g		Teor médio de umidade (%) =	17,62			
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g		Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11920g			
Peso do solo a utilizar=	5810 g		Peso do corpo-de-prova úmido=	4280g			
Água a juntar=	826 g		Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,033g/cm <sup>3</sup>			
			Densidade do corpo-de-prova seco=	1,728g/cm <sup>3</sup>			
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no Extensômetro (kg)	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255  CBR (%)	
tempo	pol	mm		Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	102	10,46		<b>43,21</b> 41,12	
1 min.	0,05	1,27	192	19,69			
2 min.	0,1	2,54	295	30,25	70		
4 min.	0,2	5,00	421	43,17	105		
6 min.	0,3	7,62	480	49,22	133		
8 min.	0,4	10,16	520	53,33	161		
10 min.	0,5	12,70	547	56,09	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
16/10/2006	12:10	0,00					
20/10/2006	12:10	0,12	0,12			0,10	



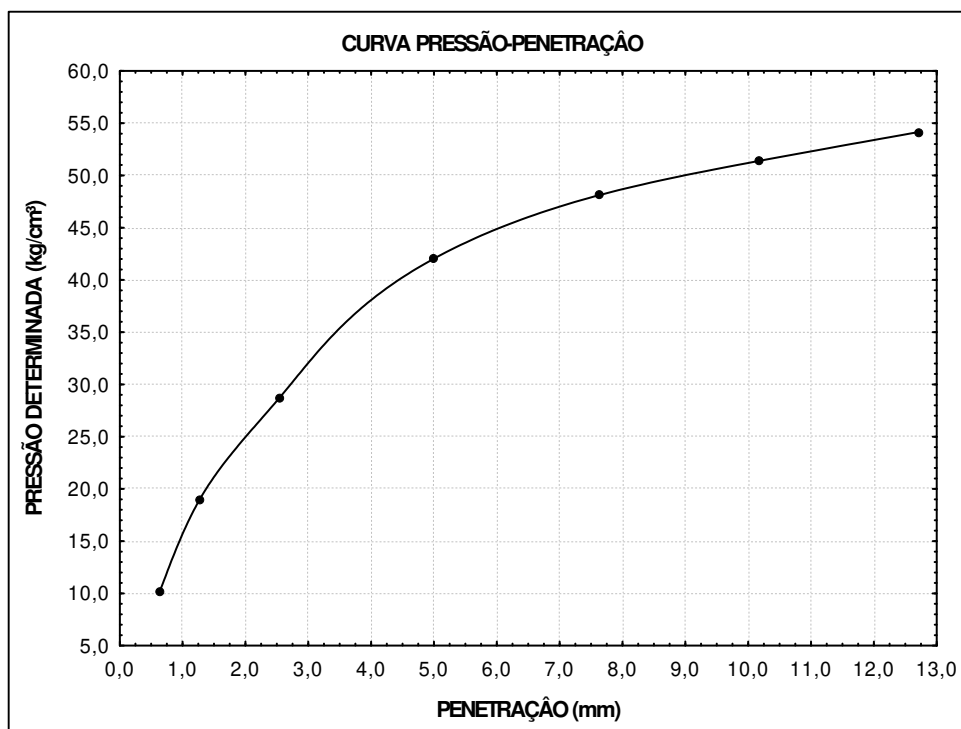
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

SOLO + 25% DE RESÍDUO + 4,5% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,736 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	26	6			
Umidade ótima (ho)=	17,48 %	Peso bruto úmido (g) =	79,00	80,21			
Umidade higroscópica (hi)=	3,27 %	Peso bruto seco (g) =	70,51	71,42			
ho - hi =	14,21 %	Tara da cápsula (g) =	20,97	20,58			
Cilindro n <sup>o</sup> =	17	Peso da água (g) =	8,49	8,79			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	49,54	50,84			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	17,14	17,29			
Tara (T) =	7640 g	Teor médio de umidade (%) =	17,21				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11910g				
Peso do solo a utilizar=	5810 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4270g				
Água a juntar=	826 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,029g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,731g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	99	10,15		<b>41,01</b> 40,04	
1 min.	0,05	1,27	185	18,97			
2 min.	0,1	2,54	280	28,71	70		
4 min.	0,2	5,00	410	42,05	105		
6 min.	0,3	7,62	469	48,10	133		
8 min.	0,4	10,16	501	51,38	161		
10 min.	0,5	12,70	528	54,15	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
30/10/2006	12:10	0,00					
3/11/2006	12:10	0,12	0,12	0,10			



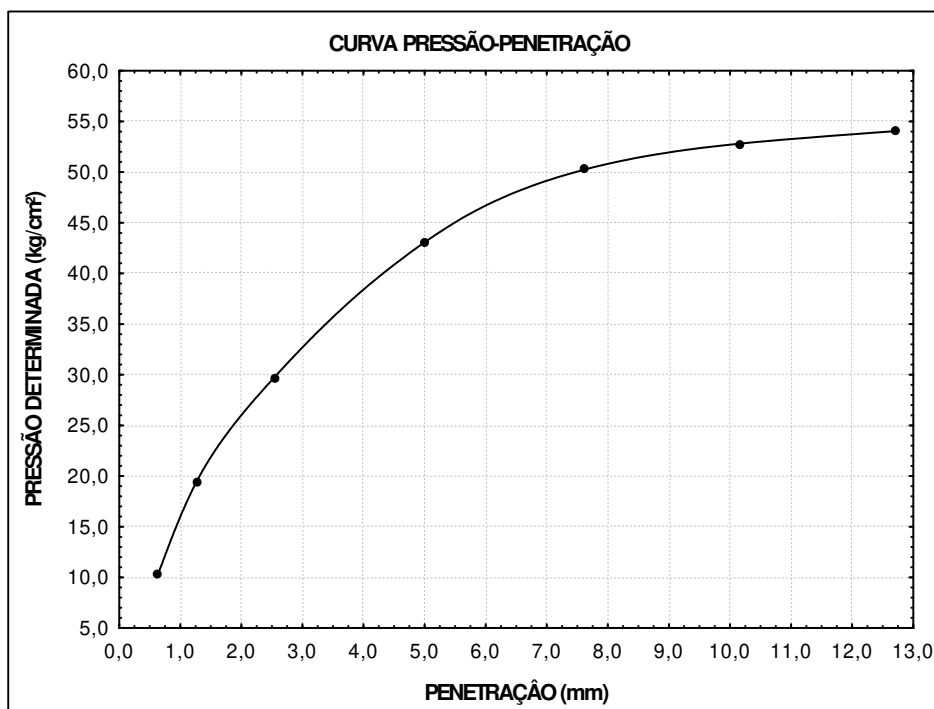
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

SOLO + 25% DE RESÍDUO + 4,5% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,736 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	40	25			
Umidade ótima (ho)=	17,48 %	Peso bruto úmido (g) =	85,60	80,30			
Umidade higroscópica (hi)=	3,27 %	Peso bruto seco (g) =	76,23	71,42			
ho - hi =	14,21 %	Tara da cápsula (g) =	21,65	20,95			
Cilindro n <sup>o</sup> =	14	Peso da água (g) =	9,37	8,88			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	54,58	50,47			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	17,17	17,59			
Tara (T) =	7590 g	Teor médio de umidade (%) =	17,38				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11862g				
Peso do solo a utilizar=	5810 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4272g				
Água a juntar=	826 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	2,030g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,729g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	100	10,26		<b>42,49</b> 41,02	
1 min.	0,05	1,27	190	19,48			
2 min.	0,1	2,54	290	29,74	70		
4 min.	0,2	5,00	420	43,07	105		
6 min.	0,3	7,62	490	50,25	133		
8 min.	0,4	10,16	515	52,81	161		
10 min.	0,5	12,70	527	54,04	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
30/10/2006	12:30	0,00					
3/11/2006	12:30	0,11	0,11			0,09	



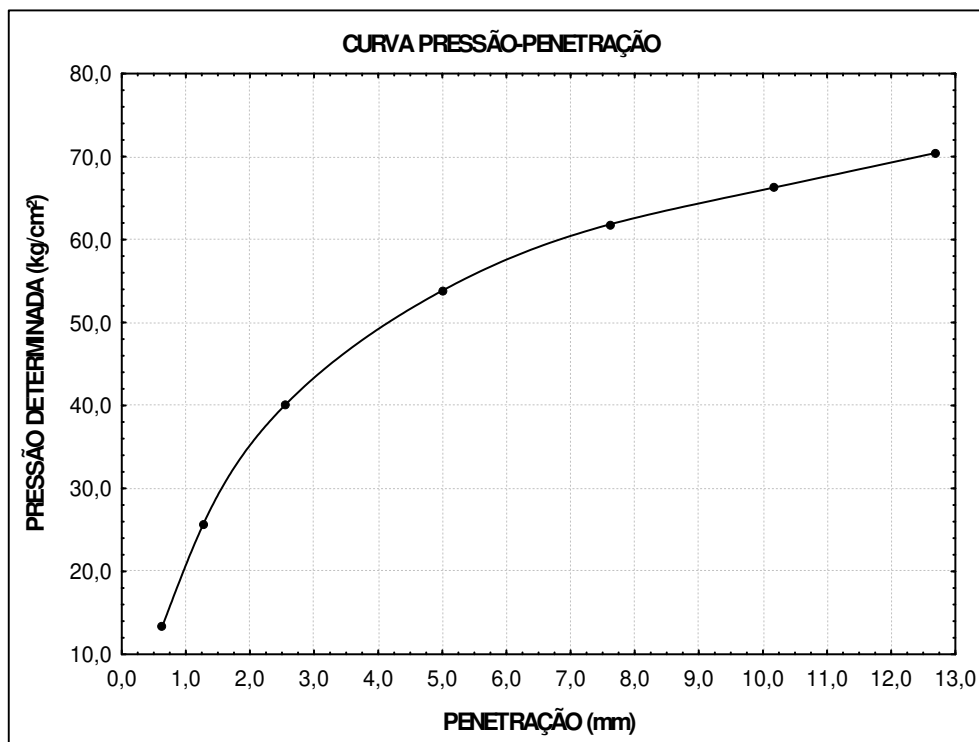
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

SOLO + 25% DE RESÍDUO + 6,0% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,692 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	0	20			
Umidade ótima (ho)=	17,73 %	Peso bruto úmido (g) =	90,11	111,09			
Umidade higroscópica (hi)=	3,24 %	Peso bruto seco (g) =	79,70	97,41			
ho - hi =	14,49 %	Tara da cápsula (g) =	20,88	21,04			
Cilindro n <sup>o</sup> =	17	Peso da água (g) =	10,41	13,68			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	58,82	76,37			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	17,70	17,91			
Tara (T) =	7640 g	Teor médio de umidade (%) =	17,81				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11840g				
Peso do solo a utilizar=	5811,7 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4180g				
Água a juntar=	842,12 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	1,985g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,685g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	130	13,33		<b>57,14</b> 51,28	
1 min.	0,05	1,27	250	25,64			
2 min.	0,1	2,54	390	39,99	70		
4 min.	0,2	5,00	525	53,84	105		
6 min.	0,3	7,62	603	61,84	133		
8 min.	0,4	10,16	646	66,25	161		
10 min.	0,5	12,70	687	70,45	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
19/10/2006	13:00	0,00					
23/10/2006	13:00	0,08	0,08		0,07		





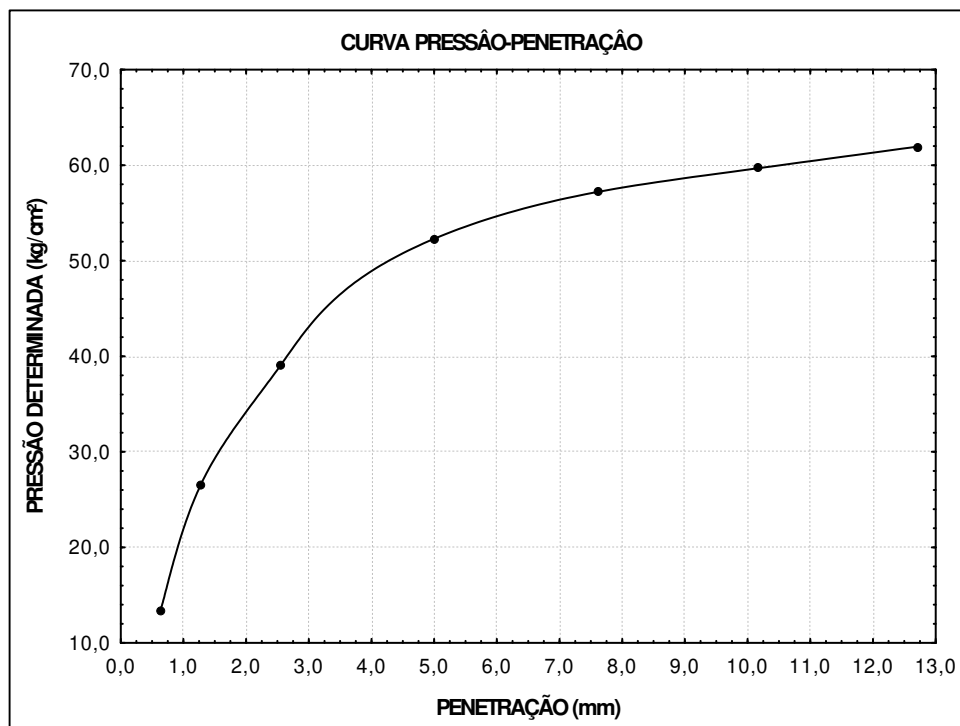
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

SOLO + 25% DE RESÍDUO + 6,0% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,692 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	6	26			
Umidade ótima (ho)=	17,73 %	Peso bruto úmido (g) =	83,11	92,64			
Umidade higroscópica (hi)=	3,24 %	Peso bruto seco (g) =	73,89	82,01			
ho - hi =	14,49 %	Tara da cápsula (g) =	20,58	20,97			
Cilindro n <sup>o</sup> =	10	Peso da água (g) =	9,22	10,63			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	53,31	61,04			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	17,30	17,41			
Tara (T) =	7590 g	Teor médio de umidade (%) =	17,35				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11780g				
Peso do solo a utilizar=	5811,7 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4190g				
Água a juntar=	842,12 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	1,991g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,697g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	130	13,33		<b>58,74</b> 49,81	
1 min.	0,05	1,27	258	26,46			
2 min.	0,1	2,54	401	41,12	70		
4 min.	0,2	5,00	510	52,30	105		
6 min.	0,3	7,62	558	57,22	133		
8 min.	0,4	10,16	582	59,68	161		
10 min.	0,5	12,70	604	61,94	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
19/10/2006	12:30	0,00					
23/10/2006	12:30	0,11	0,11			0,09	



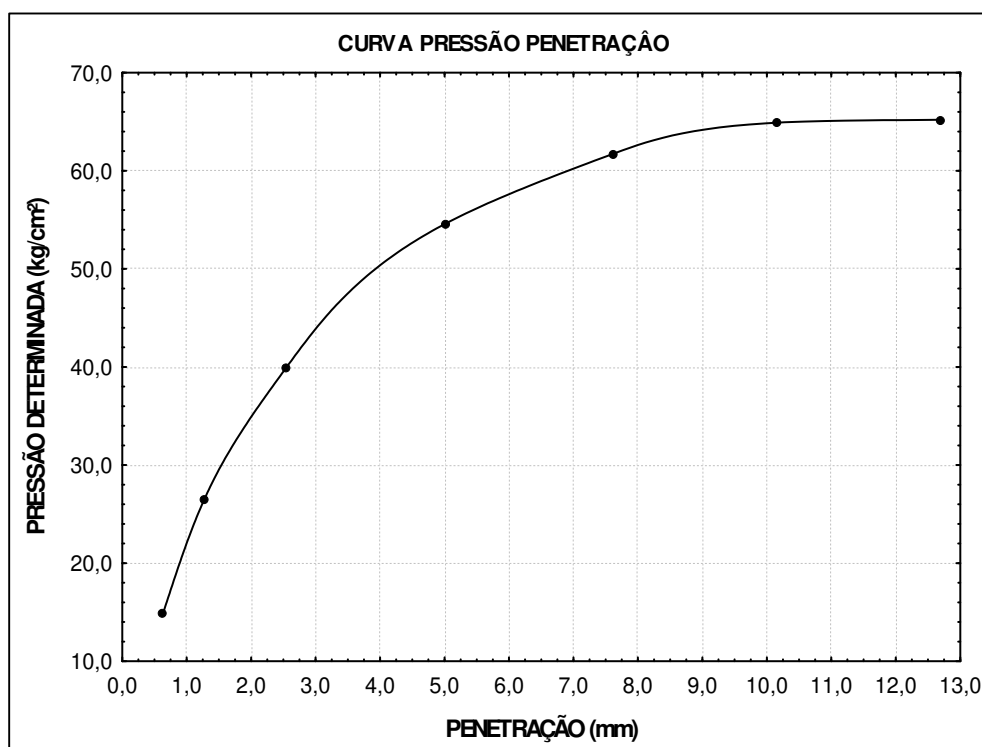
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

SOLO + 25% DE RESÍDUO + 6,0% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,692 g/cm <sup>3</sup>		Cápsula n <sup>o</sup> =	40	25		
Umidade ótima (h <sub>o</sub> )=	17,73 %		Peso bruto úmido (g) =	90,84	95,10		
Umidade higroscópica (h <sub>i</sub> )=	3,24 %		Peso bruto seco (g) =	80,48	83,90		
h <sub>o</sub> - h <sub>i</sub> =	14,49 %		Tara da cápsula (g) =	21,65	20,95		
Cilindro n <sup>o</sup> =	12		Peso da água (g) =	10,36	11,20		
Altura (H)=	11,60 cm		Peso do solo seco (g) =	58,83	62,95		
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>		Teor de umidade (%) =	17,61	17,79		
Tara (T) =	7785 g		Teor médio de umidade (%) =	17,70			
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g		Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11970g			
Peso do solo a utilizar=	5811,7 g		Peso do corpo-de-prova úmido=	4185g			
Água a juntar=	842,12 g		Densidade do corpo-de-prova úmido=	1,988g/cm <sup>3</sup>			
			Densidade do corpo-de-prova seco=	1,689g/cm <sup>3</sup>			
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	145	14,87		<b>54,42</b> 51,96	
1 min.	0,05	1,27	258	26,46			
2 min.	0,1	2,54	371	38,10	70		
4 min.	0,2	5,00	532	54,56	105		
6 min.	0,3	7,62	602	61,74	133		
8 min.	0,4	10,16	633	64,91	161		
10 min.	0,5	12,70	636	65,22	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
31/10/2006	13:00	0,00		0,09			
4/11/2006	13:00	0,10	0,10				



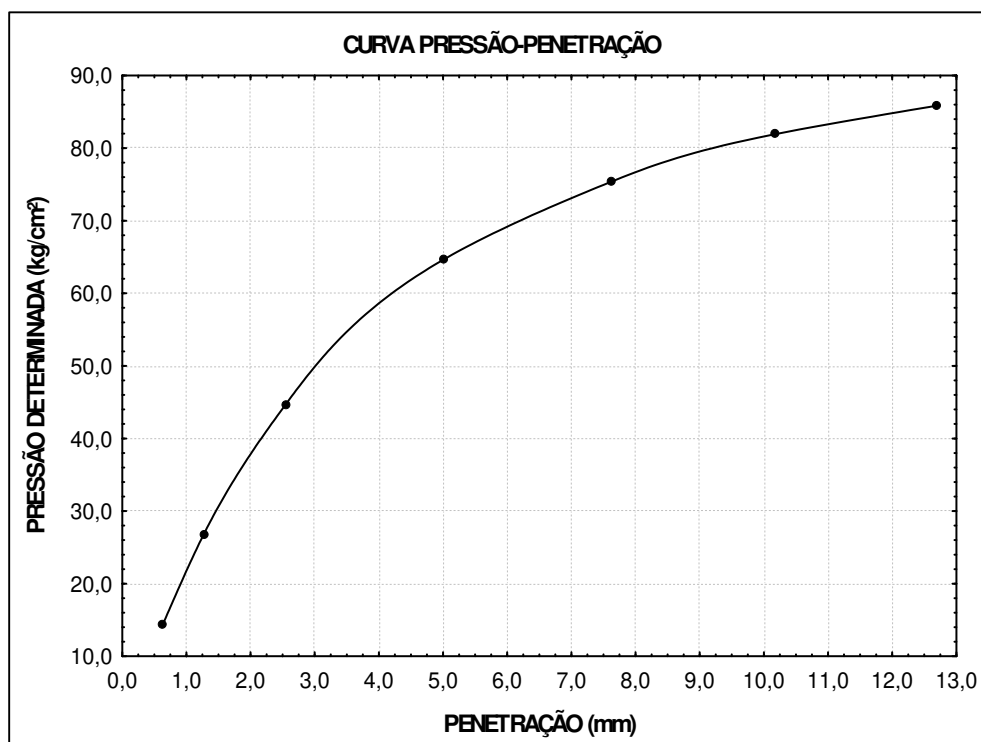
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 25% DE RESÍDUO + 7,5% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,679 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	0	20			
Umidade ótima (ho)=	17,95 %	Peso bruto úmido (g) =	85,20	80,30			
Umidade higroscópica (hi)=	3,33 %	Peso bruto seco (g) =	75,30	71,30			
ho - hi =	14,62 %	Tara da cápsula (g) =	20,88	21,04			
Cilindro n <sup>o</sup> =	12	Peso da água (g) =	9,90	9,00			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	54,42	50,26			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	18,19	17,91			
Tara (T) =	7785 g	Teor médio de umidade (%) =	18,05				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11928g				
Peso do solo a utilizar=	5807 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4143g				
Água a juntar=	849 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	1,970g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,669g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	140	14,36		<b>63,73</b> 61,53	
1 min.	0,05	1,27	265	27,18			
2 min.	0,1	2,54	435	44,61	70		
4 min.	0,2	5,00	630	64,61	105		
6 min.	0,3	7,62	735	75,37	133		
8 min.	0,4	10,16	799	81,94	161		
10 min.	0,5	12,70	837	85,83	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
31/10/2006	12:00	0,00					
4/11/2006	12:00	0,08	0,08		0,07		



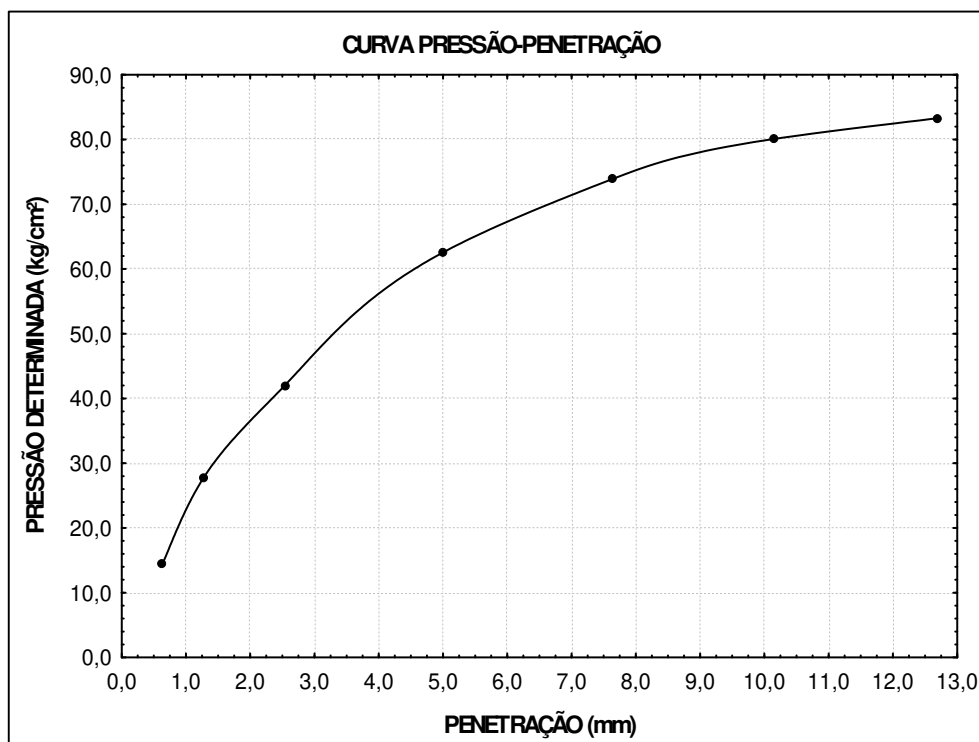
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 25% DE RESÍDUO + 7,5% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,679 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	6	26			
Umidade ótima (ho)=	17,95 %	Peso bruto úmido (g) =	85,30	80,29			
Umidade higroscópica (hi)=	3,33 %	Peso bruto seco (g) =	75,39	71,19			
ho - hi =	14,62 %	Tara da cápsula (g) =	20,58	20,97			
Cilindro n <sup>o</sup> =	16	Peso da água (g) =	9,91	9,10			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	54,81	50,22			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	18,08	18,12			
Tara (T) =	7785 g	Teor médio de umidade (%) =	18,10				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=			11935g		
Peso do solo a utilizar=	5807 g	Peso do corpo-de-prova úmido=			4150g		
Água a juntar=	849 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=			1,970g/cm <sup>3</sup>		
		Densidade do corpo-de-prova seco=			1,668g/cm <sup>3</sup>		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	140	14,36		<b>60,05</b> 59,58	
1 min.	0,05	1,27	270	27,69			
2 min.	0,1	2,54	410	42,04	70		
4 min.	0,2	5,00	610	62,56	105		
6 min.	0,3	7,62	720	73,84	133		
8 min.	0,4	10,16	781	80,09	161		
10 min.	0,5	12,70	812	83,27	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
31/10/2006	12:30	0,00					
4/11/2006	12:30	0,08	0,08			0,07	



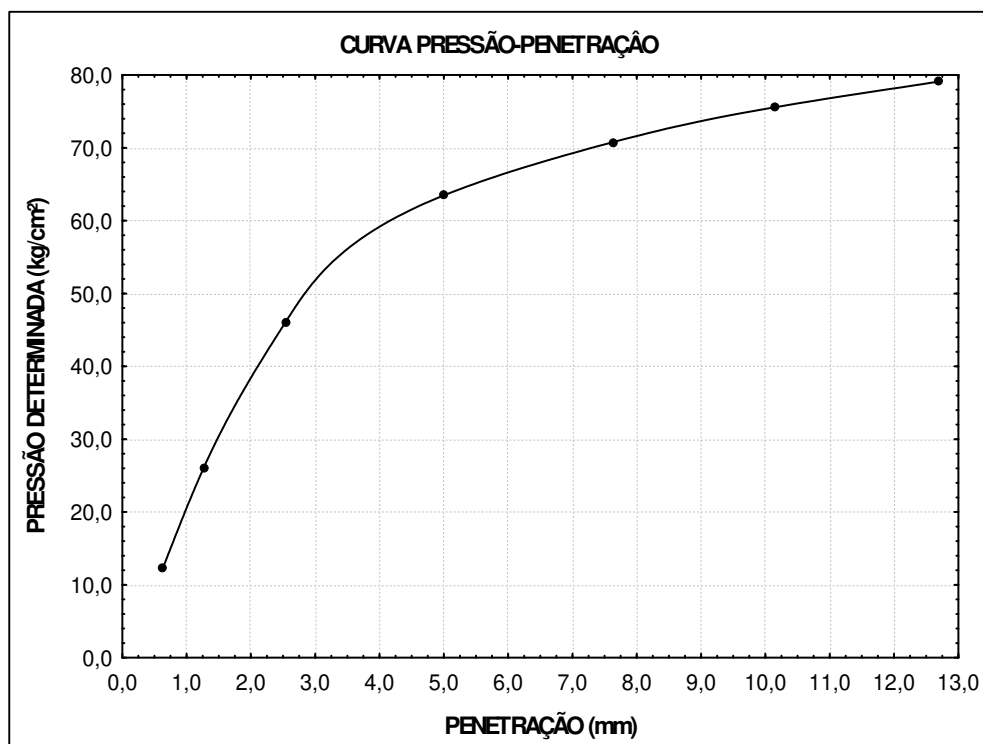
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 25% DE RESÍDUO + 7,5% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,679 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	40	25			
Umidade ótima (ho)=	17,95 %	Peso bruto úmido (g) =	84,30	90,10			
Umidade higroscópica (hi)=	3,33 %	Peso bruto seco (g) =	74,80	79,65			
ho - hi =	14,62 %	Tara da cápsula (g) =	21,65	20,95			
Cilindro n <sup>o</sup> =	10	Peso da água (g) =	9,50	10,45			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	53,15	58,70			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	17,87	17,80			
Tara (T) =	7590 g	Teor médio de umidade (%) =	17,84				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11695g				
Peso do solo a utilizar=	5807 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4105g				
Água a juntar=	849 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	1,950g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,655g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	120	12,31		<b>61,53</b> 60,46	
1 min.	0,05	1,27	255	26,15			
2 min.	0,1	2,54	420	43,07	70		
4 min.	0,2	5,00	619	63,48	105		
6 min.	0,3	7,62	690	70,76	133		
8 min.	0,4	10,16	737	75,58	161		
10 min.	0,5	12,70	771	79,07	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
19/10/2006	13:30	0,00					
23/10/2006	13:30	0,07	0,07			0,06	



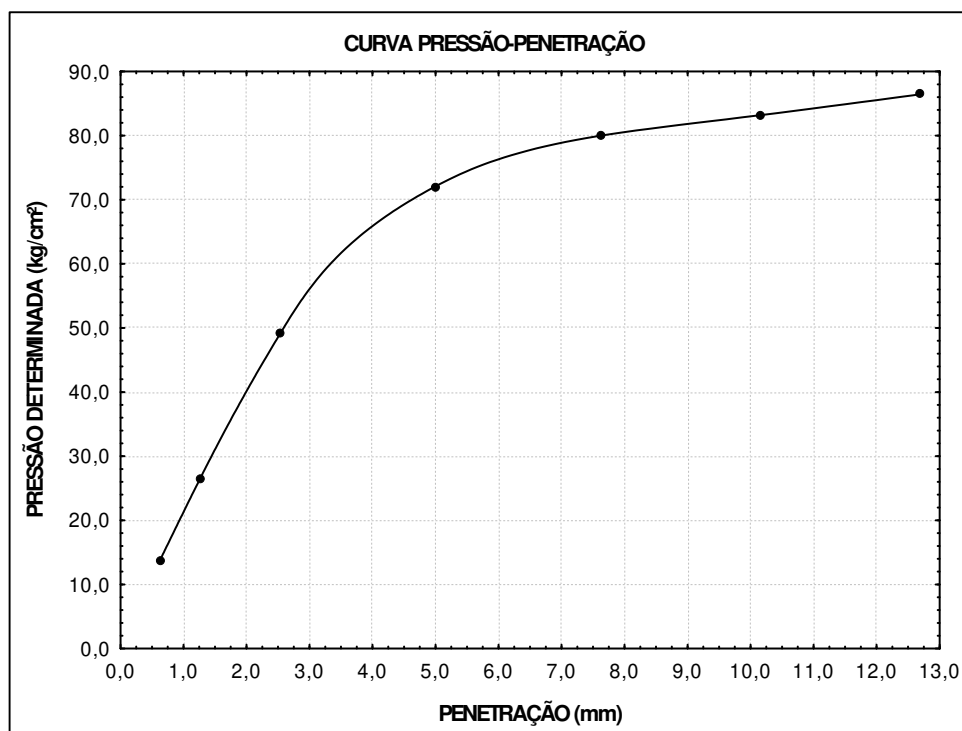
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

SOLO + 25% DE RESÍDUO + 9,0% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,641 g/cm <sup>3</sup>		Cápsula n <sup>o</sup> =	0	20		
Umidade ótima (h <sub>o</sub> )=	18,59 %		Peso bruto úmido (g) =	122,50	131,80		
Umidade higroscópica (h <sub>i</sub> )=	3,28 %		Peso bruto seco (g) =	106,54	114,32		
h <sub>o</sub> - h <sub>i</sub> =	15,31 %		Tara da cápsula (g) =	20,88	21,04		
Cilindro n <sup>o</sup> =	15		Peso da água (g) =	15,96	17,48		
Altura (H)=	11,60 cm		Peso do solo seco (g) =	85,66	93,28		
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>		Teor de umidade (%) =	18,63	18,74		
Tara (T) =	7640 g		Teor médio de umidade (%) =	18,69			
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g		Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11730g			
Peso do solo a utilizar=	5809,45 g		Peso do corpo-de-prova úmido=	4090g			
Água a juntar=	889,43 g		Densidade do corpo-de-prova úmido=	1,943g/cm <sup>3</sup>			
			Densidade do corpo-de-prova seco=	1,637g/cm <sup>3</sup>			
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	134	13,75		<b>68,86</b> <b>71,30</b>	
1 min.	0,05	1,27	258	26,46			
2 min.	0,1	2,54	470	48,20	70		
4 min.	0,2	5,00	730	74,86	105		
6 min.	0,3	7,62	781	80,09	133		
8 min.	0,4	10,16	811	83,17	161		
10 min.	0,5	12,70	838	85,94	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
20/10/2006	12:30	0,00					
24/10/2006	12:30	0,08	0,08	0,07			



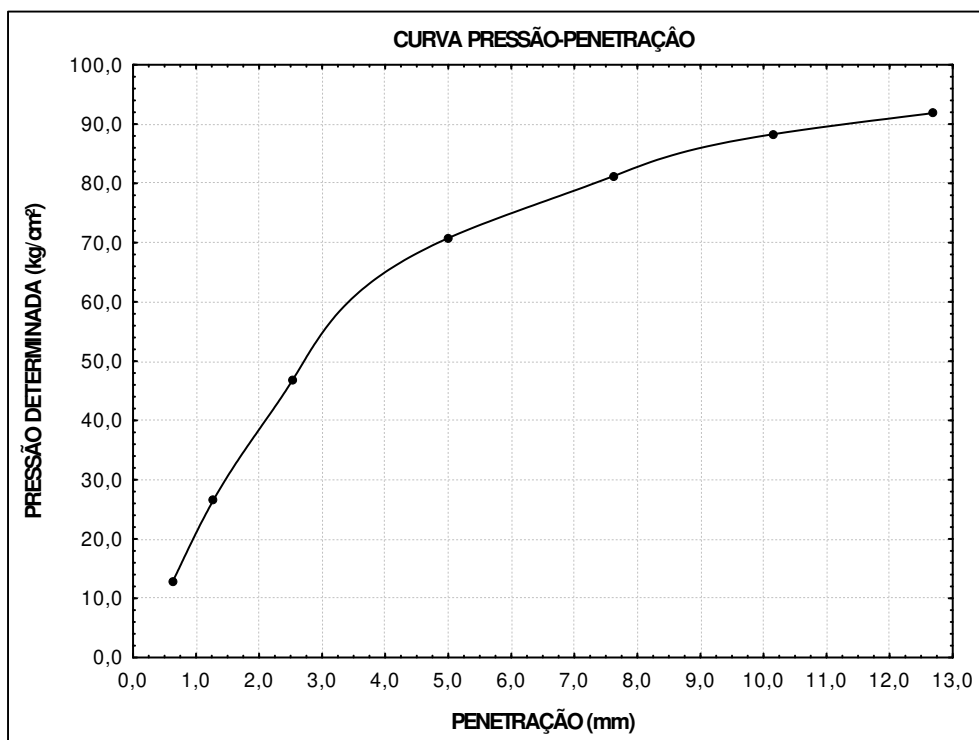
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

SOLO + 25% DE RESÍDUO + 9,0% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,641 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	6	26			
Umidade ótima (ho)=	18,59 %	Peso bruto úmido (g) =	100,15	99,80			
Umidade higroscópica (hi)=	3,28 %	Peso bruto seco (g) =	87,50	87,38			
ho - hi =	15,31 %	Tara da cápsula (g) =	20,58	20,97			
Cilindro n <sup>o</sup> =	14	Peso da água (g) =	12,65	12,42			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	66,92	66,41			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	18,90	18,70			
Tara (T) =	7590 g	Teor médio de umidade (%) =	18,80				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11690g				
Peso do solo a utilizar=	5809,45 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4100g				
Água a juntar=	889,43 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	1,948g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,639g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	125	12,82		<b>67,10</b> <b>67,39</b>	
1 min.	0,05	1,27	258	26,46			
2 min.	0,1	2,54	458	46,97	70		
4 min.	0,2	5,00	690	70,76	105		
6 min.	0,3	7,62	792	81,22	133		
8 min.	0,4	10,16	861	88,30	161		
10 min.	0,5	12,70	896	91,88	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
20/10/2006	13:30	0,00					
24/10/2006	13:30	0,08	0,08			0,07	



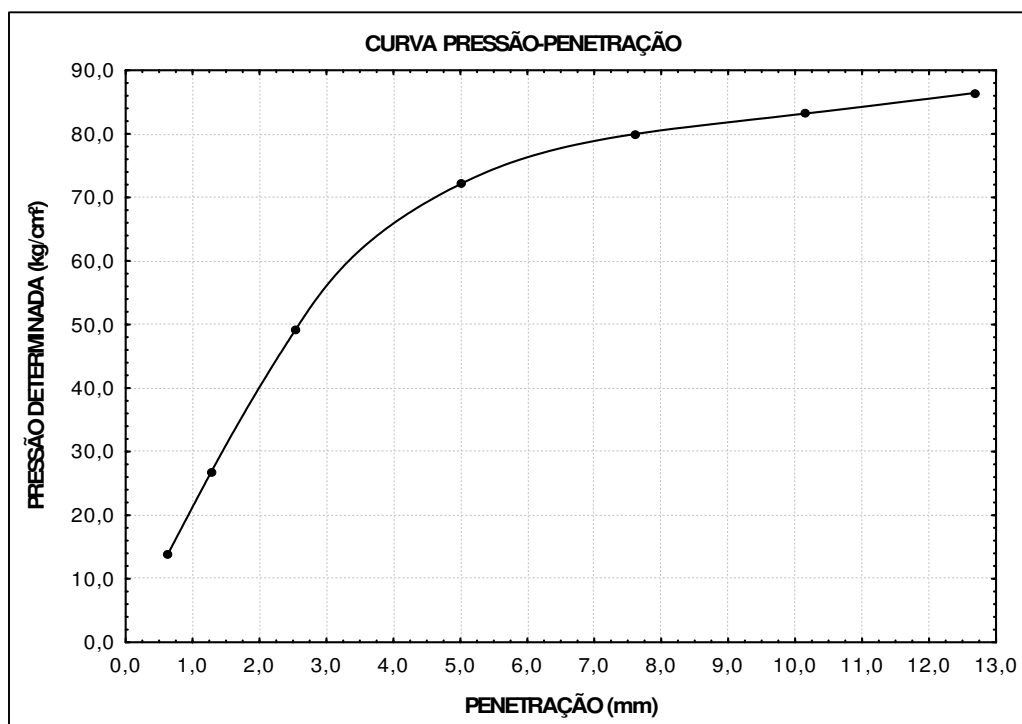
# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFORNIA

## SOLO + 25% DE RESÍDUO + 9,0% CAL

DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM				
Densidade máxima=	1,641 g/cm <sup>3</sup>	Cápsula n <sup>o</sup> =	40	25			
Umidade ótima (ho)=	18,59 %	Peso bruto úmido (g) =	115,20	130,10			
Umidade higroscópica (hi)=	3,28 %	Peso bruto seco (g) =	100,70	112,99			
ho - hi =	15,31 %	Tara da cápsula (g) =	21,65	20,95			
Cilindro n <sup>o</sup> =	16	Peso da água (g) =	14,50	17,11			
Altura (H)=	11,60 cm	Peso do solo seco (g) =	79,05	92,04			
Volume (S)=	2104,92 cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	18,34	18,59			
Tara (T) =	7785 g	Teor médio de umidade (%) =	18,47				
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM				
Peso do solo seco=	6000 g	Peso bruto do corpo-de-prova úmido=	11880g				
Peso do solo a utilizar=	5809,45 g	Peso do corpo-de-prova úmido=	4095g				
Água a juntar=	889,43 g	Densidade do corpo-de-prova úmido=	1,945g/cm <sup>3</sup>				
		Densidade do corpo-de-prova seco=	1,642g/cm <sup>3</sup>				
ENSAIO DE PENETRAÇÃO							
Penetração			Leitura no	Pressão (kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,10255	
tempo	pol	mm	Extensômetro (kg)	Determinada	Padrão		
30s	0,025	0,63	135	13,84		<b>70,31</b> 68,66	
1 min.	0,05	1,27	260	26,66			
2 min.	0,1	2,54	480	49,22	70		
4 min.	0,2	5,00	703	72,09	105		
6 min.	0,3	7,62	780	79,99	133		
8 min.	0,4	10,16	811	83,17	161		
10 min.	0,5	12,70	843	86,45	1,82		
EXPANSÃO DE AMOSTRA INUNDADA							
Datas		Leitura do Extensômetro (mm)	Diferença (mm)	Expansão (%)			
Dia	Hora						
20/10/2006	12:30	0,00					
24/10/2006	12:30	0,05	0,05			0,04	





**ANEXO E – Ensaio de Compressão Simples**

Constam planilhas de cálculos resultantes dos ensaios de compressão simples.

# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DA RESISTENCIA A COMPRESSAO SIMPLES

## SOLO

DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM	
Peso do molde =	2357,60 g	Cápsula nº=	F AA
Peso do molde + solo =	4432,32 g	Peso bruto úmido (g) =	66,94 73,44
Peso do corpo de prova =	2074,72 g	Peso bruto seco (g) =	60,30 65,98
Volume do molde =	997,46 cm <sup>3</sup>	Tara da cápsula (g) =	15,44 15,36
Cilindro nº =	1	Peso da água (g) =	6,64 7,46
Massa específica aparente do corpo de prova =	2,080 g/cm <sup>3</sup>	Peso do solo seco (g) =	44,86 50,62
Massa específica aparente seca do corpo de prova =	1,812 g/cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,80 14,74
Grau de compactação =	100,11 %	Teor médio de umidade (%) =	14,77
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA	
Carga de ruptura (C) =	180,00 kgf	$RC = \frac{C}{A} \times 0,1 \text{ (MPa)}$	
Constante do anel =	2,042		
Área da seção transversal do corpo de prova (A) =	78,23 cm <sup>2</sup>		
Resistência à compressão simples (RC) =	0,47 Mpa		

DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM	
Peso do molde =	2357,60 g	Cápsula nº=	E M
Peso do molde + solo =	4428,40 g	Peso bruto úmido (g) =	70,50 76,50
Peso do corpo de prova =	2070,80 g	Peso bruto seco (g) =	63,50 68,80
Volume do molde =	997,46 cm <sup>3</sup>	Tara da cápsula (g) =	16,06 15,80
Cilindro nº =	2	Peso da água (g) =	7,00 7,70
Massa específica aparente do corpo de prova =	2,076 g/cm <sup>3</sup>	Peso do solo seco (g) =	47,44 52,90
Massa específica aparente seca do corpo de prova =	1,811 g/cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,76 14,50
Grau de compactação =	100,06 %	Teor médio de umidade (%) =	14,65
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA	
Carga de ruptura (C) =	185,00 kgf	$RC = \frac{C}{A} \times 0,1 \text{ (MPa)}$	
Constante do anel =	2,042		
Área da seção transversal do corpo de prova (A) =	78,23 cm <sup>2</sup>		
Resistência à compressão simples (RC) =	0,48 Mpa		

DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM	
Peso do molde=	2357,60 g	Cápsula nº=	C D
Peso do molde + solo =	4440,30 g	Peso bruto úmido (g) =	71,30 75,30
Peso do corpo de prova =	2082,70 g	Peso bruto seco (g) =	63,90 67,30
Volume do molde =	997,46 cm <sup>3</sup>	Tara da cápsula (g) =	13,89 13,40
Cilindro nº =	3	Peso da água (g) =	7,40 7,90
Massa específica aparente do corpo de prova =	2,088 g/cm <sup>3</sup>	Peso do solo seco (g) =	50,01 53,80
Massa específica aparente seca do corpo de prova =	1,819 g/cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	14,80 14,70
Grau de compactação =	100,50 %	Teor médio de umidade (%) =	14,78
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA	
Carga de ruptura (C) =	176,00 kgf	$RC = \frac{C}{A} \times 0,1 \text{ (MPa)}$	
Constante do anel =	2,042		
Área da seção transversal do corpo de prova (A) =	78,23 cm <sup>2</sup>		
Resistência à compressão simples (RC) =	0,46 Mpa		

# ATECEL

LABORATÓRIO DE SOLOS

DETERMINAÇÃO DA RESISTENCIA A COMPRESSAO SIMPLES

## SOLO + 25% RESÍDUO + 4,5% CAL

DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde =	2357,60 g	Cápsula nº=	L	P
Peso do molde + solo =	4384,44 g	Peso bruto úmido (g) =	61,20	62,14
Peso do corpo de prova =	2026,84 g	Peso bruto seco (g) =	54,31	55,09
Volume do molde =	997,46 cm <sup>3</sup>	Tara da cápsula (g) =	14,70	14,90
Cilindro nº =	1	Peso da água (g) =	6,89	7,05
Massa especifica aparente do corpo de prova =	2,032 g/cm <sup>3</sup>	Peso do solo seco (g) =	39,61	40,19
Massa especifica aparente seca do corpo de prova =	1,730 g/cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	17,39	17,54
Grau de compactação =	99,65 %	Teor médio de umidade (%) =	17,47	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura (C) =	290,00 kgf	$RC = \frac{C}{A} \times 0,1 \text{ (MPa)}$		
Constante do anel =	2,042			
Área da seção transversal do corpo de prova (A) =	78,23 cm <sup>2</sup>			
Resistência à compressão simples (RC) =	0,76 Mpa			

DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde =	2357,60 g	Cápsula nº=	X	Y
Peso do molde + solo =	4401,00 g	Peso bruto úmido (g) =	76,30	75,31
Peso do corpo de prova =	2043,40 g	Peso bruto seco (g) =	67,25	66,21
Volume do molde =	997,46 cm <sup>3</sup>	Tara da cápsula (g) =	15,20	14,91
Cilindro nº =	2	Peso da água (g) =	9,05	9,08
Massa especifica aparente do corpo de prova =	2,049 g/cm <sup>3</sup>	Peso do solo seco (g) =	52,05	51,31
Massa especifica aparente seca do corpo de prova =	1,743 g/cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	17,39	17,61
Grau de compactação =	100,40 %	Teor médio de umidade (%) =	17,54	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura (C) =	270,00 kgf	$RC = \frac{C}{A} \times 0,1 \text{ (MPa)}$		
Constante do anel =	2,042			
Área da seção transversal do corpo de prova (A) =	78,23 cm <sup>2</sup>			
Resistência à compressão simples (RC) =	0,70 Mpa			

DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde=	2357,60 g	Cápsula nº=	N	32
Peso do molde + solo =	4392,90 g	Peso bruto úmido (g) =	74,20	70,41
Peso do corpo de prova =	2035,30 g	Peso bruto seco (g) =	65,20	62,31
Volume do molde =	997,46 cm <sup>3</sup>	Tara da cápsula (g) =	13,38	16,01
Cilindro nº =	3	Peso da água (g) =	9,00	8,09
Massa especifica aparente do corpo de prova =	2,040 g/cm <sup>3</sup>	Peso do solo seco (g) =	51,82	46,31
Massa especifica aparente seca do corpo de prova =	1,738 g/cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	17,37	17,41
Grau de compactação =	100,11 %	Teor médio de umidade (%) =	17,41	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura (C) =	290,00 kgf	$RC = \frac{C}{A} \times 0,1 \text{ (MPa)}$		
Constante do anel =	2,042			
Área da seção transversal do corpo de prova (A) =	78,23 cm <sup>2</sup>			
Resistência à compressão simples (RC) =	0,76 Mpa			

# ATECEL

## LABORATÓRIO DE SOLOS

### DETERMINAÇÃO DA RESISTENCIA A COMPRESSAO SIMPLES

#### SOLO + 25% RESÍDUO + 9,0% CAL

DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM	
Peso do molde =	2357,60 g	Cápsula nº=	17 C
Peso do molde + solo =	4302,65 g	Peso bruto úmido (g) =	72,68 69,59
Peso do corpo de prova =	1945,05 g	Peso bruto seco (g) =	63,80 61,08
Volume do molde =	997,46 cm <sup>3</sup>	Tara da cápsula (g) =	15,70 15,50
Cilindro nº =	1	Peso da água (g) =	8,88 8,51
Massa específica aparente do corpo de prova =	1,950 g/cm <sup>3</sup>	Peso do solo seco (g) =	48,10 45,58
Massa específica aparente seca do corpo de prova =	1,645 g/cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	18,46 18,67
Grau de compactação =	100,24 %	Teor médio de umidade (%) =	18,57
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CALCULO DA RESISTÊNCIA	
Carga de ruptura (C) =	360,00 kgf	$RC = \frac{C}{A} \times 0,1 \text{ (MPa)}$	
Constante do anel =	2,042		
Área da seção transversal do corpo de prova (A) =	78,23 cm <sup>2</sup>		
Resistência à compressão simples (RC) =	0,94 Mpa		

DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM	
Peso do molde =	2357,60 g	Cápsula nº=	34 B
Peso do molde + solo =	4296,72 g	Peso bruto úmido (g) =	78,30 76,21
Peso do corpo de prova =	1939,12 g	Peso bruto seco (g) =	68,14 66,41
Volume do molde =	997,46 cm <sup>3</sup>	Tara da cápsula (g) =	13,60 14,31
Cilindro nº =	2	Peso da água (g) =	10,16 9,75
Massa específica aparente do corpo de prova =	1,944 g/cm <sup>3</sup>	Peso do solo seco (g) =	54,54 52,11
Massa específica aparente seca do corpo de prova =	1,638 g/cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	18,63 18,71
Grau de compactação =	99,82 %	Teor médio de umidade (%) =	18,67
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CALCULO DA RESISTÊNCIA	
Carga de ruptura (C) =	375,00 kgf	$RC = \frac{C}{A} \times 0,1 \text{ (MPa)}$	
Constante do anel =	2,042		
Área da seção transversal do corpo de prova (A) =	78,23 cm <sup>2</sup>		
Resistência à compressão simples (RC) =	0,98 Mpa		

DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM	
Peso do molde=	2357,60 g	Cápsula nº=	2 3
Peso do molde + solo =	4306,10 g	Peso bruto úmido (g) =	78,31 76,21
Peso do corpo de prova =	1948,50 g	Peso bruto seco (g) =	68,45 66,71
Volume do molde =	997,46 cm <sup>3</sup>	Tara da cápsula (g) =	15,10 15,41
Cilindro nº =	3	Peso da água (g) =	9,86 9,51
Massa específica aparente do corpo de prova =	1,953 g/cm <sup>3</sup>	Peso do solo seco (g) =	53,35 51,21
Massa específica aparente seca do corpo de prova =	1,648 g/cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%) =	18,48 18,51
Grau de compactação =	100,43 %	Teor médio de umidade (%) =	18,52
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CALCULO DA RESISTÊNCIA	
Carga de ruptura (C) =	382,00 kgf	$RC = \frac{C}{A} \times 0,1 \text{ (MPa)}$	
Constante do anel =	2,042		
Área da seção transversal do corpo de prova (A) =	78,23 cm <sup>2</sup>		
Resistência à compressão simples (RC) =	1,00 Mpa		

**ANEXO F – Análise química dos constituintes**

Constam os laudos dos ensaios de espectrofotometria por absorção atômica e análise química elementar, realizados com as amostras dos extratos solubilizados e lixiviados (solo, resíduo oleoso e mistura solo-resíduo-cal) e do resíduo oleoso em seu estado natural, respectivamente.



# Laboratório de Biotecnologia do Solo

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Campus II - Areia - PB Cep.: 58397-000

e-mail: biotecnologia.ufpb@yahoo.com.br

Tel.: (0xx83)3362-2300 Fax.: (0xx83)3362-2259



Nº 03/2006

## LAUDO DE POTABILIDADE DA ÁGUA

Nome do Responsável: José Frankneto Cordeiro

Endereço: Rua João Lourenço Porto, 384 – Capina Grande

Instituição: UFCG – Departamento de engenharia Civil

Estado: PB

Tel.: - - -

Identificação da Amostra:

1653 – Extrato Lixiviado (Solo)

1654 – Extrato Solubilizado (Resíduo Oleoso)

1655 – Extrato Solubilizado (Solo + Resíduo Oleoso + Cal)

1656 – Extrato Lixiviado (Solo + Resíduo Oleoso + Cal)

1657 – Extrato Lixiviado (Resíduo Oleoso)

1658 – Extrato Solubilizado (Solo)

### Análise Química

Identificação da amostra	Cl <sup>-</sup>	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cr	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
	----- mg L <sup>-1</sup> -----									
1653	-	-	-	-	-	-	0,00	0,142	0,00	-
1654	119,00	0,00	0,00	0,087	0,191	0,055	0,00	0,002	0,00	280,58
1655	140,00	9,28	0,00	0,039	0,162	0,019	0,00	0,001	0,00	11,68
1656	-	-	-	-	-	-	0,00	0,206	0,00	-
1657	-	-	-	-	-	-	0,00	0,307	0,00	-
1658	1.372,00	16,33	0,00	0,027	0,321	0,030	0,00	0,109	0,00	14,42

### Parecer Técnico

Observações:

Datas

Entrada:	13	12	2006	Saída:	20	12	2006
----------	----	----	------	--------	----	----	------

Técnico Responsável :

Adailson Pereira de Souza

Prof. Adjunto DSER/CCA/UFPB  
CREA: 59415/D

**ANEXO G – Quantitativos**

Detalha as quantidades de materiais (solo, resíduo oleoso e cal), utilizados na execução de um trecho de 1000m x 7,0m x 0,20m, para as misturas contendo 4,5% e 9,0% de cal.

## QUANTITATIVOS PARA OS MATERIAS UTILIZADOS NA PESQUISA

A estimativa a seguir leva em consideração as quantidades dos materiais utilizados nas misturas solo-resíduo-cal para um trecho de 1 km de comprimento, 7 metros de largura e 0,20 m de espessura.

### Situação 1 ( solo + 25% resíduo + 4,5% cal)

$$\text{Volume}_{(\text{trecho})} = 1000\text{m} * 7\text{m} * 0,20\text{m} = 1400 \text{ m}^3 = 1,4 * 10^9 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume}_{(\text{cilindro})} = 2104,92\text{cm}^3$$

$$\text{Peso}_{(\text{mistura})} = 4274,00 \text{ g}$$

Desta forma temos:

Para 25% de resíduo oleoso:

$$2104,92\text{cm}^3 \rightarrow 0,25 * 4274,00\text{g}$$

$$\text{Fr}_{(\text{fator resíduo})} = \left( \frac{0,25 * 4274,00\text{g}}{2104,92\text{cm}^3} \right) = 0,508 \text{ g} / \text{cm}^3$$

Para 4,5% de cal:

$$2104,92\text{cm}^3 \rightarrow 0,045 * 4274,00\text{g}$$

$$\text{Fc}_{(\text{fator cal})} = \left( \frac{0,045 * 4274,00\text{g}}{2104,92\text{cm}^3} \right) = 0,091 \text{ g} / \text{cm}^3$$

Para 70,5% de solo:

$$2104,92\text{cm}^3 \rightarrow 0,705 * 4274,00\text{g}$$



$$F_s_{(\text{fator solo})} = \left( \frac{0,705 * 4274,00g}{2104,92cm^3} \right) = 1,431g / cm^3$$

Sendo assim:

$$\text{Resíduo} = 0,508g/cm^3 * 1,4 * 10^9 cm^3 = 711,20 \text{ toneladas}$$

$$\text{Cal} = 0,091g/cm^3 * 1,4 * 10^9 cm^3 = 127,40 \text{ toneladas}$$

$$\text{Solo} = 1,431g/cm^3 * 1,4 * 10^9 cm^3 = 2003,40 \text{ toneladas}$$

### **Situação 2 ( solo + 25% resíduo + 9,0% cal)**

$$\text{Volume}_{(\text{trecho})} = 1000m * 7m * 0,20m = 1400 m^3 = 1,4 * 10^9 cm^3$$

$$\text{Volume}_{(\text{cilindro})} = 2104,92cm^3$$

$$\text{Peso}_{(\text{mistura})} = 4095,00 g$$

Desta forma temos:

Para 25% de resíduo oleoso:

$$2104,92cm^3 \rightarrow 0,25 * 4095,00g$$

$$F_r_{(\text{fator resíduo})} = \left( \frac{0,25 * 4095,00g}{2104,92cm^3} \right) = 0,486g / cm^3$$

Para 9,0% de cal:

$$2104,92cm^3 \rightarrow 0,09 * 4095,00g$$

$$F_c_{(\text{fator cal})} = \left( \frac{0,09 * 4095,00g}{2104,92cm^3} \right) = 0,175g / cm^3$$

Para 66,0% de solo:

$$2104,92\text{cm}^3 \rightarrow 0,66 * 4095,00\text{g}$$

$$F_s_{\text{(fator solo)}} = \left( \frac{0,66 * 4095,00\text{g}}{2104,92\text{cm}^3} \right) = 1,284\text{g} / \text{cm}^3$$

Sendo assim:

$$\text{Resíduo} = 0,486\text{g}/\text{cm}^3 * 1,4 * 10^9 \text{ cm}^3 = 680,40 \text{ toneladas}$$

$$\text{Cal} = 0,175\text{g}/\text{cm}^3 * 1,4 * 10^9 \text{ cm}^3 = 245,00 \text{ toneladas}$$

$$\text{Solo} = 1,284\text{g}/\text{cm}^3 * 1,4 * 10^9 \text{ cm}^3 = 1797,60 \text{ toneladas}$$

**ANEXO H – Esquema geral para pesquisas com a utilização de resíduos**

## ESQUEMA GERAL PARA PESQUISAS COM A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS

