

# Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Departamento de Engenharia Civil

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS OLEOSOS PROVENIENTES  
DAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE  
PETRÓLEO PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS  
ESTABILIZADAS DE BASES E SUB-BASES DE  
PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

**CLÁUDIO BATISTA DOS SANTOS**

**Campina Grande**  
**Data: MAIO / 2010**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**ÁREA DE GEOTÉCNICA**

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS OLEOSOS PROVENIENTES DAS ATIVIDADES DE  
EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS  
ESTABILIZADAS DE BASES E SUB-BASES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

Por:

**Cláudio Batista dos Santos**

**ORIENTADORES:**

**PROF. ADRIANO ELÍSIO DE FIGUEIREDO LOPES LUCENA, D.Sc.**

**PROF. ANDRÉ WESLEY BARBOSA RODRIGUES, D.Sc.**

**CAMPINA GRANDE**

**MAIO DE 2010**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCEG

S237u

Santos, Cláudio Batista

Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários / Cláudio Batista Santos. — Campina Grande, 2010.

155 f : il.

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

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena e Prof. Dr. André Wesley Barbosa Rodrigues.

1. Resíduo Oleoso 2. Estabilização - Solidificação 3. Pavimentos Rodoviários I. Título.

CDU 625.8(043)

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS OLEOSOS PROVENIENTES DAS ATIVIDADES DE  
EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS  
ESTABILIZADAS DE BASES E SUB-BASES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

**Cláudio Batista dos Santos**

Dissertação apresentada ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da  
Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para  
a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

DISSERTAÇÃO DEFENDIDA E APROVADA EM: 27 / 05 / 10

Banca examinadora:

Adriano Elísio de F. L. Lucena

Prof. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena, D.Sc. (UAEC/UFCG)

Orientador

André Wesley B. Rodrigues

Prof. André Wesley Barbosa Rodrigues, D.Sc. (PPGECA/UFCG)

Co-orientador

E. Cavalcante

Prof. Erinaldo Hilário Cavalcante, D.Sc. (UFS)

Examinador Externo

R. Bezerra

Prof. Raimundo Leidimar Bezerra, D.Sc. (PPGECA/UFCG)

Examinador Interno

## DEDICATÓRIA

*À Deus, por todos os dons que a mim foram concedidos.*

*À minha esposa Rayssa, pelo amor e apoio incondicional.*

*À minha mãe Cleide, pelo carinho e incentivo.*

## AGREDECIMENTOS

Aos meus avós, Creuza e José Batista, pelo amor, incentivo, carinho, e, principalmente pelo exemplo de honestidade e dignidade.

A minha irmã Michelle, pela amizade e por ter me acolhido, estando ao meu lado a maior parte do tempo.

Aos meus tios e tias que sempre me deram apoio e incentivo para que eu vencesse com louvor mais esta etapa da minha vida.

Aos meus orientadores Prof. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena e Prof. André Wesley, pela orientação, pelo apoio e estímulo constante, fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. John Kennedy Guedes Rodrigues, pelo aprendizado e apoio incondicionais para que eu até aqui chegasse.

As companheiras de curso, Izabelle e Solange, que sempre me ajudaram nas horas em que a elas recorri.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande.

Ao Prof. Erinaldo, pela colaboração na coleta do resíduo oleoso.

A Associação Técnico - Científica Ernesto Luís de Oliveira Júnior, ATECEL, pela colaboração e apoio no decorrer da pesquisa.

A CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

À PETROBRÁS, pela gentileza em permitir a coleta do resíduo oleoso.

A secretária do Programa de Pós-graduação, Josete, pelo apoio e atenção.

# UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS OLEOSOS PROVENIENTES DAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DE PETRÓLEO PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS ESTABILIZADAS DE BASES E SUB-BASES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

## Resumo

As atividades de Exploração e Produção (E & P) de petróleo geram vários tipos de resíduos oleosos, que são obtidos de diversos setores da cadeia produtiva de petróleo como: limpeza de filtros, derrames de óleo, fundo de tanques, limpezas em geral, transportes, etc. A disposição final desses resíduos sobre o ambiente vem causando grande preocupação apesar de a indústria petrolífera ter procurado adotar diretrizes que melhorem o desempenho das suas atividades. Desta forma, esta pesquisa tem por objetivo apresentar uma alternativa de reaproveitamento dos resíduos da indústria petrolífera, através da estabilização/solidificação de solos juntamente com o resíduo oleoso para aplicação em camadas de base e/ou sub-base de pavimentos, utilizando como agentes estabilizantes a cal e o cimento. O procedimento experimental foi dividido em duas partes: caracterização física e química dos materiais utilizados na pesquisa e caracterização mecânica das misturas solo-resíduo-cal e solo-resíduo-cimento. Após experimento piloto, adotou-se um percentual de incorporação de 17,5% de resíduo oleoso nas misturas e a cal e o cimento foram adicionados nos teores de 4,0%, 5,5%, 7,0%, 8,5% e 10%. A adição de cal e cimento nas misturas ocasionou um aumento significativo nos valores de CBR comparados aos valores encontrados para o solo em seu estado natural. Os valores obtidos no ensaio de expansão ficaram dentro dos limites pré-estabelecidos pelo DNIT para as misturas com adição de cal e fora dos limites para as misturas com adição de cimento. Todos os valores de CBR encontrados para os dois tipos de misturas estudadas estavam dentro dos padrões do DNIT para uso em sub-base de pavimentos rodoviários. Quanto à caracterização ambiental, a mistura ideal solo-resíduo-cal foi classificada como não perigosa e não inerte.

**Palavras-chave:** Resíduo Oleoso, Estabilização/solidificação, Pavimentos rodoviários.

## **USE OF RESIDUE THE PETROLEUM INDUSTRY FOR IMPLEMENTATION IN STABILIZED LAYERS OF BASE/SUB-BASES OF ROAD PAVEMENTS**

### **Abstract**

The Exploration and Production (E & P) of petroleum generate an oily residue that is obtained from various sectors of the production chain of oil such as cleaning of filters, oil spills, tank bottom, cleaning in general and transport. The final disposal of this residue on the environment has caused great concern despite the oil industry have sought to adopt policies that improve the performance of their activities. This study to present an alternative reuse of the residue oil industry by stabilizing / solidification of soils along with the oily residue for use in roads, using as a stabilizing agent lime and cement. The experimental procedure was divided into two parts: physical and chemical characterization of materials used in research and mechanical characterization of the soil-residue-lime and soil-residue-cement mixture. After an initial experiment, we adopted a percentage of incorporation of 17.5% of oily residue in the mixture and lime and cement were added in concentrations of 4.0%, 5.5%, 7.0%, 8.5% and 10%. The addition of lime and cement in the mixture caused a significant increase in CBR values when compared to the values found for the soil in its natural state. The values obtained in the test were to expand within the preset limits for DNIT for mixtures with the addition of lime and out of range for the mixtures with addition of cement. All CBR values found for the two types of mixtures were studied within the standards of DNIT for use in sub-base of road pavements. As for environmental characterization, the ideal mixture soil-lime-waste was not classified as dangerous and not inert.

**Keywords:** Oily Residue, Stabilization / solidification, Road pavements



## ÍNDICE

### **CAPÍTULO 1**

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Justificativa .....	2
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo geral.....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. Organização do trabalho.....	3

### **CAPÍTULO 2**

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1. O Petróleo.....	4
2.2. Atividades de Exploração e Produção (E & P) do petróleo.....	6
2.3. Resíduos gerados nas atividades das indústrias do petróleo .....	8
2.3.1. Lamas e cascalhos de perfuração.....	9
2.3.2. Água produzida.....	10
2.3.3. Resíduos associados .....	10
2.4. Classificação dos resíduos industriais.....	11
2.4.1. Resíduo Classe I – Perigosos .....	12
2.4.2. Resíduo Classe II – Não Perigosos.....	15
2.5. Características do resíduo oleoso gerado nas atividades de exploração e produção do petróleo .....	15
2.6. Tecnologias de tratamento aplicáveis aos resíduos oleosos para utilização em estradas.....	17
2.7. Estabilização química e solidificação de resíduos.....	24
2.8. Estabilização de solos para fins rodoviários.....	28
2.9. Considerações finais da fundamentação teórica .....	34

**CAPÍTULO 3**

<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
3.1. Materiais .....	35
3.1.1. Cimento .....	35
3.1.2. Cal .....	35
3.1.3. Solo .....	36
3.1.4. Resíduo oleoso de petróleo .....	37
3.2. Métodos .....	38
3.2.1. Caracterização física e química .....	38
3.2.1.1. Análise granulométrica .....	39
3.2.1.2. Determinação da Massa Específica .....	40
3.2.1.3. Composição química por fluorescência de raios X (EDX) .....	40
3.2.1.4. Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade .....	41
3.2.1.5. Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica .....	41
3.2.1.6. Difração de Raios-X .....	42
3.2.1.7. Caracterização ambiental .....	43
3.2.2. Caracterização mecânica .....	44
3.2.2.1. Ensaio de compactação .....	46
3.2.2.2. Ensaio CBR .....	47
3.2.2.3. Ensaio de resistência à compressão simples .....	50

**CAPÍTULO 4**

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>52</b>
4.1. Caracterização física e química .....	52
4.1.1. Distribuição dos tamanhos de grãos do cimento .....	52
4.1.2. Distribuição dos tamanhos de grãos da cal .....	53
4.1.3. Distribuição dos tamanhos de grãos do solo .....	53
4.1.4. Massa específica real dos materiais utilizados na pesquisa .....	54
4.1.5. Análise química do solo argiloso .....	55

4.1.6. Índices de consistência do solo.....	55
4.1.7. Distribuição do tamanho dos grãos do resíduo oleoso.....	56
4.1.8. Análise química do resíduo oleoso.....	57
4.1.9. Análise Térmica Diferencial (ATD) e Termogravimétrica (ATG) do resíduo oleoso .....	57
4.1.10. Difração de raio-x do resíduo oleoso.....	58
4.1.11. Caracterização ambiental do resíduo oleoso.....	59
4.2. Caracterização mecânica.....	59
4.2.1. Experimento piloto .....	59
4.2.2. Ensaio de compactação para as misturas.....	61
4.2.3. Ensaio de CBR para as misturas.....	64
4.2.4. Ensaio de resistência à compressão Simples.....	67
4.2.5. Caracterização ambiental da mistura solo-resíduo-cal .....	69
<b>CAPÍTULO 5</b>	
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	71
5.1. Conclusões.....	71
5.2. Sugestões para trabalhos futuros.....	72
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO A – Ensaio de Difração à Laser .....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO B – Ensaio de Compactação.....</b>	<b>83</b>
<b>ANEXO C – Ensaio CBR.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO D – Ensaio de Resistência à Compressão Simples .....</b>	<b>128</b>

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Tecnologia de Roadspreading .....	20
Figura 2 - Reforço de base de pavimentos com geossintéticos.....	29
Figura 3 - Cimento utilizado na pesquisa .....	35
Figura 4 - Cal Hidratada utilizada na pesquisa.....	36
Figura 5 - Solo argiloso utilizado na pesquisa.....	36
Figura 6 - Resíduo oleoso utilizado na pesquisa.....	37
Figura 7 - Equipamentos do ensaio de difração à laser – CILAS 1064.....	40
Figura 8 - Equipamento EDX 720 da Shimadzu.....	41
Figura 9 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de termogravimetria .....	42
Figura 10 - Difratorômetro de raios-x XRD6000 .....	42
Figura 11 - Aparelho extrator de Betume .....	43
Figura 12 - Equipamento utilizado no ensaio de Espectroscopia por absorção atômica... 44	
Figura 13 - Molde e soquete utilizados para realização dos ensaios de compactação.....	46
Figura 14 - (a) Prensa Manual CBR/ISC e (b) Molde utilizado para realização dos ensaios de CBR.....	48
Figura 15 - (a) Extensômetro e molde, (b) sobrecargas – equipamentos utilizados para realização dos ensaios de expansão .....	49
Figura 16 - (a) Extrator de corpo-de-prova, (b) corpo-de-prova e (c) Prensa manual simples utilizada para a realização dos ensaios de compressão simples.....	51
Figura 17 - Gráfico da distribuição granulométrica do cimento obtida por difração à laser.....	52
Figura 18 - Gráfico da distribuição granulométrica da cal obtida por difração à laser.....	53
Figura 19 - Distribuição dos tamanhos das partículas do solo obtida por difração à laser.....	56
Figura 20 - Gráfico da distribuição granulométrica do resíduo oleoso obtida por difração à laser .....	58
Figura 21 - Curvas de ATD e ATG do resíduo oleoso .....	58

Figura 22 - Difração de raio-x do resíduo oleoso .....	58
Figura 23 - Curva de compactação para o solo.....	59
Figura 24 - Efeito da adição do resíduo oleoso nos valores de CBR para o solo .....	60
Figura 25 - Curvas de compactação para as misturas solo-resíduo-cal .....	62
Figura 26 - Curvas de compactação para as misturas solo-resíduo-cimento .....	63
Figura 27 - Efeito do incremento do teor de cal na mistura nos valores de CBR.....	64
Figura 28 - Efeito do incremento do teor de cimento na mistura nos valores de CBR.....	64
Figura 29 - Efeito do teor de cal nos valores da resistência à compressão simples .....	67
Figura 30 - Efeito do teor de cimento nos valores da resistência à compressão simples .	67

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Caracterização física, química e mineralógica dos materiais utilizados na pesquisa .....	38
Fluxograma 2 - Caracterização mecânica das misturas .....	45
Fluxograma 3 - Seqüência adotada para realização do ensaio de compactação .....	47
Fluxograma 4 - Seqüência adotada para a realização do ensaio de CBR.....	49
Fluxograma 5 - Sequência de atividades adotada para a realização do ensaio de Compressão Simples .....	50

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Composição do óleo cru típico .....	4
Tabela 2 - Classificação do petróleo segundo THOMAS (2001) .....	5
Tabela 3 - Resíduos das atividades de E & P do petróleo.....	9
Tabela 4 - Normas para classificação de resíduo.....	12
Tabela 5 - Aspectos que conferem a periculosidade aos resíduos sólidos.....	13
Tabela 6 - Resíduos oleosos e suas respectivas operações geradoras .....	15
Tabela 7 - Técnicas ou processos comumente utilizados para disposição e reuso dos resíduos sólidos.....	19
Tabela 8 - Valores limites de GLC e de Leachate para a técnica Roadspreading e estabilização química/solidificação. ....	24
Tabela 9 - Normas utilizadas para caracterização física das amostras de solo.....	39
Tabela 10 - Normas utilizadas para caracterização física das amostras de resíduo.....	39
Tabela 11 - Massa específica real dos materiais utilizados na pesquisa.....	54
Tabela 12 - Composição química do solo argiloso .....	55
Tabela 13 - Limites de consistência do solo.....	55
Tabela 14 - Composição química do resíduo oleoso.....	57
Tabela 15 - Resultados obtidos no ensaio de compactação para o solo .....	60
Tabela 16 - Resultados dos ensaios de CBR variando a quantidade de resíduo oleoso ..	61
Tabela 17 - Resultados obtidos no ensaio de compactação para a mistura solo-resíduo-cal.....	62
Tabela 18 - Resultados obtidos no ensaio de compactação para a mistura solo-resíduo-cimento .....	63
Tabela 19 - Valores de referência para solos melhorados com cimento Portland .....	65
Tabela 20 - Resultados dos ensaios de CBR variando o teor de cal.....	65
Tabela 21 - Resultados dos ensaios de CBR variando o teor de cimento .....	66

Tabela 22 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples variando o teor de cal.....	68
Tabela 23 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples variando o teor de cimento .....	69
Tabela 24 - Resultados do teste de solubilização para a mistura solo-17,5%resíduo-8,5%cal.....	70
Tabela 25 - Resultados do teste de lixiviação para a mistura solo-17,5%resíduo-8,5%cal.....	70



## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials.

ATD - Análise Térmica Diferencial.

ATG - Análise Termogravimétrica.

API - American Petroleum Institute

BTEX - Benzeno, Tolueno, Etil-Benzeno e Xileno.

CBR - California Bearing Ratio.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem.

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes.

DRX - Difração de Raios-X.

EPA - Environmental Protection Agency.

EUB - Energy and Utilities Board.

E & P - Exploração e Produção.

LMP - Limites Máximos Permitidos.

NBR - Norma Brasileira Registrada.

RO - Resíduo Oleoso.

## **CAPÍTULO 1**

---

### **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente existe uma grande preocupação mundial com o meio ambiente e os impactos causados pelas atividades do homem, principalmente as que se referem a processos industriais que geram uma grande quantidade de resíduos, que em sua maioria não possuem um destino final ambientalmente adequado. Dessa forma, tem-se buscado avanços em técnicas de reaproveitamento e/ou reciclagem desses resíduos como forma de minimizar os impactos ambientais gerados pelos mesmos. O estudo e aperfeiçoamento destas técnicas podem resultar no desenvolvimento de novos produtos.

No Brasil a disposição de resíduos sólidos industriais no solo foi praticada de forma descontrolada e sem nenhuma restrição durante muitos anos, devido à falta de uma política ambiental efetiva (OLIVEIRA, 2003). As atividades de Exploração e Produção (E & P) de petróleo geram um resíduo oleoso que 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 disposição final desse resíduo sobre o ambiente vem causando grande preocupação apesar de a indústria petrolífera ter procurado adotar diretrizes que melhorem o desempenho das suas atividades. No entanto ainda não encontrou soluções viáveis referentes à disposição dos resíduos oleosos.

Segundo Cordeiro (2007), a pavimentação, pela sua extensão e grandes volumes de solo mobilizado, constitui-se uma alternativa ao reaproveitamento de resíduos, principalmente aqueles com certo potencial de estabilização. Os resíduos industriais ou subprodutos, quando disponível próximo as áreas em que são produzidos, resultam, geralmente, em soluções de baixo custo. A estabilização de solos em conjunto com o reaproveitamento de resíduos industriais tem permitido aplicações proveitosas na execução de bases e sub-bases de estradas.

Portanto, tem-se apresentado como alternativa para a utilização dos resíduos gerados pela indústria do petróleo, a mistura do resíduo oleoso com material argiloso para a estabilização em pavimentos rodoviários.

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

Tendo-se em vista a preocupação mundial com os resíduos gerados pelas atividades industriais, despertou-se um interesse em buscar técnicas que dêem um destino final adequado para esses rejeitos. Dentre as atividades geradoras de resíduos, destacam-se a exploração e produção de petróleo, que geram resíduos de diversas composições que contêm óleos, sendo bastante poluentes. Dessa forma, o reaproveitamento desses resíduos da indústria petrolífera é demasiadamente interessante para os dias atuais e para as gerações futuras.

Uma nova alternativa de reaproveitamento dos resíduos oleosos é a estabilização/solidificação de solos juntamente com o resíduo oleoso para aplicação em estradas.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é utilizar os resíduos oleosos provenientes das atividades de E & P de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e/ou sub-bases de pavimentos rodoviários.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar uma caracterização química, física e mineralógica do resíduo oleoso e dos materiais convencionais;
- Realizar uma caracterização mecânica do solo puro, das misturas SOLO + RO (resíduo oleoso), SOLO + RO + CAL e SOLO + RO + CIMENTO;
- Sugerir uma destinação final ambientalmente adequada para a utilização do resíduo oleoso proveniente das atividades de E & P de petróleo.

### **1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

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

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

[Capítulo 2] Fundamentação Teórica – são discutidos e descritos assuntos relacionados à: petróleo, resíduos oleosos gerados nas atividades de Exploração & Produção do Petróleo, características do resíduo gerado nas indústrias do petróleo, tecnologias de tratamento aplicáveis aos resíduos oleosos, classificação dos resíduos sólidos, 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 e Discussões – 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. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 O PETRÓLEO

O petróleo é uma substância oleosa, constituído basicamente por uma mistura de compostos químicos orgânicos (hidrocarbonetos). Suas características variam de reservatório para reservatório, isto é, diferentes reservatórios produzem petróleo com características diferentes. No estado líquido, é oleoso, inflamável, menos denso que a água, com cheiro característico e cor variando entre o negro e o castanho claro.

Os diversos tipos de petróleo existentes são definidos de acordo com a distribuição dos hidrocarbonetos existentes em sua composição. A Tabela 1 apresenta uma análise elementar do petróleo sob a forma de óleo cru típico.

**Tabela 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.

Conforme as informações apresentadas na Tabela 1, observa-se que 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%. 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 e na forma de compostos organometálicos complexos, que tendem a se encontrar nas frações mais pesadas. Podem ocorrer no petróleo os metais ferro, zinco, cobre, chumbo, molibdênio, cobalto,

arsênico, manganês, cromo, sódio, níquel, vanádio, sendo estes dois últimos encontrados com maior incidência. Na Tabela 2 está inserida a classificação para o petróleo, segundo Thomas (2001).

**Tabela 2 – Classificação do petróleo.**

<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 do petróleo produzido 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.

O petróleo é um produto de grande importância mundial. A grande maioria das atividades exercidas pelo homem depende direta ou indiretamente do petróleo. Segundo Fonseca (2003), o petróleo foi a principal fonte mundial de energia do século

XX. A produção mundial de cerca de 72 milhões de barris atendia a 40,6% da demanda de energia. No Brasil, o petróleo consumido representa cerca de 34,2% da matriz energética.

A produção atual de petróleo no Brasil, segundo a Petrobrás, é de 2,1 milhões de barris em média por dia.

## **2.2 ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO (E & P) DO PETRÓLEO**

No Brasil, a existência do petróleo já era computada durante os tempos do regime imperial. Nessa época, o Marquês de Olinda cedeu o direito a José Barros de Pimentel de realizar a extração de betume nas margens do rio Marau, na Bahia. Até as primeiras décadas do século XX, alguns estudiosos e exploradores anônimos tentaram perfurar alguns poços de petróleo sem obter êxito. Contudo, em 1930, o engenheiro agrônomo Manoel Inácio de Basto mudou essa situação.

Com base no relato de populares, Manoel Inácio teve a informação de que os moradores de Lobato, bairro suburbano de Salvador, utilizavam uma "lama preta" como combustível de suas lamparinas. Instigado por tal notícia, realizou testes e experimentos que atestavam a existência de petróleo nessa localidade. Em 1932 conseguiu entregar ao presidente Getúlio Vargas um laudo técnico que atestava o seu achado.

Em 1938, a discussão sobre o uso e a exploração dos recursos do subsolo brasileiro viabilizou a criação do CNP - Conselho Nacional do Petróleo. Em suas primeiras ações, o conselho determinou várias diretrizes com respeito ao petróleo e determinou que as jazidas pertencessem à União.

No ano de 1941, o governo brasileiro anunciou o estabelecimento do campo de exploração petrolífera de Candeias, Bahia. Apesar das descobertas em pequena escala, o surgimento dessa nova riqueza incentivou, em 1953, a oficialização do monopólio estatal sobre a atividade petrolífera e a criação da empresa estatal "Petróleo Brasileiro S.A.", mais conhecida como Petrobrás.

Na década de 1960, novas medidas ampliaram o grau de atuação da Petrobrás na economia brasileira. No ano de 1968, a empresa passou a desenvolver um projeto de extração iniciando a exploração de petróleo em águas profundas. Após as

primeiras descobertas na cidade sergipana de Guaricema, outras prospecções ampliaram significativamente a produção petrolífera brasileira. Em 1974, ocorreu a descoberta de poços na Bacia de Campos, a maior reserva de petróleo do país.

Com o passar do tempo, o Brasil se tornou uma das únicas nações a dominar a tecnologia de exploração petrolífera em águas profundas e ultraprofundas. Em 1997, durante o governo do presidente Fernando Henrique Cardoso, uma lei aprovou a extinção do monopólio estatal sobre a exploração petrolífera e permitiu que empresas do setor privado também pudessem competir na atividade. Tal medida visava ampliar as possibilidades de uso dessa riqueza.

Em 2003, a descoberta de outras bacias estabeleceu um novo período da atividade petrolífera no Brasil. A capacidade de produção de petróleo passou a suprir mais de 90% da demanda por esta fonte de energia e seus derivados no país. Em 2006, esse volume de produção atingiu patamares ainda mais elevados e conseguiu superar, pela primeira vez, o valor da demanda total da nossa economia. A conquista da autossuficiência permitiu o desenvolvimento da economia e o aumento das vagas de emprego.

No ano de 2007, o governo brasileiro anunciou a descoberta de um novo campo de exploração petrolífera na chamada camada pré-sal. Essas reservas de petróleo são encontradas a sete mil metros de profundidade e apresentam imensos poços de petróleo em excelente estado de conservação. Se as estimativas estiverem corretas, essa nova frente de exploração será capaz de dobrar o volume de produção de óleo e gás combustível do Brasil.

As atividades de exploração e produção da indústria do petróleo e gás podem ser subdivididas nas seguintes etapas: desenvolvimento de operações de exploração, perfuração do poço, produção e abandono.

A exploração é o processo de localização destas estruturas na subsuperfície terrestre, através de métodos que envolvem obtenção e análise de dados geológicos e geofísicos (EPA, 2000; THOMAS, 2001).

A perfuração do poço ocorre após a exploração ter localizado um campo economicamente viável, e implica na construção de um ou mais poços para o início,



que poderá ser abandonado se não forem encontrados hidrocarbonetos, ou para a completação se hidrocarbonetos forem encontrados em quantidades suficientes.

A perfuração de um poço de petróleo é realizada através de uma sonda. Na perfuração rotativa, as rochas são perfuradas pela ação da rotação e peso aplicados a uma broca existente na extremidade de uma coluna de perfuração, que consiste basicamente de comandos (tubos de paredes espessas), tubos intermediários, tubos de perfuração e acessórios da coluna de perfuração (estabilizadores, escareadores e alargadores) (THOMAS, 2001).

Os resíduos resultantes das operações de perfuração são lama e cascalhos de perfuração, solos contaminados com óleos, entulhos de construção civil, vasilhames contaminados, água do processo, sucata metálica, esgotos sanitários e resíduos (E & P FORUM, 1993).

A produção é o processo de extração de hidrocarbonetos e separação da mistura de hidrocarbonetos líquidos, gás, água e sólidos, removendo constituintes que indesejáveis. Nas áreas de produção sempre são tratados óleos crus originados de mais de um poço. Já nas refinarias processam-se óleos de várias áreas de produção. Da mesma forma, gás natural deve ser processado para remover impurezas, seja no campo ou nas instalações de processamento de gás natural.

O processo de abandono de áreas de produção envolve o fechamento do poço e restauração da área. Ele deve ocorrer quando um poço perfurado recentemente carece de potencial para produzir óleo ou gás, em quantidades viáveis economicamente, ou quando a produção do poço chegar ao limiar da viabilidade econômica (EPA, 2000).

### **2.3 RESÍDUOS GERADOS NAS ATIVIDADES DAS INDÚSTRIAS DO PETRÓLEO**

As atividades de exploração e produção de óleo e gás geram um substancial volume de resíduos. A água produzida, lamas e cascalhos de perfuração constituem a sua maioria, porém uma grande variedade de outros resíduos, chamados de resíduos associados, também são produzidos (API, 2000). A Tabela 3 apresenta os resíduos gerados durante as atividades de E & P do petróleo.

**Tabela 3 – Resíduos das atividades de E & P 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 floculantes, 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)

### 2.3.1 Lamas e Cascalhos de Perfuração

O Instituto Americano de Petróleo (API) classifica as lamas de perfuração em três tipos: fluidos base-água, base-óleo e base-sintética. Fluidos de perfuração base-água apresentam menor impacto ambiental, contudo a sua aplicabilidade é restrita. Fluidos base-óleo apresentam alta toxicidade e sua utilização tem sido inibida internacionalmente através de regulamentações. Os fluidos base-sintética são uma classe relativamente nova de lamas de perfuração, que são particularmente úteis para perfuração em águas profundas e em poços direcionais.

No processo de perfuração, fragmentos de rocha (cascalho) são trazidos à superfície juntamente com o fluido de perfuração. Estes fragmentos, compostos principalmente por arenitos, folhelhos e calcários, representam um importante aspecto ambiental em função do volume gerado e pela presença de um residual de fluido aderido. O volume de cascalho produzido depende da profundidade do poço e do diâmetro da broca, contudo estima-se que são gerados entre 0,6 e 6 barris de cascalho para cada metro vertical perfurado (UKOOA, 1999; SEABRA et. al., 2001).

As opções para tratamento e destinação final dos cascalhos incluem técnicas como *landfarming*, *landspreading*, compostagem, tratamentos térmicos (incineração e co-processamento), solidificação/estabilização e *dilution burial* (E & P FORUM, 1993).

### **2.3.2 Água Produzida**

As atividades de extração de óleo e gás são acompanhadas por produção de água, seja aquela naturalmente presente no reservatório seja à previamente injetada no reservatório, com vistas a recuperação secundária (OGP, 2000).

Esse resíduo, denominado água produzida, constitui o subproduto de maior volume no processo de extração de óleo e gás. Em poços maduros a água produzida pode representar 98% do material elevado à superfície (WIEDEMAN, 1996).

A maioria dos componentes do petróleo é facilmente separado da água produzida. Entretanto, algumas substâncias e impurezas são solúveis e de difícil remoção. Substâncias como cloretos, sódio, cálcio, magnésio e potássio podem ser encontrados em altas concentrações (BRAILE, 1993; SEABRA, 2001).

O descarte da água produzida deve ser precedido por tratamento. Em operações *offshore*, a água produzida só poderá ser descartada, caso haja uma remoção de partículas oleosas, até que se atenda aos limites da legislação Ambiental Brasileira que, através da Resolução CONAMA nº 20, limita o teor de óleos e graxas a 20mg/L (SOUZA, 2001). Ainda segundo Souza (2001), uma alternativa que vem sendo muito utilizada mundialmente é reinjetar a água, previamente filtrada, no próprio reservatório produtor ou em formações não produtoras.

### **2.3.3 Resíduos Associados**

Os demais resíduos gerados pelas atividades de exploração e produção são chamados resíduos associados. O volume gerado é aproximadamente um barril por poço por ano (EPA, 2000). Uma vez que a geração destes resíduos está, geralmente, associada a processos que envolvem tratamento químico de fluidos produzidos (processamento primário), e contato com fluidos de manutenção, será grande a possibilidade de apresentarem concentrações de hidrocarbonetos e de compostos químicos superiores aos da água produzida e aos resíduos de perfuração (EPA, 2000).

Dentro do grupo dos resíduos associados estão inseridos os resíduos sólidos oleosos, que são basicamente constituídos por hidrocarbonetos e solo (argiloso e arenoso), e apresentam estados físicos sólido e semi-sólido.

## **2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

Os resíduos oleosos foram caracterizados e classificados segundo a norma NBR 10004/04 – Classificação de Resíduos, editada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), cuja definição de resíduo sólido é:

*“São considerados resíduos sólidos industriais, os resíduos em estado sólido e semi-sólido que resultam da atividade industrial, incluindo-se os lodos provenientes das instalações de tratamento de águas residuárias, aqueles gerados em equipamentos de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água”.*

A ABNT editou em 1987, um conjunto de normas para padronizar, em nível nacional, a classificação de resíduos. Essas normas foram revisadas no ano de 2004. Na Tabela 4, apresenta-se a identificação, nome e objetivo de cada uma destas normas.

Segundo a norma NBR 10004 (ABNT, 2004) os resíduos podem ser classificados em três classes: Resíduo Classe I – Perigosos e Resíduo Classe II – Não Perigosos.

**Tabela 4 - 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 à 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)

#### **2.4.1 Resíduo Classe I – Perigosos**

Segundo definição da NBR 10004/2004, resíduo perigoso é aquele que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, possa apresentar:

- Risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças;
- Riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada.

Na Tabela 5 apresentam-se os aspectos que conferem peculiaridade aos resíduos sólidos, segundo diretrizes estabelecidas pela norma NBR 10004/2004.

**Tabela 5 - Aspectos que conferem a periculosidade aos resíduos sólidos.**

<b>Aspecto</b>	<b>Características</b>
Inflamabilidade	<p>Ser líquida e ter ponto de fulgor inferior a 60°C.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>Ser um gás comprimido inflamável, conforme a Legislação Federal sobre transporte de produtos perigosos.</p>
Corrosividade	<p>Ser aquosa e apresentar 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.</p> <p>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.</p>
Reatividade	<p>Ser normalmente instável e reagir de forma violenta e imediata, sem detonar.</p> <p>Reagir violentamente com água.</p> <p>Formar misturas potencialmente explosivas com a água.</p> <p>Ser capaz de produzir, prontamente, reação ou decomposição detonante ou explosiva a 25°C e 0,1 MPa.</p>
Toxicidade	<p>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.</p> <p>Possuir uma ou mais substâncias constantes no anexo C e apresentar toxicidade.</p> <p>Ser constituída por restos de embalagens contaminadas com substâncias constantes nos anexos D ou E.</p>
Patogenicidade	<p>Conter microorganismos ou se suas toxinas forem capazes de produzir doenças.</p>

Fonte: NBR 10004, 2004.

## **2.4.2 Resíduo Classe II – Não Perigosos**

Segundo a 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 CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO OLEOSO GERADO NAS ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO DO PETRÓLEO**

Resíduo Oleoso (RO) é o resíduo proveniente das atividades de Exploração e Produção (E & P) de petróleo, constituído por material sólido e hidrocarbonetos, e que apresenta estado físico variável (sólido, pastoso, líquido).

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

As atividades de E & P do petróleo geram uma quantidade significativa de resíduos oleosos. Na Tabela 6 encontram-se descritos os principais tipos de resíduos oleosos e sua respectiva operação geradora.

**Tabela 6 - 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: Fonseca, 2003

Segundo Cordeiro (2007), 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.

Devido à escassez de processos que viabilizem a utilização desses resíduos, na maioria das vezes eles se tornam 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 (CORDEIRO, 2007).

Em trabalho de biorremediação de solo contaminado com óleo cru, Rizzo & Santos (2002) relatam a pequena aplicabilidade da técnica de biorremediação in situ de óleo cru e argila. Isto devido à recalcitrância dos hidrocarbonetos de petróleo, atribuída à forte interação entre os argilominerais e o resíduo de óleo cru, associada à baixa oxigenação e disponibilidade de nutrientes.

Rizzo e Santos (2002) também realizaram ensaios de lixiviação e solubilização com o material contaminado com petróleo, analisando os níveis 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 de 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. Seus resultados indicam que, para os parâmetros analisados, apenas a quantidade de cromo ultrapassou o limite máximo permitido constado na listagem de Número 9 da NBR 10004/04.

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.

Neder (1998) 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%. A autora concluiu que o resíduo pode ser caracterizado como perigoso, uma vez que os valores das concentrações de óleos e graxas encontrados no extrato lixiviado, quando comparados com os parâmetros da legislação, foram observados acima do estabelecido.

Lucena (2008) estudou o comportamento mecânico, físico e mineralógico de misturas asfálticas contendo cascalhos de perfuração visando sua aplicação em revestimentos asfálticos de estradas. O resíduo oleoso foi utilizado como agregado miúdo e/ou filler. Os resultados do autor mostraram melhorias significantes nas propriedades da mistura asfáltica quando comparado ao filler cimento Portland.

Nos estudos realizados por Cordeiro (2007), o autor avaliou o processo de 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. Em relação à classificação dos materiais quanto a toxicidade e inerticidade segundo a ABNT NBR 10004 (2004), o solo, o resíduo oleoso e a mistura são classificados como "Resíduo Classe II". 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.

Portanto, percebe-se a importância de uma destinação final adequada para os resíduos oriundos das indústrias de E & P de petróleo, tendo em vista que eles representam, em sua maioria, riscos para a saúde da população e o meio ambiente.

## **2.6 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO APLICÁVEIS AOS RESÍDUOS OLEOSOS PARA UTILIZAÇÃO EM ESTRADAS**

Um dos principais problemas vivenciados hoje pelas empresas na área de meio ambiente no Brasil, relaciona-se ao gerenciamento dos resíduos industriais. São inclusive, questionadas as condutas das empresas que prestam serviços quanto à disposição de resíduos, uma vez que não apresentam coerência com a realidade observada no setor (ALVES, 1998).

Segundo Leirias *et. al.* (2002) 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.

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 (CORDEIRO, 2007).

Thiensen (2001) apresenta em seu trabalho uma hierarquia de opções para o gerenciamento adequado de resíduos. O primeiro passo desta hierarquia consiste na adoção de procedimentos que envolvam a minimização dos resíduos (eliminação, redução na fonte e reciclagem), uma vez que é mais sensato evitar a produção dos resíduos, do que desenvolver extensos programas de tratamento.

A redução/eliminação de resíduos na fonte, adota boas práticas operacionais, ou tecnologias limpas, envolvendo operações de caráter organizacional, tais como treinamento de pessoal, manutenção preventiva e alterações de caráter técnico. Salienta-se que, na maioria das vezes, essas medidas podem ser implantadas de forma rápida e simples, sem necessariamente implicar em investimentos significativos.

A reciclagem de resíduos pode constituir-se, em muitas circunstâncias, em uma alternativa de redução efetiva do custo relacionado com o tratamento ou disposição final de resíduos. O sucesso da reciclagem depende de três possibilidades: a) habilidade de reutilização do resíduo no processo de origem como substituto de algum material, b) habilidade de utilização como matéria-prima interna ou externa à planta, ou ainda, c) habilidade de segregar materiais recuperáveis e valiosos (THIENSEN, 2001).

Geralmente são utilizadas várias técnicas ou processos para disposição final e/ou reuso dos resíduos sólidos. Na Tabela 7 estão inseridos os mais comumente adotados.

**Tabela 7 - Técnicas ou processos comumente utilizados para disposição e reuso dos resíduos sólidos.**

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

Fonte: Cordeiro, 2007.

Ao analisar a Tabela 7, pode-se observar que 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 tecnologia de *roadspreading* consiste basicamente no espalhamento do resíduo oleoso das atividades de E & P em leito de estradas, misturado ao material argiloso. Na região norte do estado do Espírito Santo, vem sendo utilizada uma técnica de aplicação de resíduo oleoso proveniente das atividades de E & P de petróleo, misturado à argila, em estradas de terra semelhante à tecnologia de *roadspreading* (Figura 1). O procedimento de misturar o resíduo oleoso à argila vem sendo aplicado nos últimos cinco anos em áreas próximas às atividades da Petrobras. As estradas

que recebem o resíduo oleoso como pavimento são aquelas onde ocorre o tráfego de carretas com escoamento de óleo produzido na região (FONSECA, 2003).



**Figura 1 – Tecnologia de Roadspreading (Fonseca, 2003).**

Entretanto, segundo Fonseca (2003), alguns problemas vêm sendo detectados na técnica utilizada pela Petrobras de aplicar resíduo oleoso em leito de estradas de terra, entre eles:

- ausência de segregação dos resíduos e sua caracterização específica; e
- ausência de monitoramento da região, principalmente de material do leito das estradas pavimentadas com o RO e seu entorno, incluindo águas subterrâneas e superficiais.

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).

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.

No Canadá o Alberta Energy and Utilities Board (EUB), através da formação de uma força tarefa, analisou a questão da utilização do resíduo oleoso em manutenção de estradas e, após extensas e rigorosas pesquisas e opiniões, emitiu, em 28/05/99, o documento Informational Letter IL 99-2, contendo as recomendações para o uso ambientalmente seguro do resíduo oleoso em manutenção de estradas pelo sistema de *roadspreading* (ARIDE, 2003).

Os critérios básicos recomendados pelo EUB (1999), para aplicação da tecnologia de *roadspreading* são os seguintes:

#### **Características do resíduo e sua aplicação na estrada:**

- a concentração de cloretos não deve ultrapassar 3.000 mg/kg (3.000 ppm);
- a concentração de óleo cru presente no resíduo não deve ser superior a 5% em peso, com densidade maior ou igual a 0,920 g/cm<sup>3</sup>;
- o ponto de fulgor do resíduo deve ser maior que 610°C;
- o resíduo deve ser empregado na estrada na proporção máxima de 1 parte de resíduo para 3 partes ou mais do material total empregado na manutenção da estrada (material escarificado, argila e o próprio resíduo), o que representa 25% de resíduo, em peso do material total;
- o resíduo deve ser armazenado de forma a minimizar sua contaminação com a água e de facilitar sua amostragem;
- deve-se evitar a contaminação do resíduo por hidrocarbonetos halogenados, produtos químicos perigosos, óleos refinados ou lubrificantes, fluídos de perfuração, ou outros materiais deletérios;
- o resíduo deve ser analisado quanto aos teores de metais e benzeno, tolueno etilbenzeno e xileno (BTEX), adequando-os, quando possível, aos teores permitidos pela legislação local para descarte;
- o resíduo oleoso deve ser segregado de outros resíduos e materiais inadequados para aplicação em estrada;
- não se deve adicionar novos lotes de resíduos a pilhas que já tenham sido amostradas para análise;
- a incorporação não deve ser efetuada em dias de chuva; e

- depois de ser levado para a via não pavimentada, a incorporação do resíduo deve ser feita no mesmo dia, para se evitar problemas de contaminação do meio ambiente caso ocorra chuva a noite.

#### **Características da estrada:**

- a condutividade elétrica do solo não deve exceder a 2 dS/m, para assegurar que não há excesso de sal;
- a via não pavimentada deve ser do tipo argilosa, para atender aos critérios exigidos para estradas de terra duráveis (índice de plasticidade mínimo de 15%, limite de liquidez mínimo de 30% e fração mínima de argila de 20%, condições que devem ocorrer até uma profundidade mínima de 1,60m abaixo da base da camada do resíduo aplicado);
- a adequabilidade do tipo de solo deve ser avaliada no local e confirmada por análises de laboratório; e poços de monitoramento devem ser distanciados de 200m, um do outro, a uma profundidade de 1,60m. Se a condutividade elétrica ou o teor de argila do solo mudar as características, este ponto deve ser demarcado e daí em diante o resíduo não deverá ser aplicado, até que se restaurem as condições anteriores.

Devem ser observadas as seguintes restrições para a incorporação do resíduo oleoso;

- a estrada de terra deve estar distante no mínimo 30 m horizontalmente da marca mais elevada de qualquer superfície de corpo de água. Vias não pavimentadas que apresentem a possibilidade de entrar em contato com qualquer fonte de água não podem receber o resíduo em sua pavimentação pois agravaria o risco de contaminação;
- devem-se selecionar estradas que estejam situadas a mais de 100m de qualquer fonte de água; e
- o resíduo não deve ser incorporado a menos de 30m de bueiros instalados ao longo da estrada.

Segundo Deuel (1998) existem algumas vantagens e limitações quando 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 (filler) e agregados, o resíduo gerado pode não ser segregado, o que dificulta a sua caracterização.

Na Tabela 8 estão inseridos alguns valores recomendados do GLC (Guidelines for Limits Constituents), incluídos como ponto de partida para os componentes da mistura a ser utilizada com o uso da técnica *Roadspreading* (DEUEL, 1998).



**Tabela 8 - Valores limites de GLC e de Leachate para a técnica roadspreading e estabilização química/solidificação.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Limites GLC</b>	<b>Limites Leachate</b>
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
Merúrio (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.

## **2.7 ESTABILIZAÇÃO QUÍMICA E SOLIDIFICAÇÃO DE RESÍDUOS**

Os resíduos industriais, principalmente os gerados nas indústrias petroquímicas, constituem-se em graves problemas socioambientais para o país, e são apontados como grandes desafios para as áreas responsáveis pelas pesquisas em planejamento e operação do sistema de destino final de resíduos sólidos. Em função deste panorama, crescem as iniciativas de programas de preservação e

gerenciamento ambiental, assim como também estudos de medidas para o controle e remediação de áreas contaminadas, além de estudos tecnológicos capazes de minimizar o volume e a toxicidade dos resíduos industriais.

Entre os métodos de retenção ou imobilização de materiais contaminados pode-se citar o processo de encapsulamento ou estabilização/solidificação de contaminantes. A tecnologia de estabilização/solidificação vem se tornando uma importante alternativa de tratamento para a disposição de resíduos perigosos em aterros e controle de áreas contaminadas, pois provê o melhoramento das características físicas e toxicológicas do resíduo e/ou do solo, facilitando o seu gerenciamento de forma segura e eficaz.

A técnica de solidificação/estabilização, ou encapsulamento, é um processo conhecido de tratamento de resíduos industriais, a partir do qual procura-se fixar em uma matriz os contaminantes presentes no resíduo, visando transformá-los em materiais com melhores características de manuseio, transporte e destinação final. 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.

O termo encapsulamento de resíduos tem sido utilizado no Brasil e em vários países para definir uma técnica de tratamento de resíduos, que utiliza processos de solidificação e estabilização de poluentes.

Definições mais amplas sobre encapsulamento, estabilização e solidificação são apresentadas a seguir:

**Encapsulamento** – termo referente a sistemas de tratamento projetados que utilizam técnicas de solidificação e estabilização para atingir um ou mais dos seguintes objetivos: a) melhorar as características físicas e de manuseio de um resíduo; b) diminuir a superfície de exposição, através da qual possa ocorrer perda ou transferência de contaminantes; c) limitar a solubilidade ou destoxificar qualquer

constituente presente ao resíduo; d) minimizar a taxa de migração de contaminantes para o meio ambiente; e e) reduzir o nível de toxicidade (WILES, 1987).

**Solidificação** – termo referente ao processo que encapsula um resíduo na forma de um material sólido e restringe a migração de seus contaminantes através da diminuição da área superficial exposta ao processo de lixiviação e solubilização, e/ou reveste os resíduos com materiais de baixa permeabilidade. A solidificação pode ser acompanhada por uma reação química entre o resíduo e o ligante (solidificante) ou por processos mecânicos (EPA, 2000).

**Estabilização** – termo referente ao processo que envolve reações químicas que reduzem a lixiviabilidade de um resíduo. A estabilização química imobiliza materiais perigosos ou reduz a solubilidade deles através de uma reação química (EPA, 2000).

Em linhas gerais, a solidificação pode ser definida como a conversão de um material líquido em um material sólido e, a estabilização, geralmente, refere-se à reação química proposital que promove a diminuição da taxa de lixiviação de poluentes de um resíduo (BARTH, 1990).

Segundo Cordeiro (2007), a técnica de estabilização/solidificação tem, de uma maneira geral, a vantagem de transformar o solo contaminado em um material com propriedades de resistência mecânica melhor. Quanto às suas limitações, podem-se citar: aumento do volume do material final e custo com os aditivos.

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, etc.).

A solidificação/estabilização não é uma forma de tratamento que se justifique para qualquer tipo de resíduo. A decisão técnica e econômica para a escolha desta tecnologia deve ser embasada em dados sobre a quantidade, composição química e propriedades físicas, localização e problemas de disposição associados a um resíduo específico. Resíduos classificados como Perigosos (ou Classe I) e gerados em grandes quantidades são os que comumente justificam esse tipo de tratamento. Os resíduos perigosos considerados tradicionalmente adequados para o tratamento por solidificação/estabilização têm sido os seguintes (AGOSTINI, 2002):

- resíduos contendo íons metálicos ou semi-metals;
- resíduos oleosos e à base de solventes, tais como solventes usados, fundo de tanques de destilação e resíduos de refinarias;
- resíduos aquosos contendo 1% a 20% ou mais de substâncias orgânicas (emulsões), solúveis ou insolúveis, listadas como perigosas pela legislação;
- resíduos aquosos contendo 1% a 20% ou mais de substâncias orgânicas (emulsões), solúveis ou insolúveis, não listadas como perigosas pela legislação, a não ser por suas características de ignitabilidade, e resíduos aquosos contendo baixos teores de poluentes orgânicos listados como perigosos – menos de 1% e, usualmente na faixa de 10 a 1000 mg/L (exemplo: pentaclorofenol ou bifenilas oplicloradas).

Encontram-se disponíveis várias técnicas e processos de encapsulamento, sendo necessário a observância de possíveis incompatibilidades entre agentes encapsulantes e resíduos, tanto a curto como a longo prazo, para que o produto obtido apresente desempenho quanto à sua disposição final (resistência a intempéries e ataques químicos e/ou biológicos). Neste trabalho foram utilizadas duas técnicas de encapsulamento de resíduos atualmente desenvolvidas e aplicadas, os quais serão apresentados a seguir:

#### **i) Processo à base de cimento Portland**

A solidificação através da adição de cimento Portland ou outros produtos inorgânicos semelhantes é particularmente eficiente para resíduos com altos teores de metais tóxicos, porque o pH da matriz de cimento favorece a transformação de cátions em hidróxidos e carbonatos insolúveis, e muitos íons metálicos podem ser incorporados à estrutura cristalina da matriz de cimento.

#### **ii) Processo à base de cal e materiais pozolânicos (não incluindo o cimento)**

Os materiais pozolânicos, artificiais ou naturais (cinzas volantes e escórias de alto forno), contêm partículas silicosas que combinadas com cal, na presença de água, produzem um material com propriedades cimentícias. O uso desses materiais é particularmente vantajoso, pois permite que resíduos gerados em duas fontes distintas sejam tratados ao mesmo tempo.

## 2.8 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS PARA FINS RODOVIÁRIOS

Estabilizar um solo significa conferir-lhe a capacidade de resistir e 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. Compreende todos os processos naturais e artificiais aplicados aos solos, objetivando melhorar suas características de resistência mecânica, bem como garantir a constância destas melhorias no tempo de vida útil das obras de engenharia.

O domínio das técnicas de estabilização dos solos pode conduzir a sensíveis reduções nos tempos de execução de obras, viabilizando a industrialização do processo construtivo e, conseqüentemente, propiciando uma economia substancial para o empreendimento (LIMA, 1993; PESSOA, 2004).

As soluções para a estabilização química de solos para fins rodoviários são bastante discutidas na literatura. Mas, nos últimos anos tem havido uma crescente preocupação em buscar estabelecer princípios teóricos que possam explicar os respectivos mecanismos de atuação de cada um dos agentes estabilizantes disponíveis no mercado, particularmente no caso da estabilização química dos solos de clima tropical.

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 (CORDEIRO, 2007).

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 à 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.

Podem ser citados os seguintes tipos de estabilização: mecânica, granulométrica, química, elétrica e térmica. Além destes, tem surgido nos últimos tempos, uma grande variedade de outros métodos e processos construtivos que visam oferecer ao solo, características de resistência e melhoria de suas qualidades naturais e que podem ser classificados como métodos especiais de estabilização: solos reforçados com geossintéticos (Figura 2); solo pregado; colunas solo-cal; colunas solo-brita; compactação dinâmica; jet grouting; compaction grouting; drenos verticais de areia; micro-estacas; estabilização via fenômenos de condução em solos.



**Figura 2 – Reforço de base de pavimentos com geossintéticos.**

A **Estabilização Mecânica** visa dar ao solo (ou mistura de solos) a ser usado como camada do pavimento uma condição de densificação máxima relacionada a uma energia de compactação e a uma umidade ótima. Também conhecida como estabilização por compactação, é um método que sempre é utilizado na execução das camadas do pavimento, sendo complementar a outros métodos de estabilização.

A **Estabilização Granulométrica** consiste da alteração das propriedades dos solos através da adição ou retirada de partículas de solo. Este método consiste, basicamente, no emprego de um material ou na mistura de dois ou mais materiais, de modo a se enquadrarem dentro de uma determinada especificação.

A **Estabilização Química** quando utilizada para solos granulares visa principalmente melhorar sua resistência ao cisalhamento (causado pelo atrito produzido pelos contatos das superfícies das partículas) por meio de adição de pequenas quantidades de ligantes nos pontos de contato dos grãos. Os ligantes mais utilizados são o Cimento Portland, cal, pozolanas, materiais betuminosos, resinas, etc.

Nos solos argilosos (coesivos) encontramos estruturas floculadas e dispersas, que são mais sensíveis à presença de água, influenciando na resistência ao cisalhamento. É comum a adição de agentes químicos que provoquem a dispersão ou floclulação das partículas ou uma substituição prévia de cátions inorgânicos por cátions orgânicos hidrorrepelentes, seguida de uma adição de cimentos.

A **Estabilização Elétrica** consiste na passagem de uma corrente elétrica pelo solo a estabilizar. As descargas sucessivas de alta tensão são usadas no adensamento de solos arenosos saturados, enquanto que as de baixa tensão contínua são usadas em solos argilosos empregando os fenômenos de eletromose, eletroforese e consolidação eletroquímica. Esta técnica não tem sido utilizada em pavimentos.

A **Estabilização Térmica** é feita através do emprego da energia térmica por meio de congelamento, aquecimento ou termosose. A solução do congelamento normalmente é temporária, alterando-se a textura do solo. O aquecimento busca rearranjos na rede cristalina dos minerais constituintes do solo. A termosose é uma técnica de drenagem onde se promove a difusão de um fluido em um meio poroso pela ação de gradientes de temperatura. Essa também não é uma técnica utilizada em pavimentos.

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.

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 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).

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.

Ao se adicionar 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 aceleração do ganho de 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 (CORDEIRO, 2007):

#### **a) 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.

## **b) 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.

## **c) 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.

## **d) 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 a cal.

## **e) 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.

## **f) 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.

### **g) 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 adicionado à cal.

## **2.9 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Diante do exposto, fica evidente a grande necessidade de um destino final ambientalmente adequado para os resíduos oriundos da indústria do petróleo, uma vez que, na maioria dos casos, não existem aterros industriais disponíveis nas proximidades ou os outros tipos de tratamento disponíveis apresentam elevados custos.

A estabilização/solidificação vem se apresentar como uma técnica viável no reaproveitamento dos resíduos oleosos, a partir da utilização da cal e do cimento como agentes estabilizantes. Assim, o reaproveitamento desses resíduos visa fortalecer a prática do desenvolvimento sustentável.

## **CAPÍTULO 3**

---

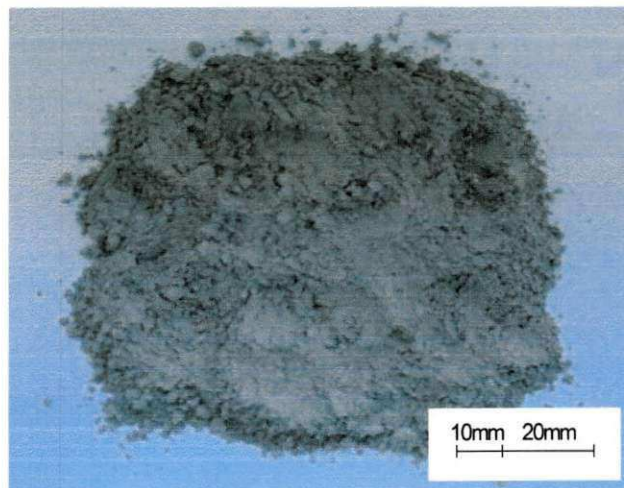
### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 MATERIAIS**

Os materiais utilizados na pesquisa constituíram de cimento, cal, solo argiloso e resíduo oleoso de petróleo. A seguir, serão descritos sucintamente os materiais, a origem e os critérios de escolha de cada um.

##### **3.1.1 Cimento**

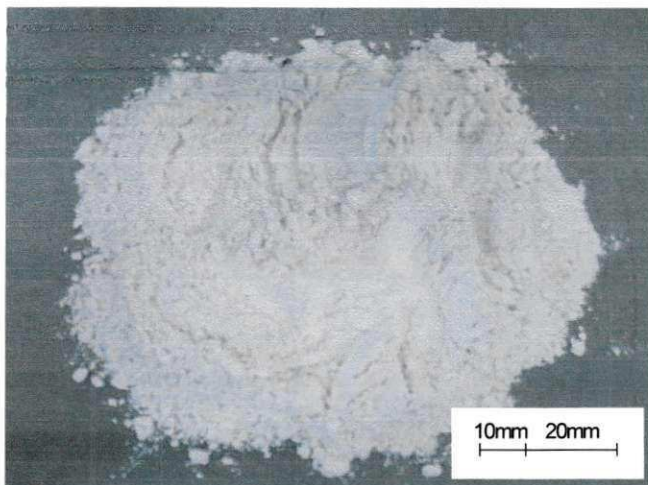
O Cimento utilizado na pesquisa foi o CP II – Z – 32 da marca Nassau, escolhido para ser utilizado como estabilizante químico (Figura 3).



**Figura 3 – Cimento utilizado na pesquisa.**

##### **3.1.2 Cal**

A cal utilizada na pesquisa foi do tipo hidratada da marca Megaó, com massa específica igual a  $2,30 \text{ g/cm}^3$ . Optou-se pela utilização da cal também como estabilizante químico devido aos excelentes resultados obtidos por diversos autores na estabilização de solos argilosos (Figura 4).



**Figura 4 – Cal Hidratada utilizada na pesquisa.**

### **3.1.3 Solo**

Foi utilizado um solo do tipo argiloso proveniente da cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, distando 121 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 atendesse às condições para uma boa estabilização química com o uso da cal e do cimento e que fosse predominantemente argiloso (Figura 5).



**Figura 5 – Solo argiloso utilizado na pesquisa.**

### **3.1.4 Resíduo Oleoso de Petróleo**

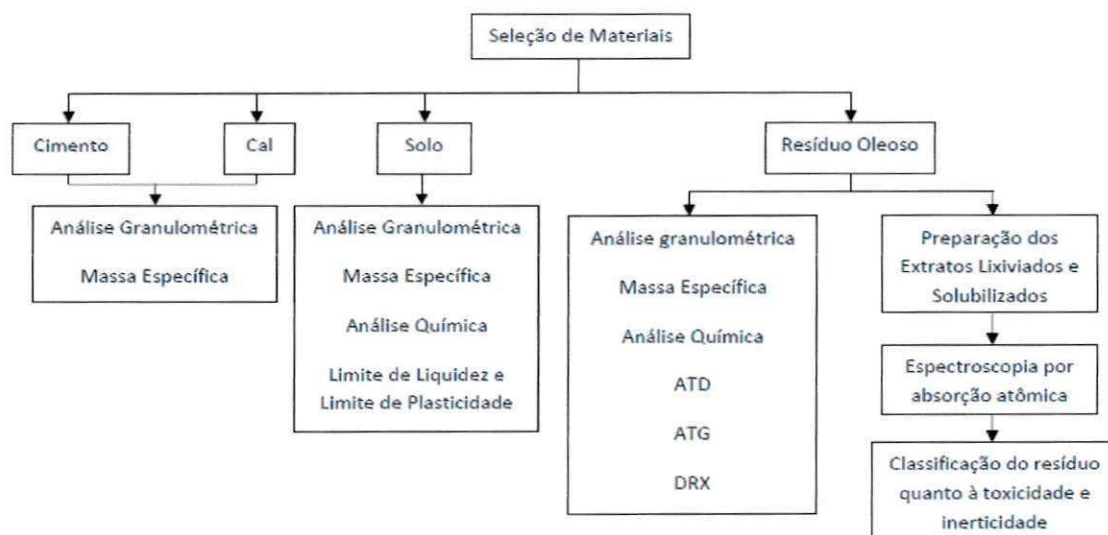
O resíduo oleoso utilizado na pesquisa trata-se de um cascalho de perfuração oriundo das atividades de Exploração & Produção de petróleo do município de São Sebastião do Passé, unidade de Taquipe da Petrobrás no estado da Bahia, Nordeste do Brasil (Figura 6).



**Figura 6 – Resíduo oleoso utilizado na pesquisa.**

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Caracterização Física, Química e Mineralógica



**Fluxograma 1 – Caracterização física, química e mineralógica dos materiais utilizados na pesquisa.**

O Fluxograma 1 apresenta os ensaios a serem realizados para a caracterização física, química e mineralógica dos materiais convencionais e dos resíduos oleosos. A seguir serão relatados os ensaios realizados em laboratório e que serviram para a caracterização das propriedades física e química dos materiais utilizados na pesquisa.

Nesta etapa, as amostras do solo foram secas ao ar, destorroadas e acondicionadas em sacos 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 9 estão inseridas as normas adotadas para os ensaios de caracterização física das amostras de solo que foram realizadas.

**Tabela 9 - Normas utilizadas para caracterização física das amostras de solo.**

Ensaio	Método
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 utilizado foi acondicionado em tambor apropriado até o momento de sua utilização. Na Tabela 10 estão inseridas as normas adotadas para os ensaios de caracterização física das amostras do resíduo oleoso que foram realizadas.

**Tabela 10 - Normas utilizadas para caracterização física das amostras de resíduo oleoso.**

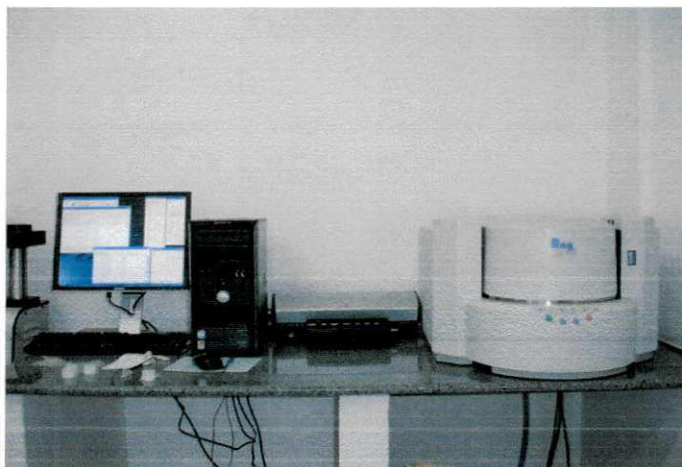
Ensaio	Método
Determinação da massa específica dos sólidos do solo	ANBT-NBR 6508/84
Misturas betuminosas – porcentagem de betume	DNER-ME 053/94

A massa específica da cal e do cimento forma determinadas pela norma NBR 6474 - Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica.

### **3.2.1.1 Análise Granulométrica**

A distribuição dos tamanhos de grãos do solo, cal, cimento e resíduo oleoso foram determinados a partir da realização do ensaio de análise granulométrica por difração de laser, através do equipamento CILAS 1064 (Figura 7), em função da confiabilidade de resultados que esse método proporciona. A análise granulométrica por difração de laser utiliza o método de dispersão de partículas em fase líquida associado com um processo de medida óptica através de difração de laser. Neste método, é combinada a relação proporcional entre a difração do laser e a concentração e tamanho de partículas. Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.





**Figura 8 – Equipamento EDX 720 da Shimadzu.**

#### **3.2.1.4 Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade**

O limite de liquidez e o limite de plasticidade foram determinados para a amostra de solo de acordo com as normas da ABNT NBR 6459/84 e NBR 7180/84, respectivamente.

#### **3.2.1.5 Análise Térmica Diferencial e Termogravimétrica**

As análises termogravimétrica (ATG) e termodiferencial (ATD) são úteis para indicar as faixas de temperaturas onde ocorrem as perdas de massas e as temperaturas em que ocorrem transformações endo e exotérmicas. As curvas térmicas foram obtidas através de um sistema de Análises Térmicas Modelo RB-3020 da BP Engenharia (Figura 9), com razão de aquecimento 12,5°C/min. A temperatura máxima para ambos os ensaios foi de 1000°C e o padrão utilizado na ATD foi óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) calcinado.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Reciclagem e Resíduos Sólidos da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.



**Figura 9 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de termogravimetria.**

### **3.2.1.6 Difração de Raios-X**

As análises de DRX foram conduzidas em aparelho XRD 6000 da Shimadzu (Figura 10) utilizando radiação  $K\alpha$  do cobre, tensão de 40 KV, corrente de 30 mA, varredura entre  $2\theta$  de 2 a  $30^\circ$  e velocidade de varredura de  $2^\circ/\text{min}$ . Estas análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande - PB..



**Figura 10 - Difratometro de raios-x XRD6000.**

### **3.2.1.7 Caracterização Ambiental**

Para que um resíduo seja disposto adequadamente é necessário que sua composição química seja determinada segundo os procedimentos sugeridos pela NBR 10004 (ABNT, 2004). Essa norma estabelece os critérios adotados para a classificação dos resíduos quanto aos seus riscos potenciais para o meio ambiente e à saúde pública. Portanto, com o objetivo de classificar ambientalmente os resíduos oleosos foram utilizados os seguintes procedimentos: determinação do teor de óleo e graxas, preparação dos extratos lixiviados e solubilizados, e realização da espectroscopia por absorção atômica.

#### **a) Determinação do teor de óleo e graxas**

Foi realizada a separação das frações orgânica e inorgânica, e determinação do teor de óleo e graxas de acordo com a norma DNIT – ME 053/94 utilizando como solvente o éter de petróleo. O equipamento utilizado foi o Rotarex – I - 2009- B (Figura 11) do Laboratório de Asfalto, do bloco CW da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da UFCG.



**Figura 11 – Aparelho extrator de betume.**

## **b) Preparação dos extratos lixiviados e solubilizados**

Foram preparados os extratos lixiviados e solubilizados de acordo com as normas NBR 10005 e NBR 10006 (ABNT, 2004), visando à caracterização e classificação dos resíduos segundo a norma NBR 10004 (ABNT, 2004).

## **c) espectroscopia por absorção atômica**

A Figura 12 apresenta o equipamento de Espectroscopia por Absorção Atômica utilizado para obtenção dos constituintes químicos contidos nos extratos lixiviado e solubilizado dos resíduos oleosos. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Unidade Acadêmica de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande.



**Figura 12 – Equipamento utilizado no ensaio de Espectroscopia por absorção atômica.**

### **3.2.2 Caracterização Mecânica**

Todos os ensaios que compreendem a caracterização mecânica dos materiais foram conduzidos no Laboratório de Asfalto do Bloco CW da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande.

- *Experimento Piloto*

Com o intuito de verificar a influência do resíduo oleoso (RO) sobre o comportamento mecânico do solo, inicialmente foram feitas adições de resíduo ao solo nas proporções de 2,5%, 7,5%, 12,5%, 17,5% e 22,5% (em relação ao peso total da amostra) e também foi feita amostra testemunha sem adição de resíduo oleoso, para comparação dos resultados. Para estes teores foram realizados ensaios de compactação e em seguida, o ensaio de CBR. A partir dos resultados obtidos foi fixado o teor de resíduo oleoso de 17,5% a ser utilizado no decorrer da pesquisa para as misturas de SOLO+RO+CAL e SOLO+RO+CIMENTO.

- *Critério de escolha dos aglomerantes*

Os aglomerantes escolhidos foram a cal e o cimento, devido à eficácia de ambos na estabilização de solos argilosos. Com a adoção do percentual de 17,5% para a incorporação do resíduo oleoso na mistura, baseado em resultados obtidos no *Experimento Piloto*, optou-se em adicionar estes aglomerantes às misturas, nos teores de 4%, 5,5%, 7,0%, 8,5% e 10%. O critério adotado para esta incorporação foi baseado em sugestões de estudos realizados por Cordeiro (2007).

Os ensaios realizados para a caracterização mecânica das misturas foram: compactação, ensaio de CBR e resistência à compressão simples (Fluxograma 2).



**Fluxograma 2 – Caracterização mecânica das misturas.**

### **3.2.2.1 Ensaios de Compactação**

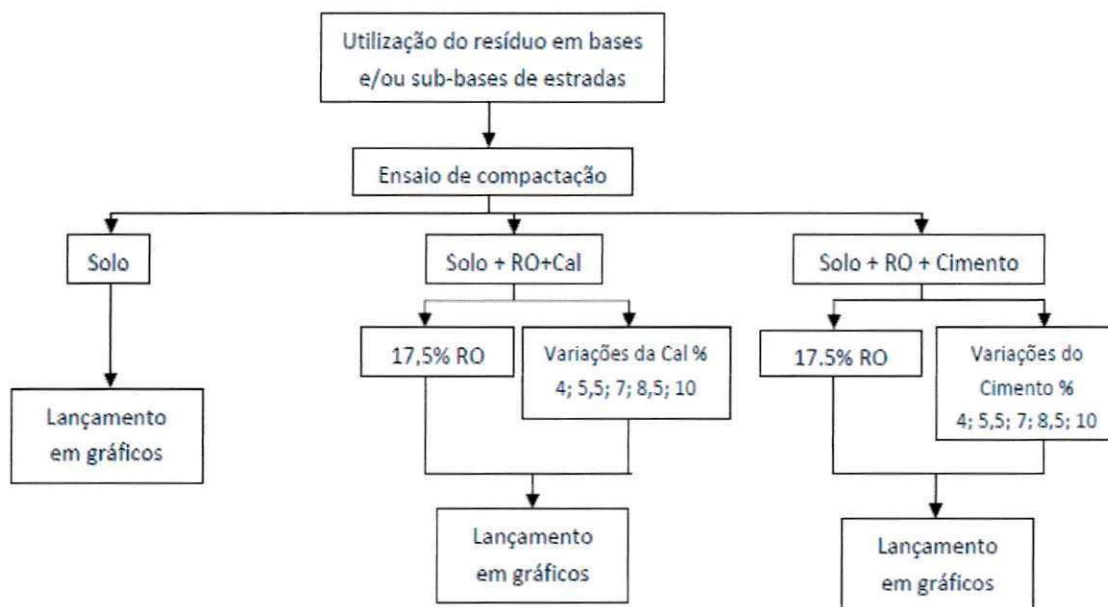
Os ensaios de compactação foram realizados, segundo Método de Ensaio (ME 162/94) normalizado pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT).

Primeiramente o ensaio de compactação foi realizado apenas para amostras de solo puro. Em seguida, foram realizados ensaios de compactação para as misturas de SOLO+RO+CAL e SOLO+RO+CIMENTO com as porcentagens que são mostradas no Fluxograma 3. O ensaio foi realizado na Energia do Proctor Intermediário e com uma réplica para cada teor de variação dos aglomerantes (Figura 13).



**Figura 13 – Molde e soquete utilizados para realização dos ensaios de compactação.**

No Fluxograma 3 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 análise.



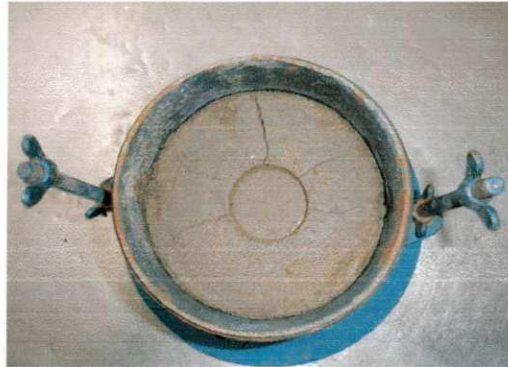
**Fluxograma 3 - Sequência adotada para realização do ensaio de compactação.**

### 3.2.2.2 Ensaios CBR (Índice de Suporte Califórnia)

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 às penetrações de 2,5 mm e 5,0 mm (Figura 14). O valor adotado para o CBR é escolhido entre a maior das duas relações (CORDEIRO, 2007).



(a)



(b)

**Figura 14 – (a) Prensa manual CBR/ISC e (b) molde utilizados para realização dos ensaios CBR.**

O ensaio de CBR foi realizado segundo o Método de Ensaio (ME 049/94) normatizado pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT) com uma réplica para cada teor de variação dos aglomerantes. Primeiramente o ensaio de CBR foi realizado apenas para amostras de solo. Em seguida, o ensaio foi realizado para as misturas de SOLO+RO (Ensaio Piloto), SOLO+RO+CAL e SOLO+RO+CIMENTO com as porcentagens que são mostradas no Fluxograma 4.

Os corpos-de-prova foram confeccionados e colocados em imersão, sendo acompanhados durante quatro dias para análise do comportamento do nível de expansão de todas as amostras ensaiadas (Figura 15).





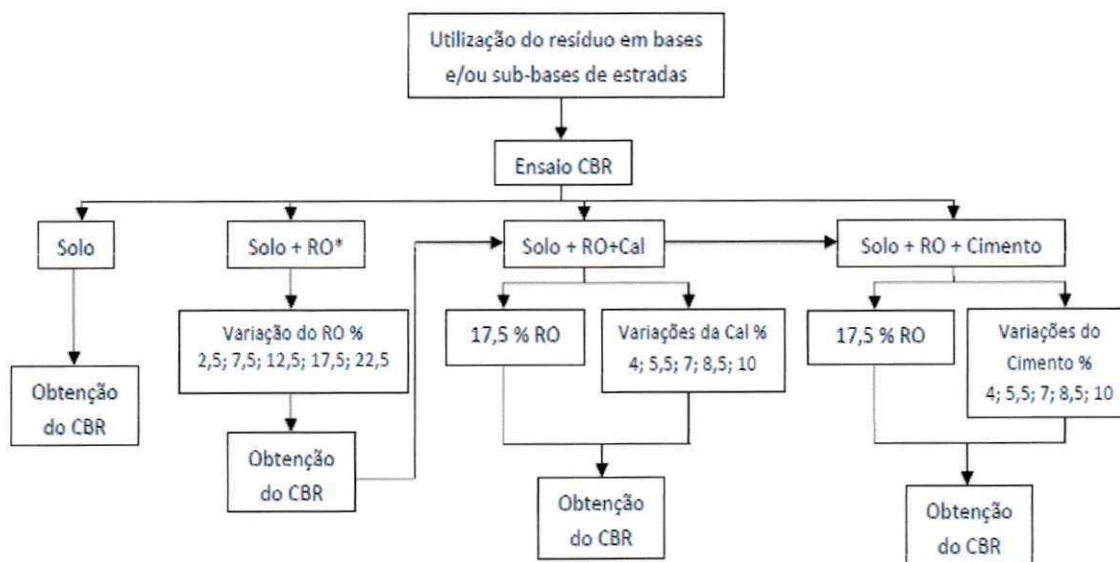
(a)



(b)

**Figura 15 – (a) Extensômetro e molde, (b) sobrecargas – equipamentos utilizados para realização dos ensaios de expansão.**

O Fluxograma 4 mostra a sequência adotada para a realização do ensaio CBR.

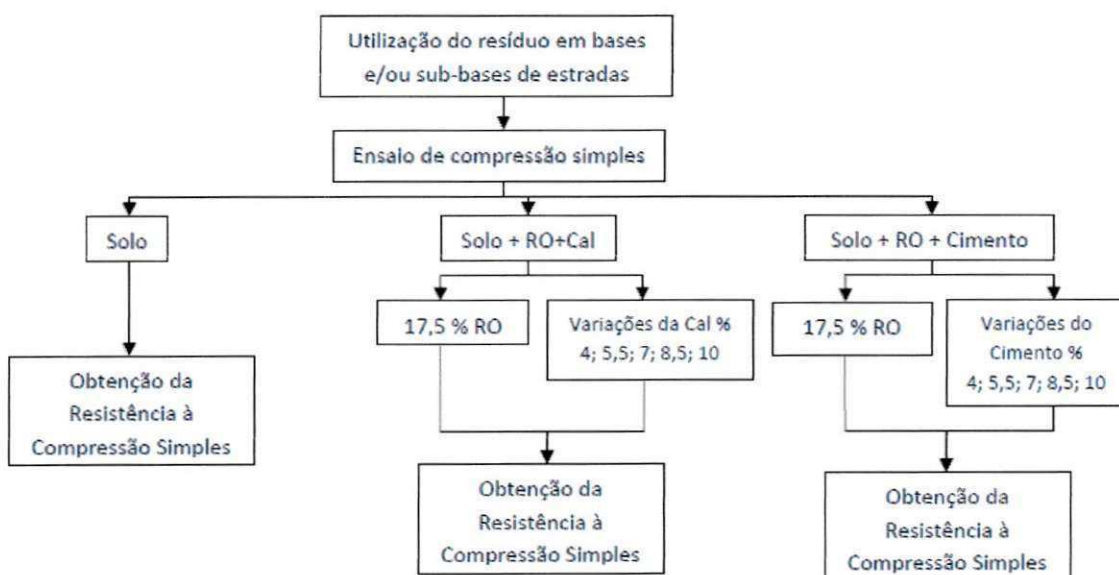


**Fluxograma 4 - Sequência adotada para a realização do ensaio de CBR.**

### 3.2.2.3 Ensaio de resistência à compressão simples

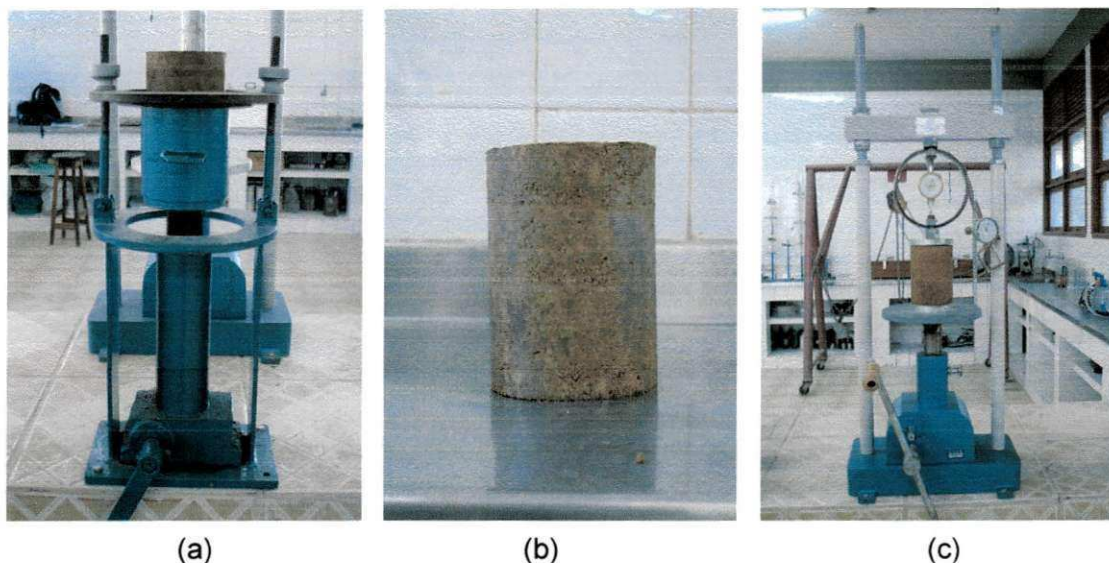
Os ensaios de resistência à compressão simples foram realizados segundo Método de Ensaio NBR 12025 (ABNT, 1990). Na primeira etapa, o ensaio foi realizado apenas para as amostras de solo. Na segunda etapa foi realizado o ensaio de compressão simples para as misturas de SOLO+RO+CAL e SOLO+RO+CIMENTO.

Os corpos-de-prova foram moldados de acordo com os procedimentos sugeridos pela NBR 12024 da ABNT (1992) para os teores que são mostrados no Fluxograma 5. Procurou-se com isso, um solo estabilizado que se enquadrasse dentro dos critérios estabelecidos pelo DNIT para materiais de sub-base e base, respectivamente.



**Fluxograma 5 – Sequência de atividades adotada para a realização do ensaio de compressão simples.**

A quantidade de água utilizada nas misturas dos materiais 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 rompimento foram feitos com os equipamentos mostrados na Figura 16. Foram moldados corpos-de-prova com uma réplica para cada teor de cal e cimento.



**Figura 16 – (a) Extrator de corpo-de-prova, (b) corpo-de-prova e (c) prensa manual simples utilizada para a realização dos ensaios de compressão simples.**

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 1.

$$RCS = \frac{C}{A} \times 0,1(\text{MPa})$$

[1]

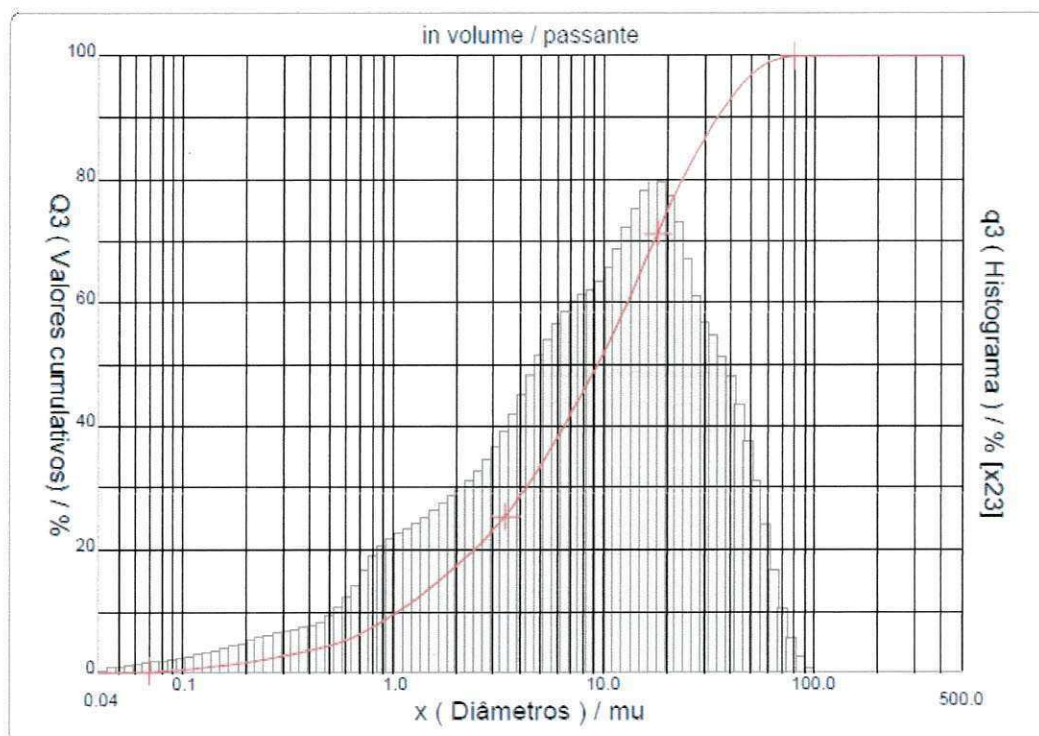
## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

##### 4.1.1 Distribuição dos tamanhos de grãos do cimento

A distribuição dos tamanhos das partículas do cimento foi obtida através do aparelho analisador de partículas por difração à laser. O resultado deste ensaio é apresentado na Figura 17.

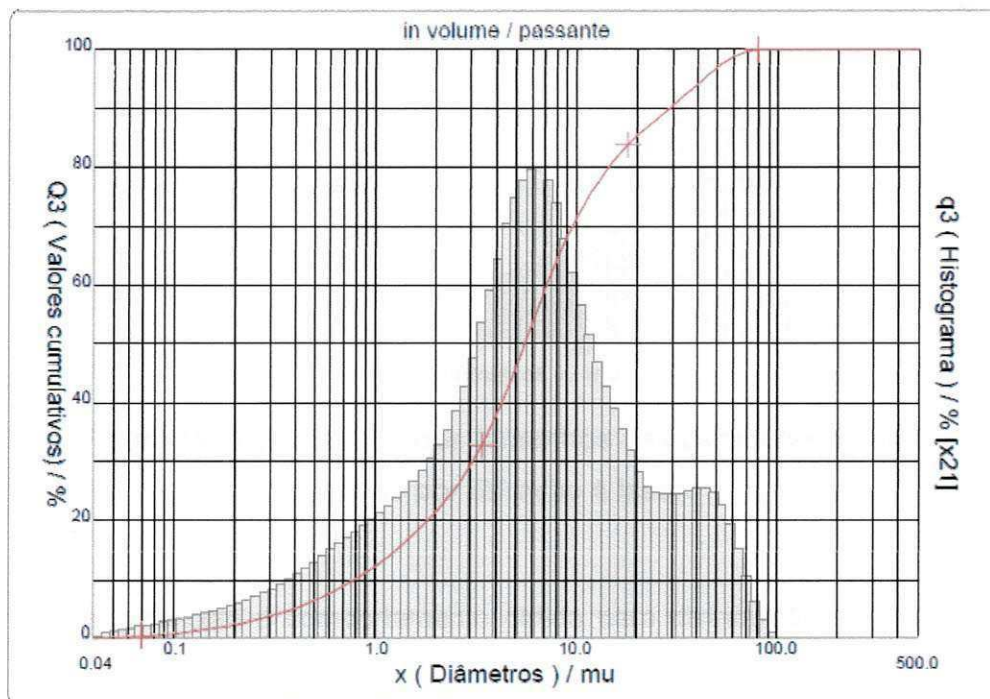


**Figura 17 - Gráfico da distribuição granulométrica do cimento obtida por difração à laser.**

De acordo com o comportamento obtido para distribuição granulométrica do cimento, observa-se pela Figura 17 que a curva apresentou comportamento modal com diâmetro médio de 13,97  $\mu\text{m}$ , com  $D_{10}$  de 1,05  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 9,33  $\mu\text{m}$  e  $D_{90}$  de 34,38  $\mu\text{m}$ . Para este cimento não existem partículas superiores a 100  $\mu\text{m}$ .

#### 4.1.2 Distribuição dos tamanhos de grãos da cal

A distribuição dos tamanhos das partículas da cal foi obtida através do aparelho analisador de partículas por difração à laser. O resultado deste ensaio é apresentado na Figura 18.



**Figura 18 - Gráfico da distribuição granulométrica da cal obtida por difração à laser.**

De acordo com o comportamento obtido para a distribuição granulométrica da cal, observa-se pela Figura 18 que a curva apresentou comportamento modal com diâmetro médio de 10,39  $\mu\text{m}$ , com  $D_{10}$  de 0,78  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 5,54  $\mu\text{m}$  e  $D_{90}$  de 28,60  $\mu\text{m}$ . Para esta cal não existe partículas superiores a 100  $\mu\text{m}$ . Analisando os valores obtidos, verifica-se que a cal possui elevado teor de finos, apresentando para o diâmetro de 5  $\mu\text{m}$  um percentual de 45,96%.

#### 4.1.3 Distribuição dos tamanhos de grãos do solo

A Figura 19 mostra a distribuição dos tamanhos das partículas do solo que foi obtida com o aparelho analisador de partículas por difração a laser. O resultado deste ensaio é apresentado na Figura 19.

#### 4.1.5 Análise química do solo argiloso

A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos a partir da análise química do solo argiloso. Os resultados evidenciam a presença de um teor de 51,39% de óxido de silício, teor de 27,53% de óxido de alumínio e teor de 10,29% de óxido de ferro. Os resultados evidenciam a presença de um complexo silico aluminoso.

**Tabela 12 - Composição química do solo argiloso.**

Componente	Porcentagem (%)
SiO <sub>2</sub> (óxido de silício)	51,398
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de alumínio)	27,534
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de ferro)	10,295
SO <sub>3</sub> (trióxido de enxofre)	4,410
MgO (óxido de magnésio)	1,818
K <sub>2</sub> O (óxido de potássio)	1,541
CaO (óxido de cálcio)	<b>1,458</b>
TiO <sub>2</sub> (óxido de titânio)	1,286
ZrO <sub>2</sub> (óxido de zircônio)	0,121
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (óxido de vanádio)	0,055
MnO (óxido de manganês II)	0,039
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido do cromo)	0,023
ZnO (óxido de zinco)	0,011
SrO (óxido de estrôncio)	0,010
C (carbono)	0,000

#### 4.1.6 Índices de consistência do solo

Na Tabela 13 estão inseridos os resultados obtidos para os índices de consistência do solo nos ensaios de Limite de Liquidez (WL) e Limite de Plasticidade (WP).

**Tabela 13 – Limites de consistência do solo.**

Solo	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
	35,30	21,79	13,51

A partir dos resultados da distribuição dos tamanhos das partículas e dos índices de consistência, o solo foi classificado como A - 6 (solo argiloso), de acordo com o sistema de classificação HRB (Highway Research Board) e como CL (argila inorgânica) pelo SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos).

## 4.1.8 Análise Química do resíduo oleoso

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos a partir da análise química do resíduo oleoso. Os resultados evidenciam a presença de um teor de 58,43% de óxido de silício e teor de 17,06% de óxido de alumínio. Percebe-se que a composição química obtida para o resíduo oleoso é semelhante à mesma obtida para o solo, isso ocorre pelo fato desses materiais possuírem a mesma origem e formação. A composição química obtida do resíduo oleoso classifica-o como sendo um complexo silício aluminoso, como já havia sido verificado por Lucena (2008) nas suas análises em duas amostras de resíduos oleosos.

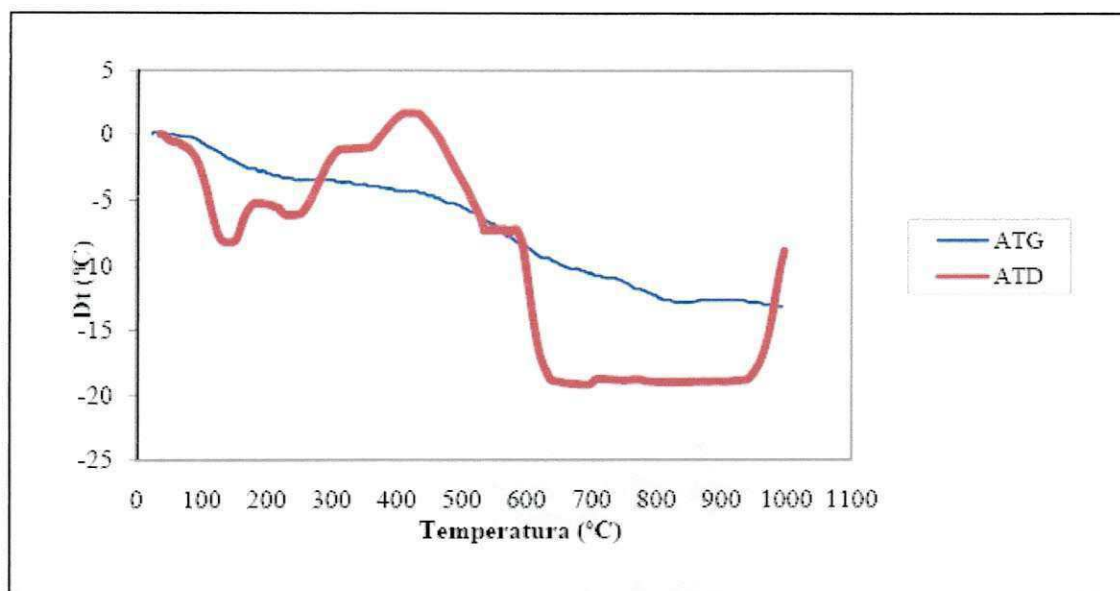
**Tabela 14 - Composição química do resíduo oleoso.**

Componente	Porcentagem (%)
SiO <sub>2</sub> (óxido de silício)	58,438
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de alumínio)	17,063
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (óxido de ferro)	7,016
CaO (óxido de cálcio)	5,733
BaO (óxido de bário)	3,260
SO <sub>3</sub> (trióxido de enxofre)	2,525
MgO (óxido de magnésio)	2,239
K <sub>2</sub> O (óxido de potássio)	1,824
TiO <sub>2</sub> (óxido de titânio)	1,609
SrO (óxido de estrôncio)	0,119
MnO (óxido de manganês II)	0,107
ZrO <sub>2</sub> (óxido de zircônio)	0,035
ZnO (óxido de zinco)	0,026
Rb <sub>2</sub> O (óxido de rubídio)	0,007
C (carbono)	0,000

## 4.1.9 Análise Térmica Diferencial (ATD) e Termogravimétrica (ATG) do resíduo oleoso

A Figura 21 apresenta os resultados da ATD e ATG para o resíduo oleoso. Na ATG ocorreu uma perda de massa de 3,75% entre 25°C e 225°C, e de 8,25% entre 300°C e 850°C, totalizando uma perda de massa de 12% . Já a partir da análise da curva de ATD, pode-se chegar às seguintes conclusões:

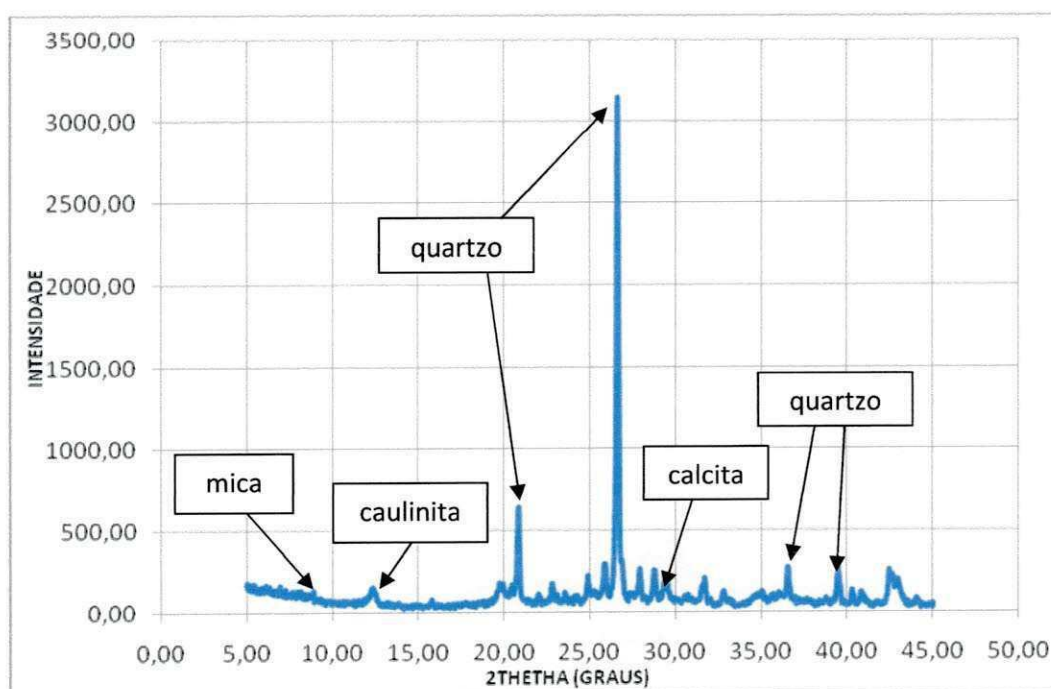
- 1) entre 30 e 200°C perda de água livre – pico endotérmico;
- 2) entre 200°C e 400° combustão de matéria orgânica - exotérmico;
- 3) em 573°C transformação do quartzo alfa para o quartzo beta – pico endotérmico.



**Figura 21 - Curvas de ATD e ATG do resíduo oleoso.**

#### **4.1.10 Difração de raio-x do resíduo oleoso**

A Figura 22 apresenta os resultados obtidos com o ensaio de difração de raios-x para o resíduo oleoso. Através de sua análise pôde-se concluir que se trata de substância composta essencialmente por quartzo, com pequenas quantidades de calcita, mica e caulinita.



**Figura 22 – Difração de raio-x do resíduo oleoso.**



#### 4.1.11 Caracterização Ambiental do resíduo oleoso

##### a) Determinação do Teor de Óleo e Graxas

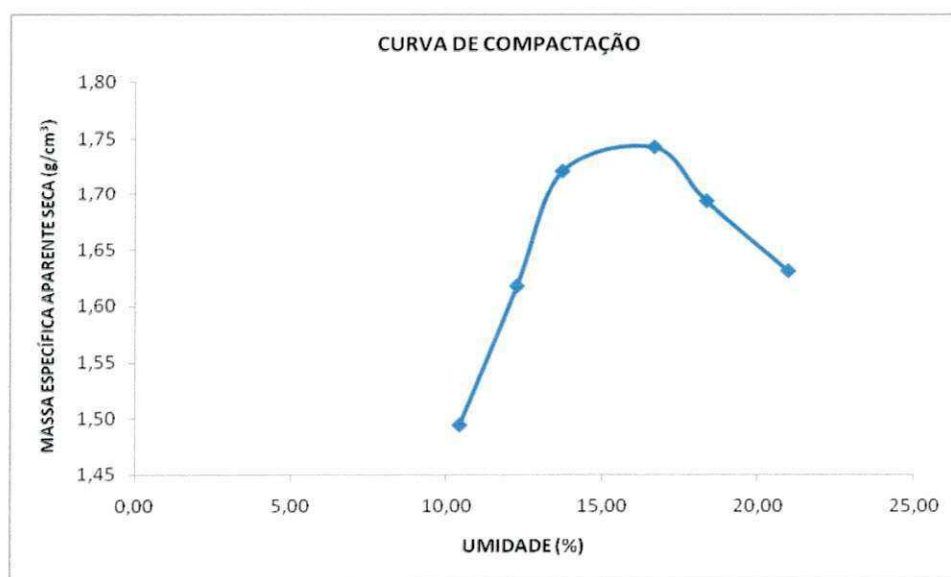
O teor de óleos e graxas obtido para o resíduo oleoso foi de 5,4%. Esse resultado foi superior a 5%, limite máximo estabelecido pela norma NBR 10004 (2004); logo o resíduo oleoso é classificado como Resíduo Classe I, ou seja, tóxico e perigoso.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

### 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 23 e na Tabela 15 estão mostrados os resultados obtidos com a realização do ensaio de compactação para amostra de solo puro (sem mistura).

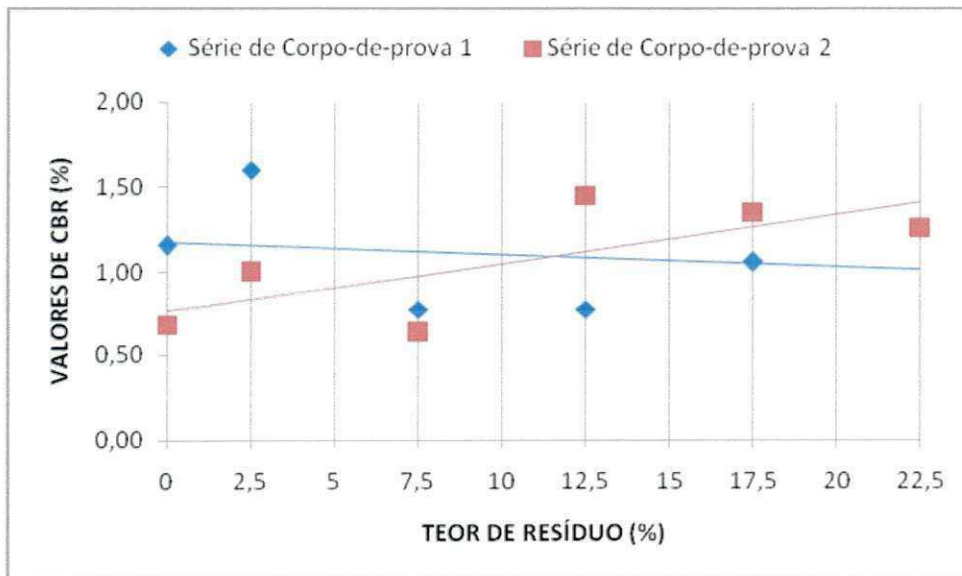


**Figura 23 – Curva de compactação para o solo.**

**Tabela 15- Resultados obtidos no ensaio de compactação para o solo.**

Solo	Massa específica aparente	Umidade ótima (%)
	seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	
	1,750	15,50

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 2,5%, 7,5%, 12,5%, 17,5%, e 22,5% em massa, em relação à massa total da amostra (6.000g) são apresentados na Figura 24 e na Tabela 16, bem como os valores obtidos de umidade ótima (%), de massa específica aparente seca (g/cm<sup>3</sup>) e de expansão (%).



**Figura 24 - Efeito da adição do resíduo oleoso nos valores de CBR para o solo.**

Analisando os resultados apresentados na Tabela 16 a seguir, observa-se que não houve variações significativas nos valores obtidos para o CBR quando foram adicionados vários percentuais de resíduo oleoso em relação ao peso da amostra de solo. No intuito de incorporar a maior quantidade possível de resíduo oleoso as misturas que darão seguimento a este estudo, optou-se por fixar a quantidade de resíduo oleoso na mistura em 17,5% em relação à massa de solo seco. O teor de 22,5% foi descartado por ter apresentado no ensaio de expansão resultado um pouco maior que os demais teores estudados, sendo dessa forma não indicado para ser utilizado no seguimento da pesquisa, pois caso fosse utilizado poderia apresentar

valores acima dos estabelecidos pelos critérios do DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes.

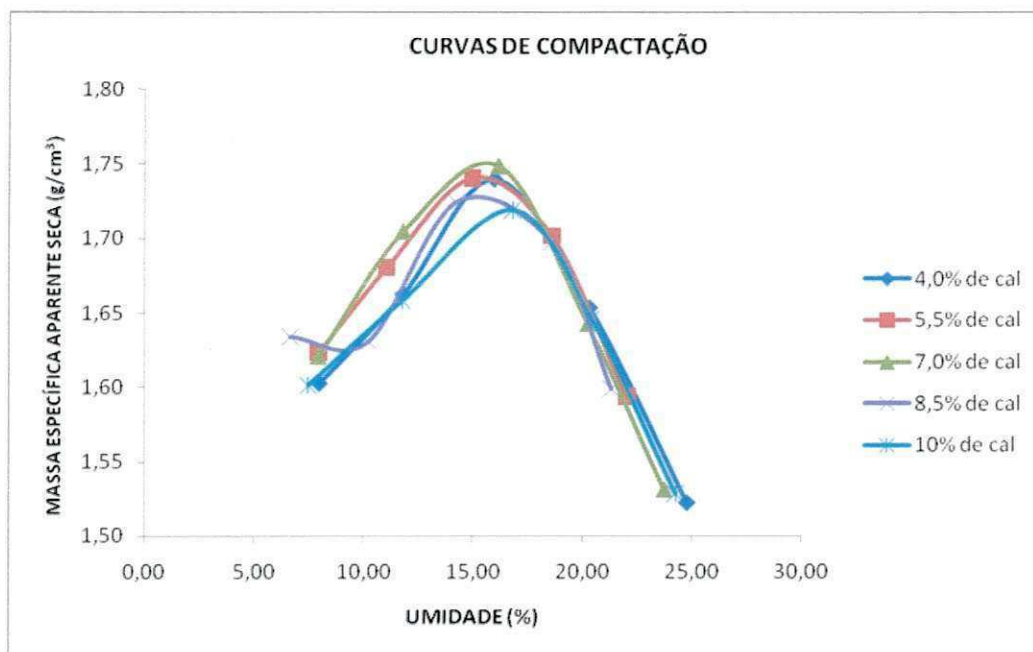
**Tabela 16 – Resultados dos ensaios de CBR variando a quantidade de resíduo oleoso.**

Teores de Resíduo (%)	Umidade (%)	Massa específica aparente seca corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Expansão (%)
0,0	14,13	1,790	1,16	1,84
	11,73	1,790	0,68	1,33
2,5	15,92	1,770	1,60	1,12
	16,66	1,740	1,00	2,22
7,5	15,74	1,710	0,77	0,97
	16,57	1,730	0,63	2,19
12,5	14,63	1,760	0,77	1,42
	11,57	1,810	0,58	3,61
17,5	13,97	1,750	1,06	1,73
	15,72	1,720	1,35	2,26
22,5	11,88	1,760	1,26	3,04
	16,30	1,720	1,26	2,41

#### **4.2.2 Ensaios de Compactação para as misturas**

O cimento e cal foram escolhidos como estabilizantes químicos devido a eficácia apresentada diante de solos argilosos. Assim, após a fixação do resíduo oleoso em 17,5%, a cal e o cimento foram incorporados à mistura nos teores de 4,0%, 5,5%, 7,0%, 8,5% e 10%.

Na Figura 25 e na Tabela 17 são apresentados os resultados dos ensaios de compactação para as diferentes misturas de solo-resíduo-cal.

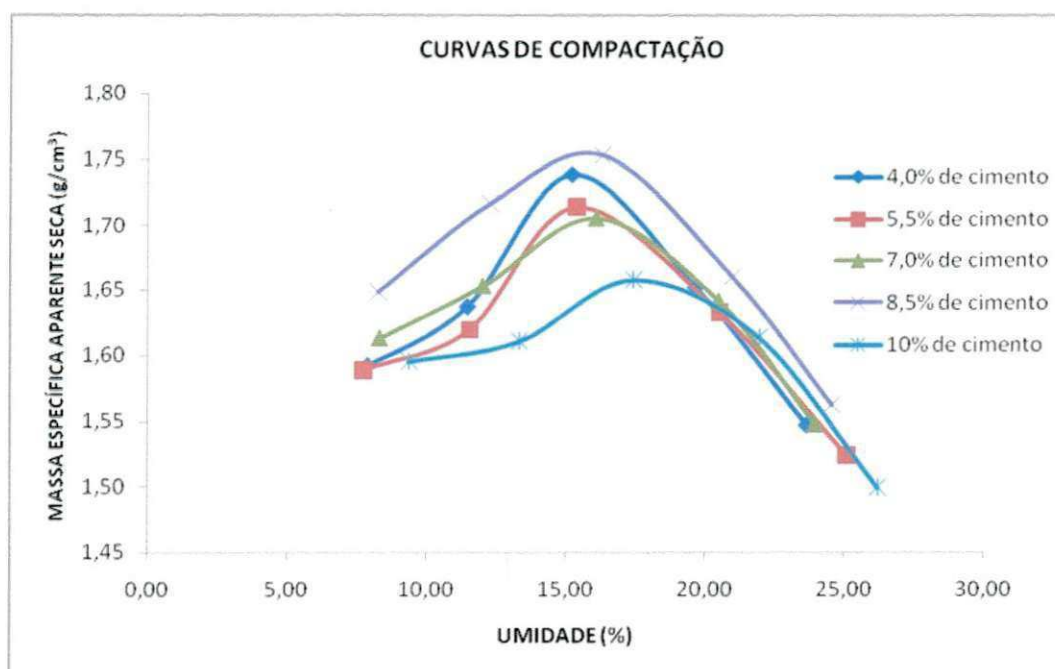


**Figura 25 – Curvas de compactação para as misturas solo-resíduo-cal.**

**Tabela 17 – Resultados obtidos no ensaio de compactação para a mistura solo-resíduo-cal.**

Mistura	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Umidade Ótima (%)
solo – resíduo – 4,0% cal	1,750	15,40
solo – resíduo - 5,5 %cal	1,740	14,95
solo – resíduo – 7,0% cal	1,750	16,00
solo – resíduo -8,5% cal	1,740	14,40
solo – resíduo – 10% cal	1,730	15,60

Na Figura 26 e na Tabela 18 são apresentados os resultados dos ensaios de compactação para as diferentes misturas de solo-resíduo-cimento.



**Figura 26 – Curvas de compactação para as misturas solo-resíduo-cimento.**

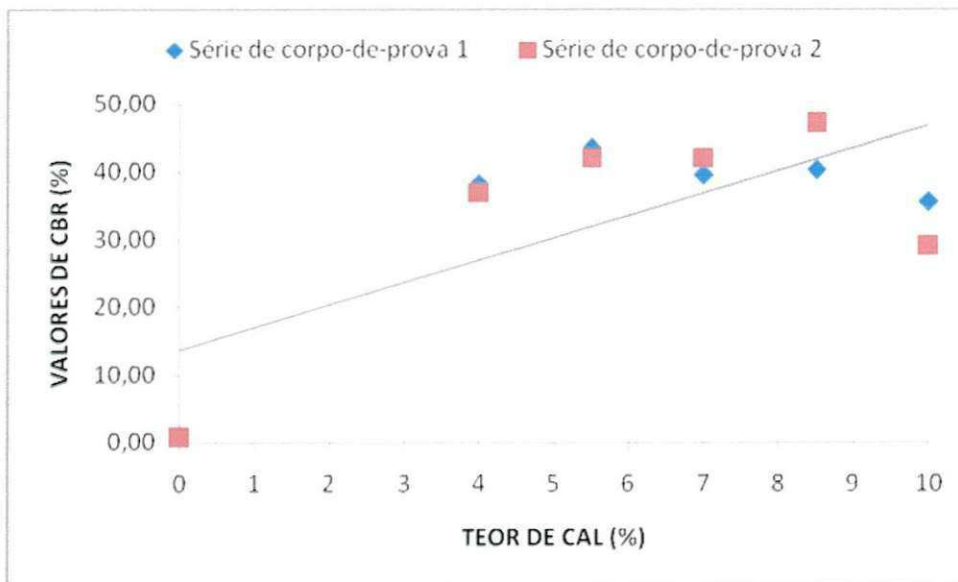
**Tabela 18 – Resultados obtidos no ensaio de compactação para a mistura solo-resíduo-cimento.**

Mistura	Massa específica aparente seca máxima (g/cm³)	Umidade Ótima (%)
solo – resíduo – 4,0% cimento	1,740	15,20
solo – resíduo - 5,5 % cimento	1,720	15,40
solo – resíduo – 7,0% cimento	1,720	15,60
solo – resíduo - 8,5% cimento	1,760	15,20
solo – resíduo – 10% cimento	1,670	16,60

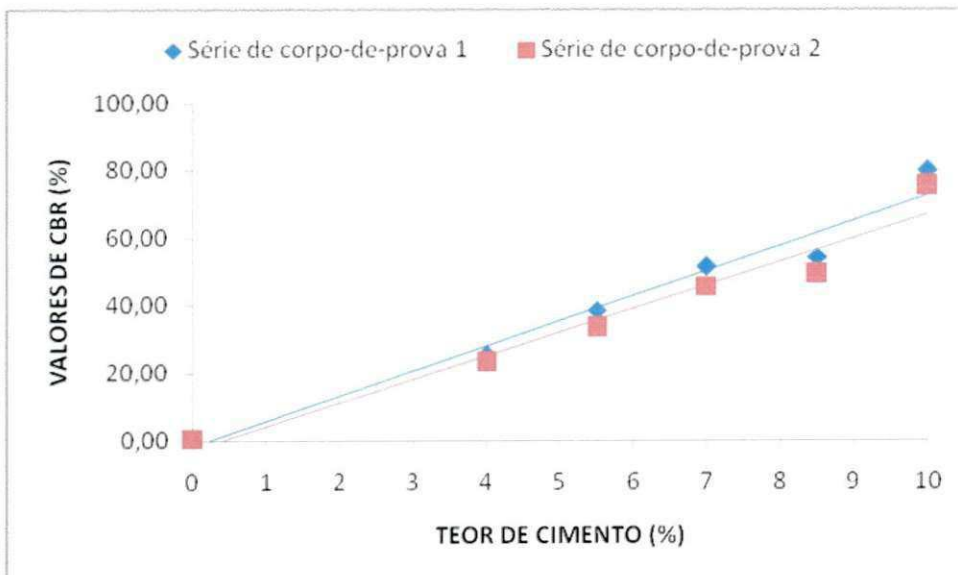
Ao analisar os resultados da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima para as amostras com adição de cal e cimento apresentados nas Tabelas 17 e 18, percebe-se que os valores obtidos são semelhantes aos encontrados para o solo puro.

### 4.2.3 Ensaio de CBR para as misturas

As Figuras 27 e 28 apresentam os resultados obtidos para o ensaio de CBR em relação aos diferentes teores de cal e de cimento adicionados à mistura com um teor de 17,5% de resíduo oleoso.



**Figura 27 - Efeito do incremento do teor de cal na mistura nos valores de CBR.**



**Figura 28 - Efeito do incremento do teor de cimento na mistura nos valores de CBR.**

Analisando os resultados das Figuras 26 e 27, observa-se que o aumento do teor de cal e de cimento implicou em um aumento significativo no valor do CBR quando comparado aos valores obtidos para o solo puro. Provavelmente a proximidade dos grãos, devido ao aumento da compactação, facilite as reações químicas no interior da amostra.

Na Tabela 19 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 o Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT). Ressalta-se que estes valores de referência fazem parte das especificações de serviços para uso em estradas de tráfego pesado.

**Tabela 19 – 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.

Nas Tabelas 20 e 21 estão os resultados detalhados dos ensaios de CBR (%), bem como os valores obtidos para umidade (%), massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ ) e expansão (%) obtidos para as misturas de solo-resíduo-cal e solo-resíduo-cimento.

**Tabela 20 – Resultados dos ensaios de CBR variando o teor de cal.**

Teores de cal (%)	Umidade (%)	Massa específica aparente seca corpo-de-prova ( $\text{g/cm}^3$ )	CBR(%)	Expansão(%)
4,0	26,14	1,570	38,28	0,35
	12,62	1,770	36,98	0,25
5,5	36,11	1,440	43,50	0,26
	21,22	1,660	42,05	0,19
7,0	17,69	1,600	39,59	0,38
	12,74	1,720	42,05	0,33
8,5	16,65	1,630	40,31	0,22
	13,32	1,680	47,13	0,33
10	15,94	1,610	35,53	0,18
	16,13	1,610	29,00	0,42

Os valores de CBR obtidos na pesquisa para as misturas contendo 4,0%, 5,5%, 7,0%, 8,5% e 10% de cal, são superiores aos recomendados para uso em sub-bases. Quanto à expansão todos os valores obtidos estão em conformidade com as especificações de serviços citadas na Tabela 19.

**Tabela 21 – Resultados dos ensaios de CBR variando o teor de cimento.**

Teores de cimento (%)	Umidade (%)	Massa específica aparente seca corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	CBR(%)	Expansão(%)
4,0	12,55	1,770	25,67	1,29
	14,94	1,740	23,20	1,54
5,5	13,19	1,940	38,43	1,32
	15,73	1,920	33,35	1,62
7,0	13,62	1,760	51,48	1,37
	15,26	1,720	45,68	1,67
8,5	14,24	1,740	54,38	1,79
	14,81	1,690	49,30	2,06
10	15,12	1,750	79,75	1,49
	15,41	1,680	75,40	1,22

Analisando os valores de CBR obtidos na pesquisa para as misturas contendo cimento, observa-se que para os teores de 5,5%, 7%, 8,5% e 10%, os resultados obtidos são superiores aos recomendados para uso em sub-bases de pavimentos rodoviários. Para o teor de 4% de cimento, o resultado encontrado ficou abaixo do limite estabelecido. Quanto à expansão, todos os valores obtidos estão acima do estabelecido nas especificações de serviços citadas na Tabela 19, recomendada pelo DNIT.

Portanto, entre todas as misturas analisadas, a mistura composta por solo, 17,5% de resíduo oleoso e 8,5% de cal apresentou o maior incremento dentre os valores de CBR encontrados e o valor da expansão dentro do limite estabelecido nos critérios do DNIT para utilização em sub-bases de estradas.



#### 4.2.4 Ensaio de Resistência à Compressão Simples

As Figuras 29 e 30 apresentam os resultados de resistência à compressão simples obtida para as misturas de solo-resíduo-cal e solo-resíduo-cimento. O teor de resíduo oleoso presente nessas misturas é 17,5%.

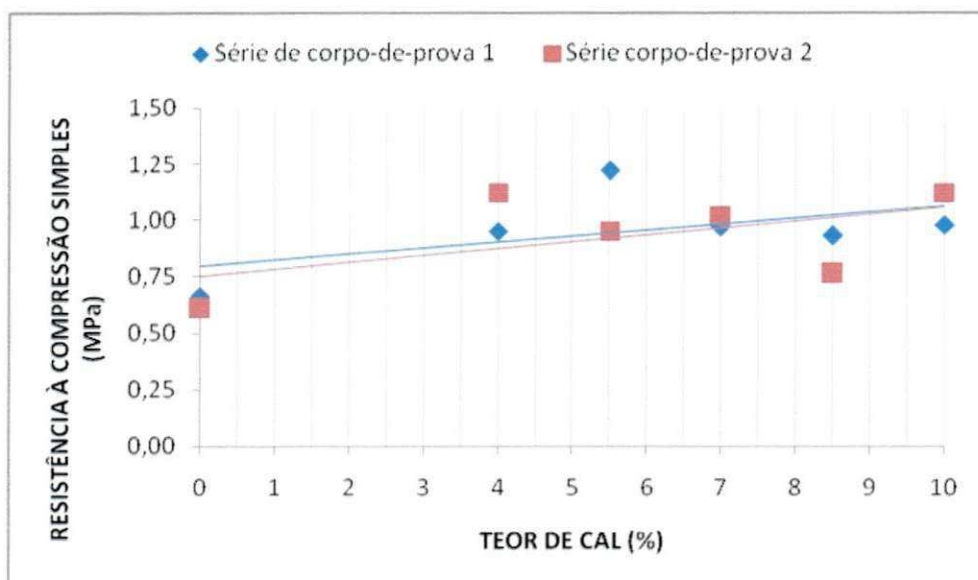


Figura 29 - Efeito do teor de cal nos valores da resistência à compressão simples.

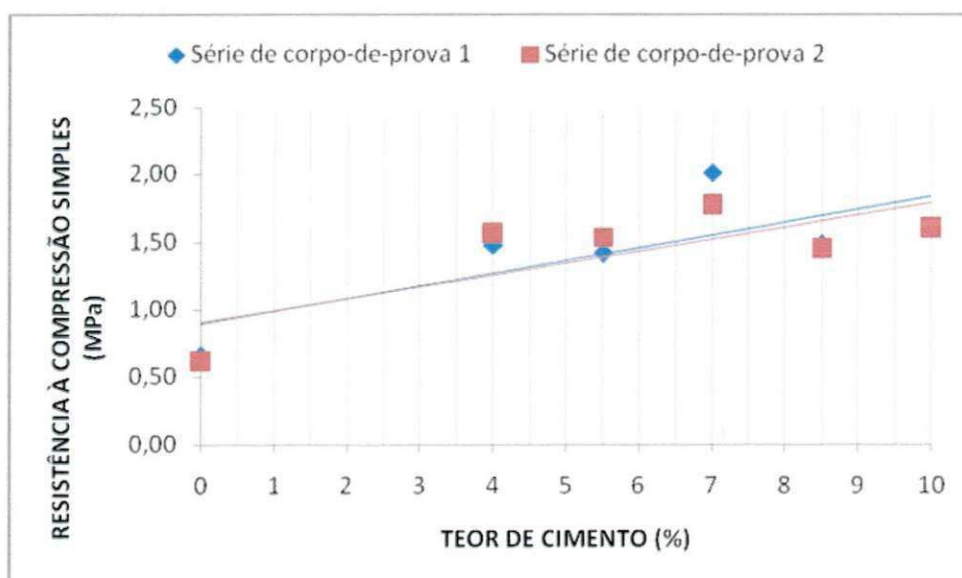


Figura 30 - Efeito do teor de cimento nos valores da resistência à compressão simples.

De acordo com as Figuras 28 e 29, observa-se uma tendência de incremento nos valores de resistência à compressão simples ao se comparar com os valores encontrados para o solo puro. Nas Tabelas 22 e 23 estão mostrados os resultados desse ensaio para as misturas com adição de cal e de cimento.

**Tabela 22 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples variando o teor de cal.**

Teores de Cal (%)	Umidade (%)	Massa específica aparente seca do corpo - de - prova (g/cm <sup>3</sup> )	GC (%)	Resistência à Compressão Simples (MPa)
0	11,26	1,610	92,00	0,66
	9,98	1,690	97,00	0,61
4,0	13,12	1,700	99,00	0,95
	14,61	1,660	95,00	1,12
5,5	13,58	1,700	98,00	1,22
	15,04	1,610	93,00	0,95
7,0	14,72	1,650	95,00	0,97
	14,49	1,650	94,00	1,02
8,5	11,78	1,650	95,00	0,93
	14,35	1,620	93,00	0,76
10	13,81	1,630	94,00	0,98
	13,43	1,660	96,00	1,12

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão simples tanto para o solo puro como para as misturas contendo 4,0%, 5,5%, 7,0%, 8,5% e 10% de cal foram superiores aos valores 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).

**Tabela 23 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples variando o teor de cimento.**

Teores de cimento (%)	Umidade (%)	Massa específica aparente seca do corpo - de - prova (g/cm <sup>3</sup> )	GC (%)	Resistência à Compressão Simples (MPa)
0	11,26	1,610	92,00	0,66
	9,98	1,690	97,00	0,61
4,0	14,86	1,720	99,00	1,48
	14,25	1,630	93,50	1,56
5,5	14,73	1,690	98,00	1,42
	15,48	1,670	97,00	1,54
7,0	15,98	1,690	98,00	2,01
	16,06	1,600	93,00	1,77
8,5	13,75	1,680	95,00	1,45
	14,11	1,670	95,00	1,49
10	10,46	1,720	103,00	1,60
	18,28	1,620	97,00	1,60

Os valores obtidos nos ensaios de compressão simples para as misturas contendo 4,0%, 5,5%, 7,0%, 8,5% e 10% de cimento foram superiores aos valores recomendados pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Texas, e também são superiores aos obtidos para as misturas com adição de cal.

#### **4.2.5 Caracterização ambiental da mistura SOLO-RESÍDUO-CAL**

##### **a) Classificação da mistura solo-resíduo-cal quanto à inerticidade e toxicidade**

Nas Tabelas 23 e 24 são apresentadas as concentrações dos constituintes químicos da mistura composta por solo, 17,5% de resíduo e 8,5% de cal, obtidas a partir dos extratos solubilizado e lixiviado, respectivamente. A escolha desta mistura com este teor de substituição, se deu pelo fato da mesma ter apresentado melhores resultados em conformidade com as especificações do DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, como visto nos valores apresentados no item anterior (caracterização mecânica).

**Tabela 23 – Resultados do teste de solubilização para a mistura solo-17,5%resíduo-8,5%cal.**

Parâmetros	LMP (mg/l)		Caracterização
	Anexo G NBR 10004/2004	Mistura (mg/l)	
Cádmio	0,005	0,00	I
Chumbo	0,01	0,18	<b>NI</b>
Cobre	2,00	0,137	I
Manganês	0,10	0,00	I
Ferro	0,30	0,02	I
Cobalto	Sem padrão	0,047	I

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

**Tabela 24 – Resultados do teste de lixiviação para a mistura solo-17,5%resíduo-8,5%cal.**

Parâmetros	LMP (mg/l)		Caracterização
	Anexo F NBR 10004/2004	Mistura (mg/l)	
Cádmio	0,50	0,058	NT
Chumbo	1,00	0,51	NT
Manganês	Sem padrão	0,038	NT
Cobre	Sem padrão	0,092	NT
Cobalto	Sem padrão	0,129	NT

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

Os resultados obtidos evidenciam que para a mistura solo-resíduo-8,5%cal, os constituintes químicos, com exceção do chumbo, apresentaram concentrações inferiores aos limites do anexo G, estabelecidos pela NBR 10004/2004 para análise de extratos solubilizados (Tabela 23). Para as concentrações dos constituintes químicos obtidos com o extrato lixiviado (Tabela 24), observou-se que todos apresentam concentrações inferiores aos limites do anexo F, estabelecido pela NBR 10004/2004. Assim, pode-se concluir que, a mistura solo-resíduo-8,5%cal pode ser classificada como “resíduo” não tóxico para os metais analisados. De acordo com os padrões da referida norma, a mistura solo-17,5%resíduo-8,5%cal classifica-se como não perigosa e não inerte, ou seja, “Resíduo Classe II A”.

## **CAPÍTULO 5**

---

### **5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

#### **5.1 Conclusões**

Neste trabalho, apresentou-se os resultados de uma pesquisa que visa uma nova alternativa de reaproveitamento dos resíduos oleosos através da estilização/solidificação de solos juntamente com o resíduo oleoso para aplicação em estradas.

As análises dos dados obtidos permitiram extrair as seguintes conclusões:

Em relação às misturas de solo+resíduo (experimento piloto), percebeu-se que não houve incrementos significativos no valor do CBR para os teores de resíduo oleoso adicionados (2,5%, 5,0%, 7,5%, 12,5%, 17,5% e 22,5%) a esta mistura quando comparados aos valores obtidos para o solo puro. Nos valores de umidade ótima (%), massa específica aparente seca ( $\text{g/cm}^3$ ) e expansão (%) observaram-se pequenas variações.

Nos resultados obtidos nos ensaios de CBR para as misturas com adição de cal (4,0%, 5,5%, 7,0%, 8,5% e 10%), observou-se um aumento significativo nos valores encontrados e todos estes valores são superiores ao estabelecido ( $\geq 30\%$  para uso em sub-base) pela especificação de serviço DNIT – ES 302/97. Em relação à expansão, os valores encontrados para esta mistura nos teores acima mencionados apresentam-se dentro dos limites pré-estabelecido pelo DNIT (máxima de 1% para uso em sub-base, DNIT – ES 302/97 e máxima de 0,5% para uso em base de pavimentos, DNIT – ES 304/97).

Nas misturas com adição de cimento (5,5%, 7,0%, 8,5% e 10%), os valores obtidos do ensaio de CBR também foram superiores aos estabelecidos pelo DNIT para uso em sub-bases de pavimentos rodoviários, porém, os valores de expansão apresentaram-se superiores aos limites pré-estabelecidos nas especificações de serviço.

Os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão simples para as misturas com adição de cal ou cimento nos teores de 4,0%, 5,5%, 7,0%, 8,5% e 10%, foram acima dos recomendados pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Texas (DOT-Texas, U.E.A), que recomenda uma resistência à 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.

Ao se analisar de maneira conjunta os resultados das misturas solo-resíduo-cal e solo-resíduo-cimento, a mistura que melhor atendeu aos requisitos das Normas do DNIT para os ensaios de CBR, expansão e resistência à compressão simples foi a mistura composta por solo, 17,5% de resíduo oleoso e 8,5% de cal.

Em relação à classificação quanto à toxicidade e inerticidade segundo a ABNT NBR-10004, a mistura ideal solo-resíduo-cal (74% de solo, 17,5% de resíduo oleoso e 8,5% de cal) foi classificada como "Resíduo Classe II A" para os parâmetros analisados.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

A pesquisa realizada utilizando o resíduo oleoso gerado nas atividades de exploração de petróleo deve ser vista como um estudo inicial para outras pesquisas que envolvam o aperfeiçoamento das atividades propostas.

Com isso, sugere-se:

- Realização de ensaios de módulo de resiliência, com o intuito de ampliar o conhecimento sobre o comportamento do resíduo oleoso em misturas para uso em base e/ou sub-base de pavimentos;
- Avaliar a influência de teores de cal superiores aos estudados, a fim de se obter uma mistura totalmente inerte;
- Realizar um estudo sobre os impactos ambientais na região, provocados pela disposição de rejeito do resíduo oleoso de forma irregular;

- Executar e observar o comportamento de um trecho experimental utilizando a mistura solo-resíduo-cal/solo-resíduo-cimento com as proporções estudadas neste trabalho;
- O estudo do aproveitamento dos resíduos oleosos oriundos das atividades de exploração e produção de petróleo em outros ramos da construção civil;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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-6474. Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica. 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-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.

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, F. O que está sendo feito com os resíduos industriais? Revista Saneamento Ambiental, N° 45, Nov/Dez, p 16-24 ,1998.

API – AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Publicação: Overview of exploration and production waste volumes and waste management practices in the United States. Maio de 2000.

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.

BARTH, E. F. Na overview of the history, present status, and future direction of solidification/stabilization Technologies for hazardous waste treatment. Journal of hazardous Materials. Vol 24, pp. 103-109 (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.

BLECKMANN, C.A. 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.

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

CORDEIRO, J. F. S. 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, 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB.

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, ME- 053/94. Misturas Betuminosas – Porcentagem de Betume, 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.

DEUEL, L. E. JR. Soil and waste remediation, Hardcover/March, 1998.

E & P FORUM. Publicação: Exploration and Production (E & P) Waste management guidelines. Report N° 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.

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. Tijolos de solo-cal, p 121-130 – Reunião aberta da indústria de cal. São Paulo, 1985, 323p. Anais.

GUIMARÃES, J.E.P. Estabilização de solos com cal – Princípios básicos. Associação Brasileira dos Produtores de Cal. São Paulo, 1992, 102p.

LUCENA, A. E. de F. L.. Utilização de cascalhos de perfuração oriundos das atividades de exploração de petróleo em revestimentos asfálticos de estradas, 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB.

LEIRIAS, H. S.; SANTOS, A. C.; ARAÚJO, W. M. & CONCIANI, W. Estabilização do Solo Saprólítico da Baixada Cuiabana com Adição de Cinza da Casca de Arroz. In: Simpósio de Solos Tropicais e Processos Erosivos, Goiânia, 2002.

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.

NEDER, L. 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.

OGP – INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL & GAS PRODUCERS. Publicação: Guidelines for produced water injection. Report No. 2.80/302. Londres, Janeiro de 2000.

OLIVEIRA, D. M. Aplicação da técnica de solidificação/estabilização para resíduos oleosos da indústria petrolífera, utilizando solo argiloso e bentonita, 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RIZZO, A. C. L. & SANTOS, R. Bioremediation of Crude Oil Contaminated Soil, In: Proceedings of the Fourth International Congress on Environmental Geotechnics, Rio de Janeiro, 2002.

SEABRA, P. N., GARCIA, R. L. P., NEDER, L. T. C. Técnicas de tratamento de

resíduos sólidos gerados na exploração e produção de petróleo. Primeiro Seminário Sobre Proteção Ambiental na Exploração e Produção de Petróleo, Rio de Janeiro, Outubro de 2001.

SOUZA, A. A. C. Investigação Geoambiental de Solos Argilosos Contaminados por Resíduos de Petróleo. Dissertação de Mestrado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

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.

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

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.

UKOOA. Publicação: Drill cuttings – Program impact from onshore disposal. Report No. 99-4029. Londres, 1999.

WIEDMAN, A. Regulation of produced water by the U.S. Environmental Protection Agency. In: Produced Water 2: Environmental Issues and Mitigation Technologies, International Water Symposium, Mark Reed and Stale Johnsen, eds. New York: Plenum Press, 1996.

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

ANEXO A

ENSAIOS DE DIFRAÇÃO À LASER



DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

CILAS 1064 Líquido

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



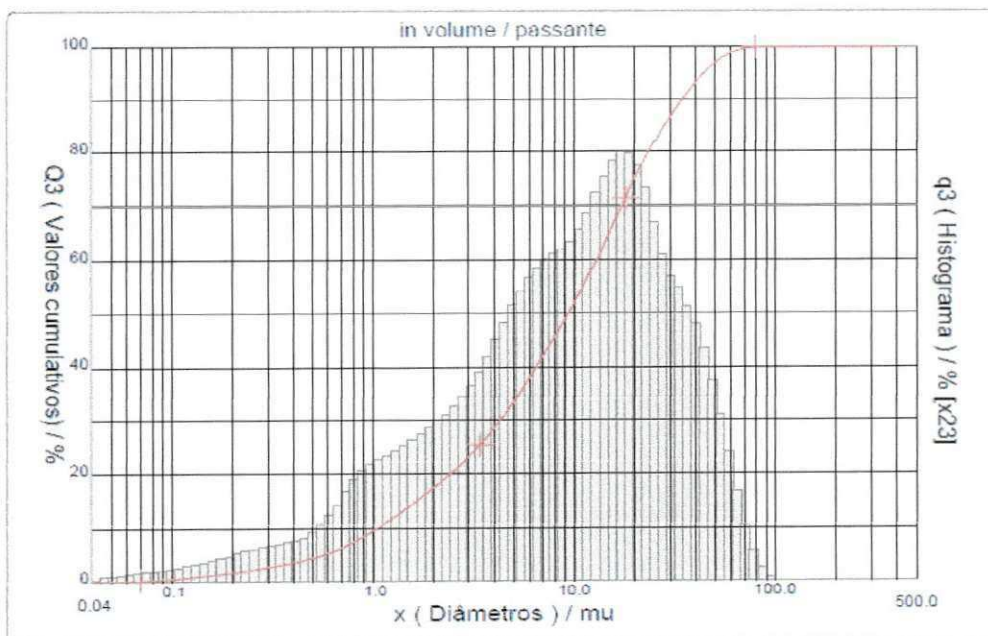
Ref da amostra : ClaudioBatista cimento	Ultrasom : 60 s
Type produit : Argila	Concentração : 123
Client : UFCG	Diâmetro a 10% : 1.05 mu
Comentários : Calibrado	Diâmetro a 50% : 9.33 mu
Líquido : Água	Diâmetro a 90% : 34.38 mu
Agente dispersante : HMFNa	Diâmetro médio : 13.97 mu
Operador : Liszandra	Fraunhofer
Empresa : UFCG	Densidade/Fator : -----
Localização : Campina Grande - PB	Superfície específica : -----
Data : 20/07/2009 Hora : 16:37:43	Diluição automática : Não / Não
Índice med. : 1328	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	0.02	0.29	0.60	2.23	4.48	6.87	9.49	17.39	23.32	28.60											
x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0											
Q3	33.54	51.98	75.17	86.77	93.24	97.00	99.39	99.98	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	3.31	6.47	19.90	27.94	90.00





## DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA CILAS 1064 Líquido



Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

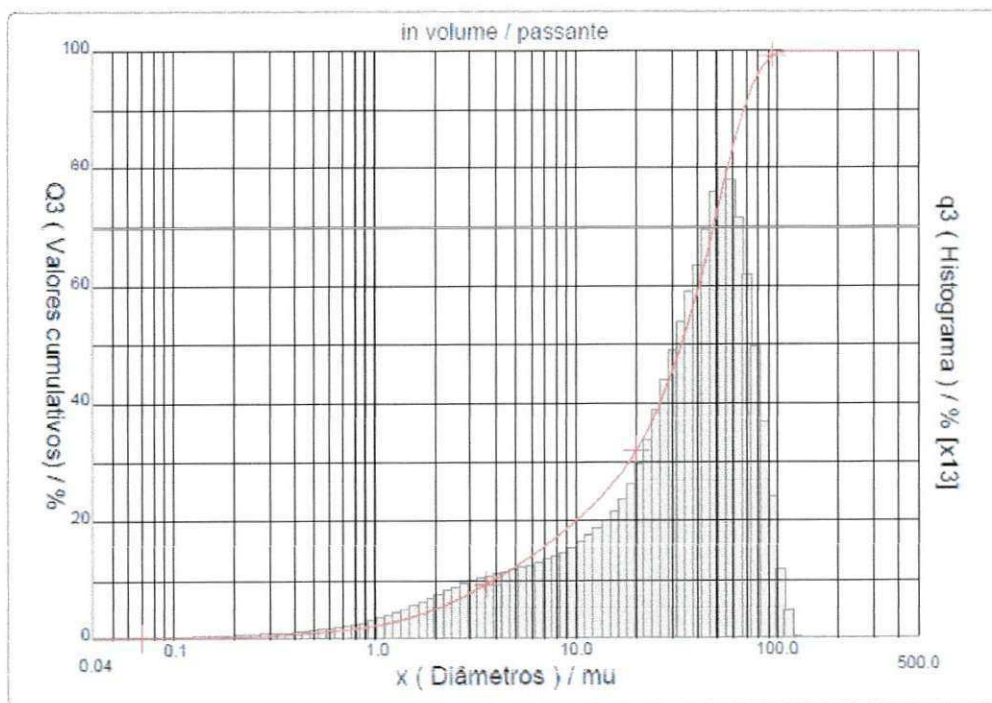
Ref da amostra	: ProfHeberCassia2	Ultrasom	: 60	s
Type produit	: Argila	Concentração	: 173	
Client	: UFGC	Diâmetro a 10%	: 3.83	mu
Comentários	: Calibrado	Diâmetro a 50%	: 33.35	mu
Líquido	: Água	Diâmetro a 90%	: 68.30	mu
Agente dispersante	: Nenhum	Diâmetro médio	: 35.05	mu
Operador	: Lizandra	Fraunhofer		
Empresa	: UFGC	Densidade/Fator	: -----	
Localização	: Campina Grande - PB	Superfície específica	: -----	
Data : 20/07/2009	Hora : 14:18:48	Diluição automática	: Não / Não	
Índice med.	: 1320	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	0.13	0.20	0.52	1.07	1.63	2.24	5.11	7.96	10.39
x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0	Q3	12.43	20.03	32.04	45.36	59.00	72.26	87.69	97.44	99.61	100.00

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

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	14.05	26.07	52.21	61.77	112.00





## DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

CILAS 1064 Líquido

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes

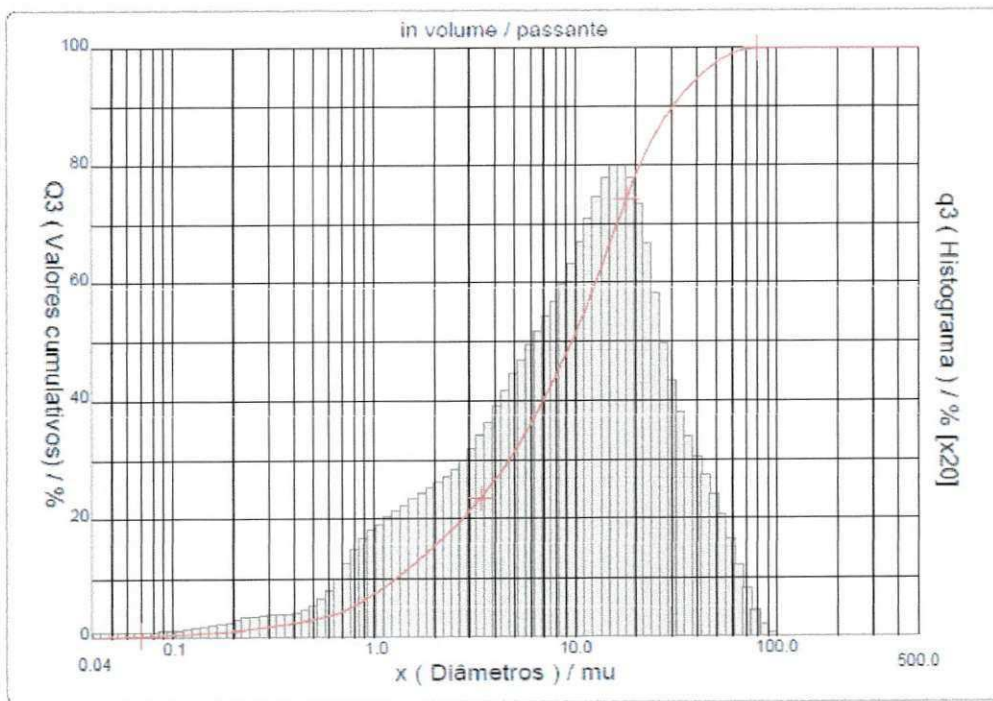


Ref da amostra	: Residuo_ClaudioBatista	Ultrasom	: 60	s
Type produit	: Argila	Concentração	: 158	
Client	: UFCG	Diâmetro a 10%	: 1.28	mu
Comentários	: Calibrado	Diâmetro a 50%	: 9.58	mu
Líquido	: Água	Diâmetro a 90%	: 30.37	mu
Agente dispersante	: HMFNa	Diâmetro médio	: 13.28	mu
Operador	: Juliana	Fraunhofer		
Empresa	: UFCG	Densidade/Fator	-----	
Localização	: Campina Grande - PB	Superfície específica	-----	
Data	: 21/10/2009	Diluição automática	: Não / Não	
Hora	: 14:42:36	Medida./Limp.	: 60/60/3	
Índice med.	: 1414	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	x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	0.13	0.42	0.61	1.62	3.07	4.96	7.41	15.41	21.40	26.71	Q3	31.63	51.41	78.45	89.76	94.69	97.49	99.43	99.98	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	3.67	6.91	18.27	24.54	90.00



Núm. de série : 392    Ref : 1.r111.m108.45A0000/5.00/1414/m25.12.5.10.1Fh.20.5.10.Biv/Q-.0.0.0/300.0.15.g60.2.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V.5.12/R35





## DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

CILAS 1064 Líquido

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



Ref da amostra	: ClaudioBatista cal passado	Ultrasom	: 60	s
Type produit	: Argila	Concentração	: 156	
Client	: UFG	Diâmetro a 10%	: 0.78	mu
Comentários	: Calibrado	Diâmetro a 50%	: 5.54	mu
Líquido	: Água	Diâmetro a 90%	: 28.60	mu
Agente dispersante	: HMFNa	Diâmetro médio	: 10.39	mu
Operador	: Lizandra	Fraunhofer		
Empresa	: UFG	Densidade/Fator	-----	
Localização	: Campina Grande - PB	Superfície específica	-----	
Data : 20/07/2009	Hora : 16:26:43	Diluição automática	: Não / Não	
Índice med.	: 1327	Medida /Limp.	: 60/60/3	
		SOP	: Argila	

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

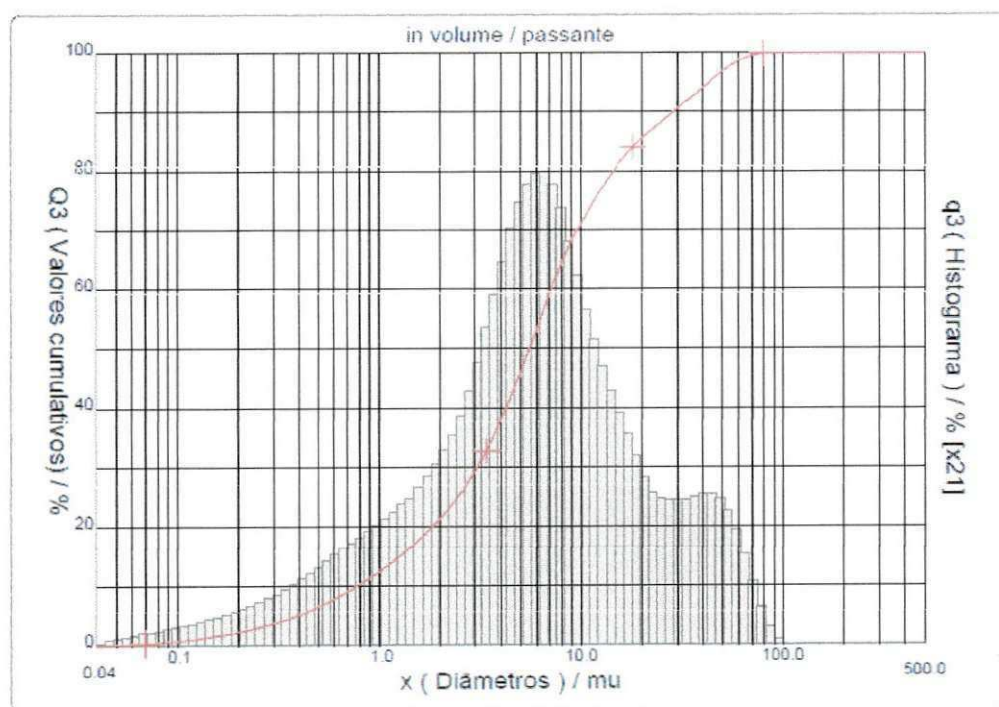
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.00	0.35	0.80	3.00	6.45	9.61	12.39	21.38	29.46	37.83

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	45.96	71.38	85.53	90.59	94.20	96.95	99.23	99.97	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	2.45	4.26	11.47	19.26	90.00



Núm. de série : 392

Ref: 1.r111.m108.45A0000/5.00/1327/m25.12.5.10.1Fh.20.5.10.Bh/Q-0.0.0.0/300.0.15.g60.2.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V.5.12/635

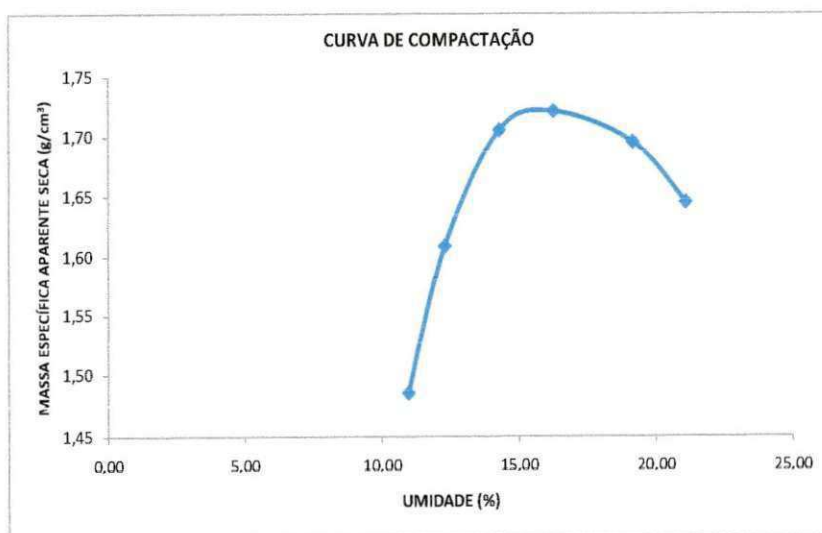


## ANEXO B

### ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO

RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG		REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAC/MESTRADO/GEOTÉCNICA				MISTURA: SOLO	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			MOLDE N°	13	$\delta_s$ máx = 1,73
CÁPSULA N°	C-01	C-02	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2103,85	$h_{at}$ = 15,90
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	95,17	79,26			GOLPES/CAMADAS 26
PESO BRUTO SECO (g)	88,68	73,94	PESO DO MOLDE (g)	4349	
TARA DA CÁPSULA (g)	14,9	13,13			DNIT
PESO DA ÁGUA (g)	6,49	5,32	ENERGIA	INTERMEDIÁRIA	
PESO DO SOLO SECO (g)	73,78	60,81			UMIDADE (%)
UMIDADE (%)	8,80	8,75	UMIDADE MÉDIA (%)	8,77	

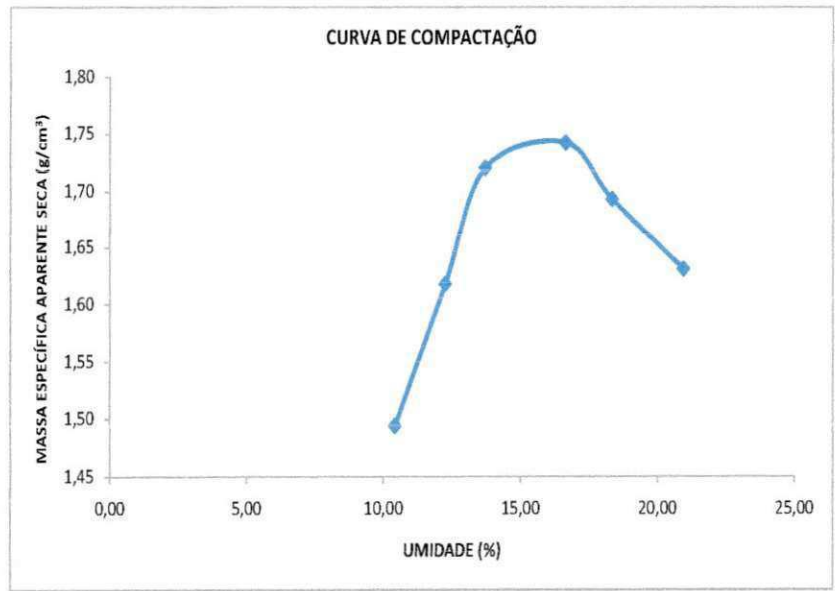
PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO DO SOLO ÚMIDO g	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO g/cm <sup>3</sup>	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO g/cm <sup>3</sup>
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO BRUTO SECO g	PESO DA CÁPSULA g	PESO DA ÁGUA g	PESO DO SOLO SECO g	UMIDADE %	UMIDADE MÉDIA %	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	7815	3466	1,65	C-03	78,28	71,89	13,46	6,39	58,43	10,94	10,96	1,48
				C-04	89,17	81,63	13,00	7,54	68,63	10,99		
2	8150	3801	1,81	C-05	80,84	73,32	13,45	7,52	59,87	12,56	12,29	1,61
				C-06	91,70	83,26	13,00	8,44	70,26	12,01		
3	8450	4101	1,95	C-07	68,71	62,00	14,50	6,71	47,50	14,13	14,27	1,71
				C-08	77,00	69,05	13,91	7,95	55,14	14,42		
4	8560	4211	2,00	C-09	72,40	64,30	14,41	8,10	49,89	16,24	16,26	1,72
				C-10	71,20	63,13	13,55	8,07	49,58	16,28		
5	8600	4251	2,02	C-11	124,20	106,55	13,56	17,65	92,99	18,98	19,15	1,70
				C-12	95,60	82,23	13,04	13,37	69,19	19,32		
6	8540	4191	1,99	C-13	128,68	108,68	13,55	20,00	95,13	21,02	21,09	1,65
				C-14	98,85	83,87	13,03	14,98	70,84	21,15		



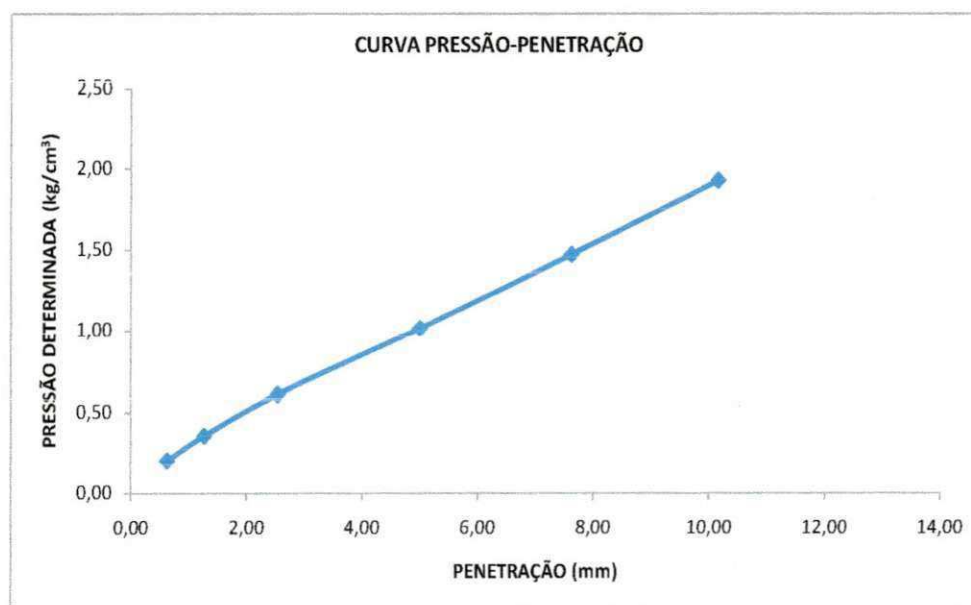
*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG		REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAEC/MESTRADO/GEOTÉCNICA				MISTURA: SOLO	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			MOLDE N°	13	$\delta_s \text{ máx (g/cm}^3\text{)} = 1,75$
CÁPSULA N°	C - 02	C - 03	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2103,85	$h_{ot}(\%) = 15,50$
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	89,91	77,74			PESO DO MOLDE (g)
PESO BRUTO SECO (g)	84,20	73,20	DNIT	ME - 162/94	
TARA DA CÁPSULA (g)	13,19	13,51			ENERGIA
PESO DA ÁGUA (g)	5,71	4,54	UMIDADE (%)	7,82	
PESO DO SOLO SECO (g)	71,01	59,69			
UMIDADE MÉDIA (%)					

PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO DO SOLO ÚMIDO g	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO g/cm <sup>3</sup>	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO g/cm <sup>3</sup>
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO BRUTO SECO g	PESO DA CÁPSULA g	PESO DA ÁGUA g	PESO DO SOLO SECO g	UMIDADE % %	UMIDADE MÉDIA %	
1	7820	3471	1,65	C - 05	85,58	78,90	14,32	6,68	64,58	10,34	10,42	1,49
				C - 06	78,10	72,00	13,86	6,10	58,14	10,49		
2	8170	3821	1,82	C - 10	78,81	71,70	13,56	7,11	58,14	12,23	12,25	1,62
				C - 11	74,79	68,10	13,55	6,69	54,55	12,26		
3	8465	4116	1,96	C - 08	74,55	67,20	13,90	7,35	53,30	13,79	13,70	1,72
				C - 09	70,64	63,90	14,41	6,74	49,49	13,62		
4	8625	4276	2,03	C - 19	97,01	85,10	14,24	11,91	70,86	16,81	16,65	1,74
				C - 20	88,28	77,70	13,52	10,58	64,18	16,48		
5	8565	4216	2,00	C - 16	95,70	83,30	12,98	12,40	70,32	17,63	18,34	1,69
				C - 17	94,90	81,90	13,61	13,00	68,29	19,04		
6	8500	4151	1,97	C - 12	112,55	95,60	13,05	16,95	82,55	20,53	20,95	1,63
				C - 14	110,84	93,90	14,62	16,94	79,28	21,37		



MISTURA: SOLO + 2,5% RESÍDUO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 12	C - 13	
Umidade ótima ho (%)	15,5		Peso bruto úmido (g)	60,99	63,71	
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		Peso bruto seco (g)	54,20	56,75	
ho - hi (%)	7,68		Tara da cápsula (g)	13,94	14,43	
Cilíndro N°	9		Peso da água (g)	6,79	6,96	
Altura H (mm)	112		Peso do solo seco (g)	40,26	42,32	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2031,3		Teor de umidade (%)	16,87	16,45	
Tara T (g)	8125		Teor médio de umidade (%)	16,66		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	12240		
Peso do solo a utilizar (g)	5565		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4115		
Água a juntar (g)	427		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	2,03		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no Extensômetro (Kg)	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015 CBR (%)
Tempo	pol	mm		Determinada	Padrão	
30s	0,025	0,63	2	0,20		
1 min.	0,05	1,27	3,5	0,36		
2 min.	0,1	2,54	6	0,61	70	0,9
4 min.	0,2	5,00	10	1,02	105	1,0
6 min.	0,3	7,62	14,5	1,47	133	
8 min.	0,4	10,16	19	1,93	161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no Extensômetro (Kg)	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora					
8/9/2009	15:00	0,20	2,49	2,22		
11/9/2009	15:00	2,69				



MISTURA:						
SOLO + 7,5% DE RESÍDUO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )		1,75	Cápsula N°		C - 7	C - 8
Umidade ótima ho (%)		15,5	Peso bruto úmido (g)		68,76	78,78
Umidade higroscópica hi (%)		7,82	Peso bruto seco (g)		61,47	69,85
ho - hi (%)		7,68	Tara da cápsula (g)		14,48	13,91
Cilíndro N°		3	Peso da água (g)		7,29	8,93
Altura H (mm)		117	Peso do solo seco (g)		46,99	55,94
Volume V (cm <sup>3</sup> )		2066,51	Teor de umidade (%)		15,51	15,96
Tara T (g)		7900	Teor médio de umidade (%)		15,74	
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)		6000	Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)		11980	
Peso do solo a utilizar (g)		5565	Peso do corpo-de-prova úmido (g)		4080	
Água a juntar (g)		427	Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )		1,97	
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )		1,71	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no Extensômetro (Kg)	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015 CBR (%)
Tempo	pol	mm		Determinada	Padrão	
30s	0,025	0,63	1	0,10		
1 min.	0,05	1,27	2	0,20		
2 min.	0,1	2,54	4	0,41	70	0,58
4 min.	0,2	5,00	8	0,81	105	0,77
6 min.	0,3	7,62	12	1,22	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no Extensômetro (Kg)	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora					
27/8/2009	10:30	4,15	1,13	0,97		
31/8/2009	10:30	5,28				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	0,10
1,27	0,20
2,54	0,41
5,00	0,81

MISTURA:						
SOLO + 7,5% RESÍDUO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 01	C - 02	
Umidade ótima ho (%)	15,5		Peso bruto úmido (g)	75,71	69,8	
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		Peso bruto seco (g)	67,02	61,79	
ho - hi (%)	7,68		Tara da cápsula (g)	14,89	13,18	
Cilindro N°	12		Peso da água (g)	8,69	8,01	
Altura H (mm)	113		Peso do solo seco (g)	52,13	48,61	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2049,44		Teor de umidade (%)	16,67	16,48	
Tara T (g)	8030		Teor médio de umidade (%)	16,57		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	12155		
Peso do solo a utilizar (g)	5565		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4125		
Água a juntar (g)	427		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	2,01		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,73		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	1,0	0,10		
1 min.	0,05	1,27	1,5	0,15		
2 min.	0,1	2,54	2,5	0,25	70	0,36
4 min.	0,2	5,00	6,5	0,66	105	0,63
6 min.	0,3	7,62	10,0	1,02	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no Extensômetro (Kg)	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora					
8/9/2009	15:00	0,20	2,48	2,19		
11/9/2009	15:00	2,68				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	0,10
1,27	0,15
2,54	0,25
6,66	0,66
10,16	1,02

MISTURA:						
SOLO + 12,5% DE RESÍDUO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 09	C - 10	
Umidade ótima ho (%)	15,5		Peso bruto úmido (g)	89,75	85,19	
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		Peso bruto seco (g)	80,15	76,06	
ho - hi (%)	7,68		Tara da cápsula (g)	14,33	13,86	
Cilindro N°	4		Peso da água (g)	9,6	9,13	
Altura H (mm)	113		Peso do solo seco (g)	65,82	62,2	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2022,56		Teor de umidade (%)	14,59	14,68	
Tara T (g)	7980		Teor médio de umidade (%)	14,63		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
					12065	
Peso do solo a utilizar (g)			5565		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
					4085	
Água a juntar (g)			427		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					2,02	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,76	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	1	0,10		
1 min.	0,05	1,27	2	0,20		
2 min.	0,1	2,54	4	0,41	70	0,58
4 min.	0,2	5,00	8	0,81	105	0,77
6 min.	0,3	7,62	13	1,32	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
27/8/2009	10:30	7,32		1,61		1,42
31/8/2009	10:30	8,93				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	0,10
1,27	0,20
2,54	0,41
5,00	0,81
7,62	1,32

MISTURA:						
SOLO + 12,5% RESÍDUO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 09	C - 10	
Umidade ótima ho (%)	15,5		Peso bruto úmido (g)	81,43	79,02	
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		Peso bruto seco (g)	74,30	72,41	
ho - hi (%)	7,68		Tara da cápsula (g)	14,45	13,54	
Cilíndro N°	10		Peso da água (g)	7,13	6,61	
Altura H (mm)	113		Peso do solo seco (g)	59,85	58,87	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2085,71		Teor de umidade (%)	11,91	11,23	
Tara T (g)	8305		Teor médio de umidade (%)	11,57		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
Peso do solo a utilizar (g)			5565		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
Água a juntar (g)			427		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					2,02	
					1,81	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio =
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	0,1015
30s	0,025	0,63	1,50	0,15		
1 min.	0,05	1,27	2,00	0,20		
2 min.	0,1	2,54	3,00	0,30	70	0,44
4 min.	0,2	5,00	6,00	0,61	105	0,58
6 min.	0,3	7,62	9,50	0,96	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
22/9/2009	11:00	0,20		4,08		3,61
25/9/2009	11:00	4,28				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>2</sup> )
0,63	0,15
1,27	0,20
2,54	0,30
6,00	0,61
7,62	0,96

MISTURA:						
SOLO + 17,5% DE RESÍDUO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )		1,75	Cápsula N°		C -11	C -12
Umidade ótima ho (%)		15,5	Peso bruto úmido (g)		81,78	89,57
Umidade higroscópica hi (%)		7,82	Peso bruto seco (g)		73,3	80,32
ho - hi (%)		7,68	Tara da cápsula (g)		13,55	13,03
Cilindro N°		2	Peso da água (g)		8,48	9,25
Altura H (mm)		114	Peso do solo seco (g)		59,75	67,29
Volume V (cm <sup>3</sup> )		2067,58	Teor de umidade (%)		14,19	13,75
Tara T (g)		8070	Teor médio de umidade (%)		13,97	
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)		6000	Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)		12195	
Peso do solo a utilizar (g)		5565	Peso do corpo-de-prova úmido (g)		4125	
Água a juntar (g)		427	Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )		2,00	
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )		1,75	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no Extensômetro (Kg)	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015 CBR (%)
Tempo	pol	mm		Determinada	Padrão	
30s	0,025	0,63	2	0,20		
1 min.	0,05	1,27	4	0,41		
2 min.	0,1	2,54	6	0,61	70	0,87
4 min.	0,2	5,00	11	1,12	105	1,06
6 min.	0,3	7,62	17	1,73	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no Extensômetro (Kg)	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora					
27/8/2009	10:30	0,20	1,97	1,73		
31/8/2009	10:30	2,17				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	0,20
1,27	0,41
2,54	0,61
5,00	1,12
7,62	1,73



MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 17	C - 18	
Umidade ótima ho (%)	15,5		Peso bruto úmido (g)	80,36	78,1	
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		Peso bruto seco (g)	71,31	69,29	
ho - hi (%)	7,68		Tara da cápsula (g)	13,57	13,39	
Cilíndro N°	12		Peso da água (g)	9,05	8,81	
Altura H (mm)	113		Peso do solo seco (g)	57,74	55,9	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2049,44		Teor de umidade (%)	15,67	15,76	
Tara T (g)	8030		Teor médio de umidade (%)	15,72		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
					12115	
Peso do solo a utilizar (g)			5565		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
					4085	
Água a juntar (g)			427		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,99	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,72	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no Extensômetro (Kg)	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm		Determinada	Padrão	
30s	0,025	0,63	5	0,51		
1 min.	0,05	1,27	6	0,61		
2 min.	0,1	2,54	9	0,91	70	1,31
4 min.	0,2	5,00	14	1,42	105	1,35
6 min.	0,3	7,62	22	2,23	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no Extensômetro (Kg)	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora					
28/8/2009	10:30	0,20	2,55	2,26		
1/9/2009	10:30	2,75				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	0,51
1,27	0,61
2,54	0,91
5,00	1,42
7,62	2,23

MISTURA: SOLO + 22,5% DE RESÍDUO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 13	C - 14	
Umidade ótima ho (%)	15,5		Peso bruto úmido (g)	83,31	84,80	
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		Peso bruto seco (g)	76,18	77,17	
ho - hi (%)	7,68		Tara da cápsula (g)	14,45	14,72	
Cilindro N°	11		Peso da água (g)	7,13	7,63	
Altura H (mm)	120		Peso do solo seco (g)	61,73	62,45	
Volume S (cm <sup>3</sup> )	2263,15		Teor de umidade (%)	11,55	12,22	
Tara T (g)	7805		Teor médio de umidade (%)	11,88		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
Peso do solo a utilizar (g)			5565		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
Água a juntar (g)			427		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,97	
					1,76	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio =
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	3	0,30		
1 min.	0,05	1,27	4	0,41		
2 min.	0,1	2,54	6	0,61	70	0,87
4 min.	0,2	5,00	13	1,32	105	1,26
6 min.	0,3	7,62	20	2,03	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
27/8/2009	10:30	0,20		3,65		3,04
31/8/2009	10:30	3,85				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	0,30
1,27	0,41
2,54	0,61
5,00	1,32
7,62	2,03

MISTURA: SOLO + 22,5% RESÍDUO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 15	C - 16	
Umidade ótima ho (%)	15,5		Peso bruto úmido (g)	75,03	75,75	
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		Peso bruto seco (g)	66,23	67,12	
ho - hi (%)	7,68		Tara da cápsula (g)	13,38	12,98	
Cilindro N°	13		Peso da água (g)	8,8	8,63	
Altura H (mm)	116		Peso do solo seco (g)	52,85	54,14	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2103,85		Teor de umidade (%)	16,65	15,94	
Tara T (g)	7250		Teor médio de umidade (%)	16,30		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
					11450	
Peso do solo a utilizar (g)			5565		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
					4200	
Água a juntar (g)			427		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					2,00	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,72	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	4	0,41		
1 min.	0,05	1,27	6	0,61		
2 min.	0,1	2,54	7	0,71	70	1,02
4 min.	0,2	5,00	13	1,32	105	1,26
6 min.	0,3	7,62	22	2,23	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
28/8/2009	10:30	0,20		2,80		2,41
1/9/2009	10:30	3,00				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	0,41
1,27	0,61
2,54	0,71
5,00	1,32
7,62	2,23

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 4% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 07	C - 08	
Umidade ótima ho (%)	15,4		Peso bruto úmido (g)	62,26	70,12	
Umidade higroscópica hi (%)	4,56		Peso bruto seco (g)	53,48	57,23	
ho - hi (%)	10,84		Tara da cápsula (g)	14,50	13,90	
Cilindro N°	10		Peso da água (g)	8,78	12,89	
Altura H (mm)	115		Peso do solo seco (g)	38,98	43,33	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2085,71		Teor de umidade (%)	22,52	29,75	
Tara T (g)	8305		Teor médio de umidade (%)	26,14		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
Peso do solo a utilizar (g)			5738,33		12440	
Água a juntar (g)			622,04		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
					4135	
					Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,98	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,57	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no Extensômetro (Kg)	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm		Determinada	Padrão	
30s	0,025	0,63	85,00	8,63		
1 min.	0,05	1,27	176,00	17,86		
2 min.	0,1	2,54	264,00	26,80	70	38,28
4 min.	0,2	5,00	287,00	29,13	105	27,74
6 min.	0,3	7,62	310,00	31,47	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no Extensômetro (Kg)	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora					
28/9/2009	11:00	0,20	0,4	0,35		
1/10/2009	11:00	0,60				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	8,63
1,27	17,86
2,54	26,80
5,00	29,13
7,62	31,47

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 4% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 01	C - 02	
Umidade ótima ho (%)	15,4		Peso bruto úmido (g)	71,80	66,36	
Umidade higroscópica hi (%)	4,56		Peso bruto seco (g)	65,34	60,48	
ho - hi (%)	10,84		Tara da cápsula (g)	14,90	13,20	
Cilindro N°	6		Peso da água (g)	6,46	5,88	
Altura H (mm)	114		Peso do solo seco (g)	50,44	47,28	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2067,58		Teor de umidade (%)	12,81	12,44	
Tara T (g)	7845		Teor médio de umidade (%)	12,62		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
Peso do solo a utilizar (g)			5738,33		11970	
Água a juntar (g)			622,04		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
					4125	
					Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					2,00	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,77	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	100,00	10,15		
1 min.	0,05	1,27	170,00	17,26		
2 min.	0,1	2,54	255,00	25,88	70	36,98
4 min.	0,2	5,00	285,00	28,93	105	27,55
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
26/10/2009	11:00	0,20	0,29	0,25		
29/10/2009	11:00	0,49				

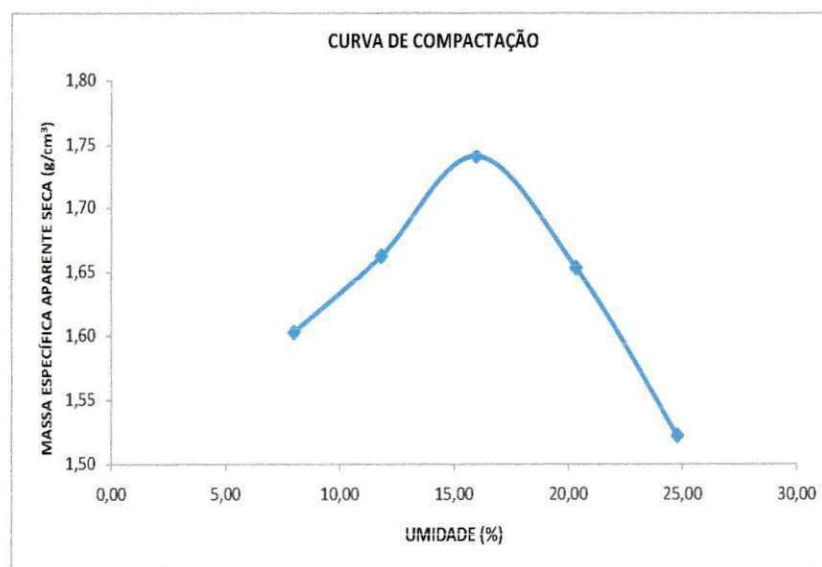
**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>2</sup> )
0,63	10,15
1,27	17,26
2,54	25,88
5,00	28,93

*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG		REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAEC/MESTRADO/GEOTÉCNICA				MISTURA: SOLO + 17,5 RESÍDUO + 4% CAL	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			MOLDE N°	13	$\delta_s \text{ máx (g/cm}^3) = 1,75$
CÁPSULA N°	C - 13	C - 14	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2103,85	$h_{ot} (\%) = 15,4$
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	84,08	90,33			GOLPES/CAMADAS 26
PESO BRUTO SECO (g)	81,05	87,02	PESO DO MOLDE (g)	4349	
TARA DA CÁPSULA (g)	14,45	14,57			DNIT
PESO DA ÁGUA (g)	3,03	3,31	ENERGIA	INTERMEDIÁRIA	
PESO DO SOLO SECO (g)	66,6	72,45			UMIDADE (%)
UMIDADE (%)	4,55	4,57			
UMIDADE MÉDIA (%)	4,56				

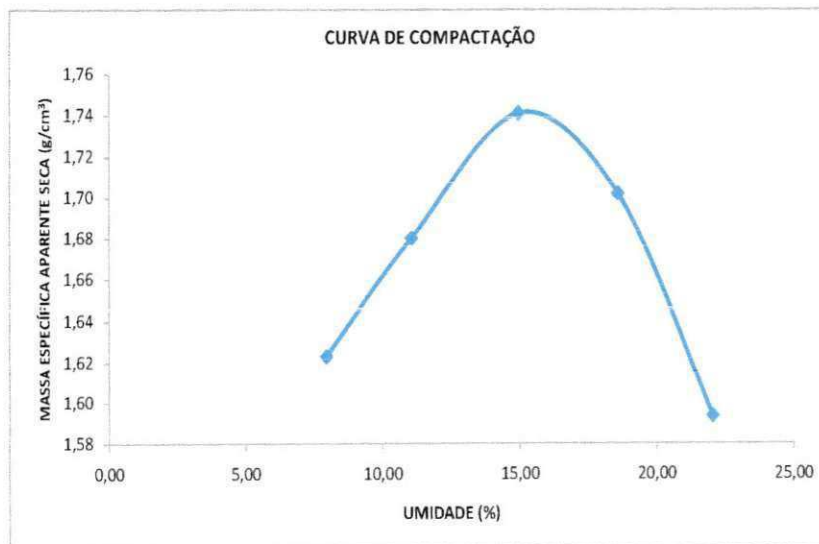
PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO DO SOLO ÚMIDO g	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO g/cm <sup>3</sup>	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO g/cm <sup>3</sup>
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO BRUTO SECO g	PESO DA CÁPSULA g	PESO DA ÁGUA g	PESO DO SOLO SECO g	UMIDADE %	UMIDADE MÉDIA %	
1	7990	3641	1,73	C - 17	73,87	69,44	13,60	4,43	55,84	7,93	7,99	1,60
				C - 18	74,74	70,17	13,39	4,57	56,78	8,05		
2	8260	3911	1,86	C - 19	73,33	67,06	14,28	6,27	52,78	11,88	11,81	1,66
				C - 20	82,80	75,52	13,52	7,28	62,00	11,74		
3	8595	4246	2,02	C - 27	70,36	62,56	14,01	7,80	48,55	16,07	15,97	1,74
				C - 28	65,40	58,30	13,56	7,10	44,74	15,87		
4	8535	4186	1,99	C - 31	61,70	53,64	14,32	8,06	39,32	20,50	20,33	1,65
				C - 32	60,69	52,72	13,18	7,97	39,54	20,16		
5	8345	3996	1,90	C - 35	66,75	56,38	14,01	10,37	42,37	24,47	24,77	1,52
				C - 36	61,86	52,02	12,77	9,84	39,25	25,07		
6												



*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG		REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAEC/MESTRADO/GEOTÉCNICA				MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 5,5% CAL	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			MOLDE N°	13	$\delta_s \text{ máx (g/cm}^3) = 1,74$
CÁPSULA N°	C - 09	C - 10			$h_{ot} (\%) = 14,95$
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	85,19	78,48	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2103,85	GOLPES/CAMADAS 26
PESO BRUTO SECO (g)	82,41	75,97			
TARA DA CÁPSULA (g)	14,45	13,58	PESO DO MOLDE (g)	4349	N° DE CAMADAS 05
PESO DA ÁGUA (g)	2,78	2,51	DNIT	ME - 162/94	
PESO DO SOLO SECO (g)	57,96	62,39	ENERGIA	INTERMEDIÁRIA	
UMIDADE (%)	4,09	4,02			
UMIDADE MÉDIA (%)	4,06				

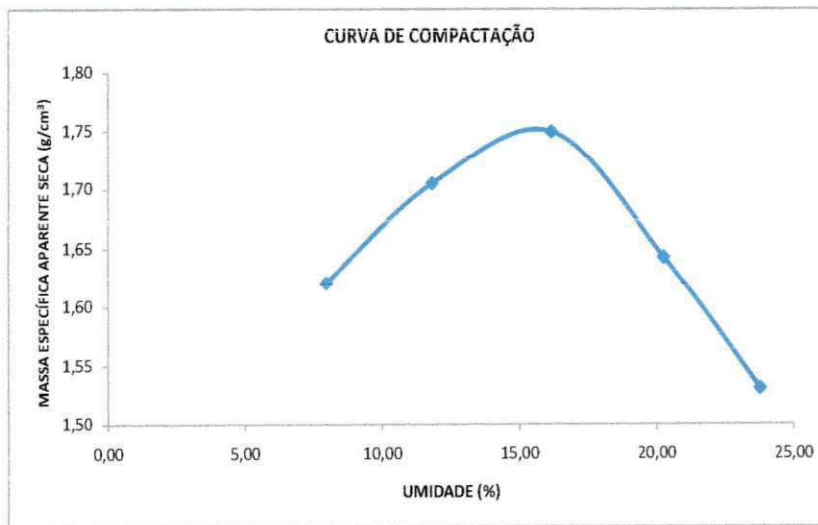
PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO DO SOLO ÚMIDO g	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO g/cm <sup>3</sup>	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO g/cm <sup>3</sup>
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO BRUTO SECO g	PESO DA CÁPSULA g	PESO DA ÁGUA g	PESO DO SOLO SECO g	UMIDADE %	UMIDADE MÉDIA %	
1	8035	3686	1,75	C - 21	81,05	76,19	14,05	4,86	62,14	7,821049	7,94	1,62
				C - 22	90,03	84,36	13,94	5,67	70,42	8,05169		
2	8275	3926	1,87	C - 23	85,00	77,86	12,83	7,14	65,03	10,97955	11,05	1,68
				C - 24	79,60	73,03	13,95	6,57	59,08	11,12051		
3	8560	4211	2,00	C - 25	69,18	62,08	14,20	7,10	47,88	14,82874	14,95	1,74
				C - 26	66,16	58,48	7,55	7,68	50,93	15,07952		
4	8595	4246	2,02	C - 29	62,74	54,99	13,38	7,75	41,61	18,62533	18,58	1,70
				C - 30	64,69	56,64	13,22	8,05	43,42	18,53984		
5	8440	4091	1,94	C - 33	66,71	57,00	13,77	9,71	43,23	22,46125	22,04	1,59
				C - 34	66,63	57,23	13,75	9,40	43,48	21,61914		
6												



*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG	REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):		
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAEC/MESTRADO/GEOTÉCNICA	MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CAL				
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA		MOLDE N°	13		
CÁPSULA N°	C - 01	C - 02	$\delta_s \text{ máx (g/cm}^3\text{)} = 1,75$ $h_{ot}(\%) = 16$		
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	84,80	83,25	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )		
PESO BRUTO SECO (g)	82,10	80,49		2103,85	
TARA DA CÁPSULA (g)	14,89	13,18	PESO DO MOLDE (g)	4349	
PESO DA ÁGUA (g)	2,70	2,76	DNIT	ME - 162/94	
PESO DO SOLO SECO (g)	67,21	67,31	ENERGIA	INTERMEDIÁRIA	
UMIDADE (%)	4,02	4,10			N° DE CAMADAS
UMIDADE MÉDIA (%)	4,06				

PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO DO SOLO ÚMIDO g	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO g/cm <sup>3</sup>	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO g/cm <sup>3</sup>
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO BRUTO SECO g	PESO DA CÁPSULA g	PESO DA ÁGUA g	PESO DO SOLO SECO g	UMIDADE %	UMIDADE MÉDIA %	
1	8030	3681	1,75	C - 03	87,59	82,11	13,51	5,48	68,6	7,99	7,95	1,62
				C - 04	81,71	76,67	12,99	5,04	63,68	7,91		
2	8360	4011	1,91	C - 05	88,35	80,59	14,33	7,76	66,26	11,71	11,82	1,71
				C - 06	79,86	72,83	13,85	7,03	58,98	11,92		
3	8625	4276	2,03	C - 07	71,94	64,00	14,45	7,94	49,55	16,02	16,17	1,75
				C - 08	74,85	66,30	13,90	8,55	52,40	16,32		
4	8505	4156	1,98	C - 11	60,06	52,14	13,53	7,92	38,61	20,51	20,26	1,64
				C - 12	59,71	51,93	13,04	7,78	38,89	20,01		
5	8335	3986	1,89	C - 15	67,69	57,25	13,38	10,44	43,87	23,80	23,77	1,53
				C - 16	71,46	60,24	12,97	11,22	47,27	23,74		
6												

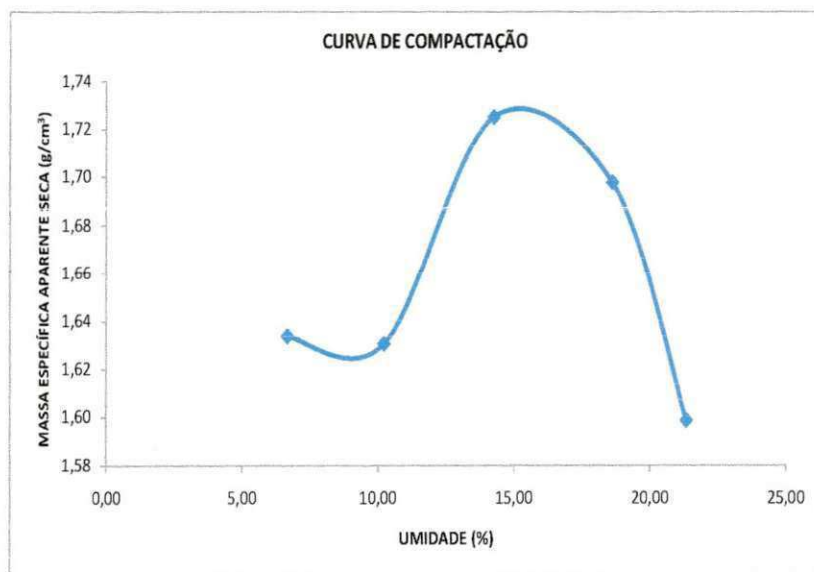




*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG		REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAEC/MESTRADO/GEOTÉCNICA				MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 8,5% CAL	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			MOLDE N°	13	$\delta_s$ máx (g/cm <sup>3</sup> )= 1,74
CÁPSULA N°	C - 23	C - 30			$h_{ot}$ (%) = 14,4
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	88,87	103,77	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2103,85	GOLPES/CAMADAS 26
PESO BRUTO SECO (g)	86,25	100,64			
TARA DA CÁPSULA (g)	12,80	13,14	PESO DO MOLDE (g)		N° DE CAMADAS 05
PESO DA ÁGUA (g)	2,62	3,13	DNIT		
PESO DO SOLO SECO (g)	73,45	87,5	ME - 162/94		
UMIDADE (%)	3,57	3,58	ENERGIA		
UMIDADE MÉDIA (%)		3,57		INTERMEDIÁRIA	

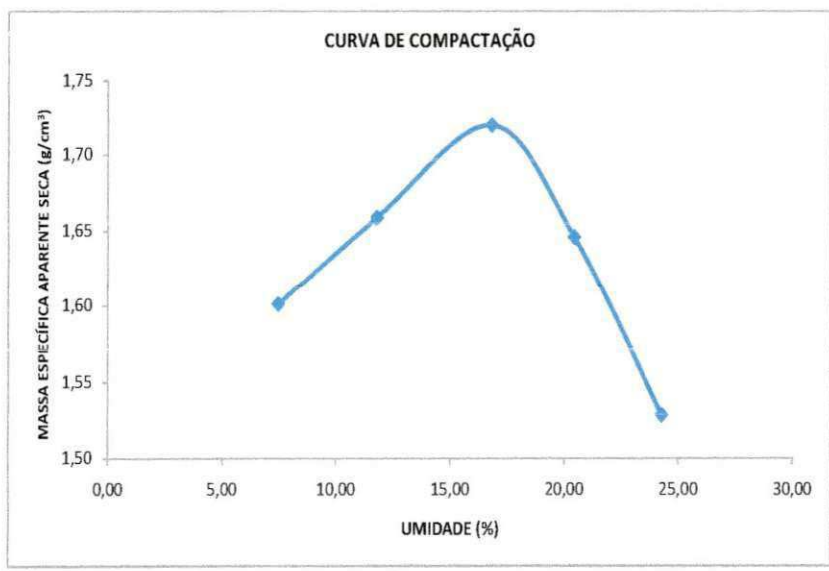
PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO	PESO DO SOLO ÚMIDO	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO	PESO BRUTO	PESO DA	PESO DA	PESO DO	UMIDADE	UMIDADE	
					ÚMIDO	SECO	CÁPSULA	ÁGUA	SOLO SECO	%	MÉDIA	
-	g	g	g/cm <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm <sup>3</sup>
1	8015	3666	1,74	C - 32	102,57	96,96	13,18	5,61	83,78	6,70	6,65	1,63
				C - 33	92,58	87,70	13,8	4,88	73,9	6,60		
2	8130	3781	1,80	C - 34	86,75	79,96	13,71	6,79	66,25	10,25	10,21	1,63
				C - 35	90,75	83,66	13,99	7,09	69,67	10,18		
3	8495	4146	1,97	C - 36	62,11	55,95	12,75	6,16	43,2	14,26	14,23	1,73
				C - 37	70,28	63,25	13,78	7,03	49,47	14,21		
4	8585	4236	2,01	C - 38	69,48	60,72	13,58	8,76	47,14	18,58	18,60	1,70
				C - 39	77,23	67,26	13,71	9,97	53,55	18,62		
5	8430	4081	1,94	C - 40	71,80	61,75	13,21	10,05	48,54	20,70	21,33	1,60
				C - 41	87,62	75,40	19,76	12,22	55,64	21,96		
6												



*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG	REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAEC/MESTRADO/GEOTÉCNICA	MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 10% CAL		
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA		MOLDE N°	13
CÁPSULA N°	C - 13	C - 14	$\delta_s \text{ máx (g/cm}^3) = 1,73$ $h_{\text{óct}}^{(0\%)} = 15,6$
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	100,84	110,29	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> ) 2103,85
PESO BRUTO SECO (g)	97,34	106,4	
TARA DA CÁPSULA (g)	14,45	14,58	PESO DO MOLDE (g) 4349
PESO DA ÁGUA (g)	3,50	3,89	DNIT ME - 162/94
PESO DO SOLO SECO (g)	82,89	91,82	ENERGIA INTERMEDIÁRIA
UMIDADE (%)	4,22	4,24	
UMIDADE MÉDIA (%)	4,23		
N° DE CAMADAS 05			

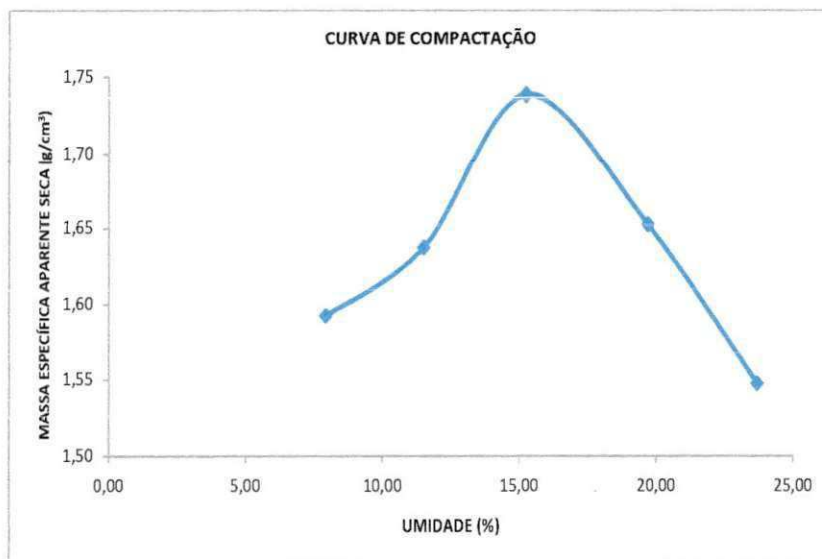
PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO DO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO (g/cm <sup>3</sup> )
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO DA CÁPSULA (g)	PESO DA ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO (g)	UMIDADE (%)	UMIDADE MÉDIA (%)	
-	g	g	g/cm <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm <sup>3</sup>
1	7970	3621	1,72	C - 09	95,66	90,07	14,40	5,59	75,67	7,39	7,47	1,60
				C - 10	91,17	85,72	13,56	5,45	72,16	7,55		
2	8250	3901	1,85	C - 21	87,67	79,90	13,98	7,77	65,92	11,79	11,78	1,66
				C - 22	94,08	85,63	13,86	8,45	71,77	11,77		
3	8575	4226	2,01	C - 24	66,75	59,20	13,91	7,55	45,29	16,67	16,80	1,72
				C - 25	72,09	63,71	14,23	8,38	49,48	16,94		
4	8520	4171	1,98	C - 26	58,24	49,55	7,55	8,69	42,00	20,69	20,43	1,65
				C - 27	63,28	55,01	14,00	8,27	41,01	20,17		
5	8345	3996	1,90	C - 28	72,68	61,29	13,54	11,39	47,75	23,85	24,27	1,53
				C - 29	73,86	61,87	13,29	11,99	48,58	24,68		
6												



*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG	REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAEC/MESTRADO/GEOTÉCNICA		MISTURA: SOLO + 17,5%RESÍDUO + 4% CIMENTO	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA		MOLDE N°	13
CÁPSULA N°	C - 01    C - 02		$\delta_s$ máx (g/cm <sup>3</sup> ) = 1,74 $h_{at}$ (%) = 15,2
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	81,90    68,71	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2103,85
PESO BRUTO SECO (g)	79,10    66,50		GOLPES/CAMADAS 26
TARA DA CÁPSULA (g)	14,89    13,19	PESO DO MOLDE (g)	4349
PESO DA ÁGUA (g)	2,80    2,21	DNIT	ME - 162/94
PESO DO SOLO SECO (g)	64,21    53,31		N° DE CAMADAS
UMIDADE (%)	4,36    4,15	ENERGIA	INTERMEDIÁRIA
UMIDADE MÉDIA (%)	4,25		05

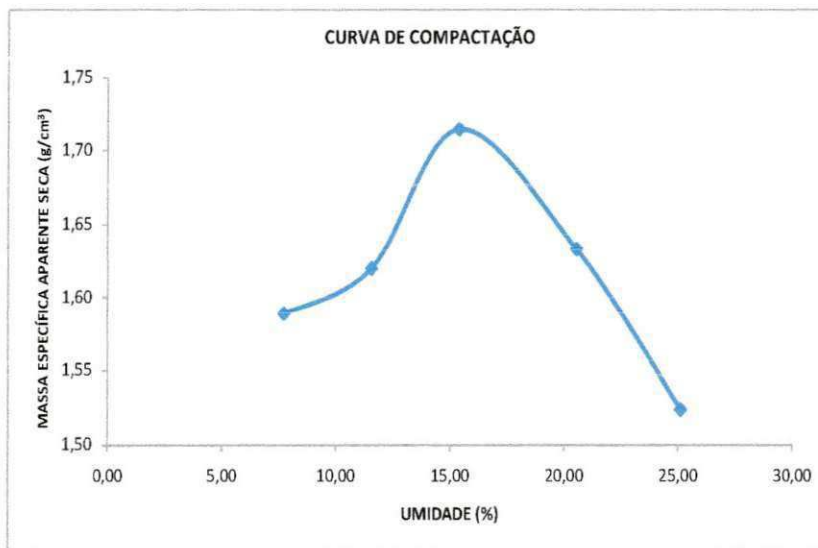
PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO DO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO (g/cm <sup>3</sup> )
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO DA CÁPSULA (g)	PESO DA ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO (g)	UMIDADE (%)	UMIDADE MÉDIA (%)	
-	g	g	g/cm <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm <sup>3</sup>
1	7965	3616	1,72	C - 03	82,28	77,23	13,50	5,05	63,73	7,92	7,92	1,59
				C - 04	78,14	73,36	13,01	4,78	60,35	7,92		
2	8190	3841	1,83	C - 05	76,25	69,92	14,35	6,33	55,57	11,39	11,50	1,64
				C - 06	79,27	72,47	13,86	6,80	58,61	11,60		
3	8565	4216	2,00	C - 07	66,79	59,86	14,50	6,93	45,36	15,28	15,24	1,74
				C - 08	73,94	66,02	13,90	7,92	52,12	15,20		
4	8510	4161	1,98	C - 09	61,15	53,44	14,40	7,71	39,04	19,75	19,68	1,65
				C - 10	53,43	46,89	13,53	6,54	33,36	19,60		
5	8375	4026	1,91	C - 11	67,88	57,44	13,53	10,44	43,91	23,78	23,67	1,55
				C - 12	61,70	52,42	13,04	9,28	39,38	23,57		
6												



*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG		REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAEC/MESTRADO/GEOTÉCNICA				MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 5,5% CIMENTO	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			MOLDE N°	13	$\delta_s \text{ máx (g/cm}^3\text{)} = 1,72$
CÁPSULA N°	C - 25	C - 25			$h_{ot} (\%) = 15,4$
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	86,60	74,77	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2103,85	GOLPES/CAMADAS 26
PESO BRUTO SECO (g)	83,44	71,89			
TARA DA CÁPSULA (g)	14,23	7,53	PESO DO MOLDE (g)	4349	N° DE CAMADAS 05
PESO DA ÁGUA (g)	3,16	2,88	DNIT	ME - 162/94	
PESO DO SOLO SECO (g)	69,21	64,36	ENERGIA	INTERMEDIÁRIA	
UMIDADE (%)	4,57	4,47			
UMIDADE MÉDIA (%)	4,52				

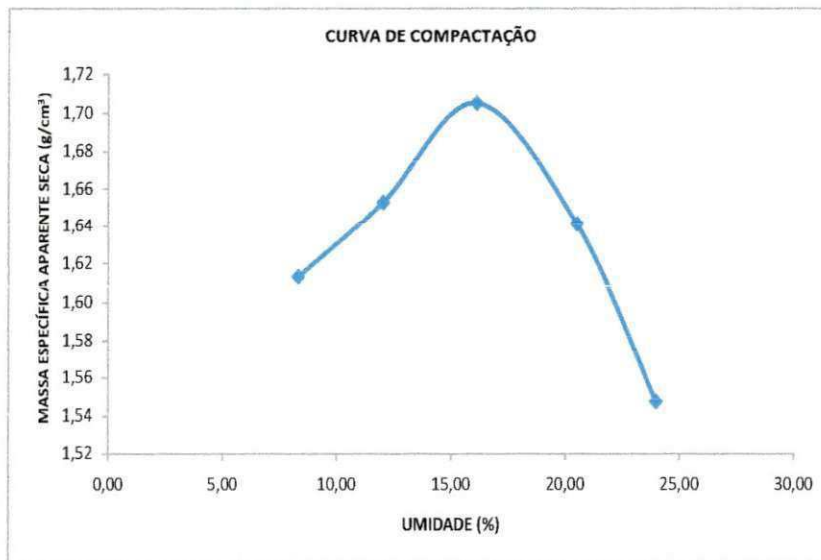
PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO DO SOLO ÚMIDO g	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO g/cm <sup>3</sup>	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO g/cm <sup>3</sup>
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO g	PESO BRUTO SECO g	PESO DA CÁPSULA g	PESO DA ÁGUA g	PESO DO SOLO SECO g	UMIDADE %	UMIDADE MÉDIA %	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	7950	3601	1,71	C - 31	67,23	63,52	14,30	3,71	49,22	7,54	7,73	1,59
				C - 32	77,38	72,67	13,17	4,71	59,50	7,92		
2	8150	3801	1,81	C - 33	68,66	63,02	13,75	5,64	49,27	11,45	11,55	1,62
				C - 34	75,69	69,22	13,71	6,47	55,51	11,66		
3	8510	4161	1,98	C - 35	56,79	51,11	14,01	5,68	37,10	15,31	15,38	1,71
				C - 36	60,19	53,84	12,74	6,35	41,10	15,45		
4	8490	4141	1,97	C - 37	60,47	52,47	13,79	8,00	38,68	20,68	20,53	1,63
				C - 38	51,59	45,16	13,61	6,43	31,55	20,38		
5	8360	4011	1,91	C - 39	72,94	61,22	13,73	11,72	47,49	24,68	25,11	1,52
				C - 40	75,16	62,55	13,16	12,61	49,39	25,53		
6												



*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:	LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG		REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAEC/MESTRADO/GEOTÉCNICA	MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CIMENTO			
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			MOLDE N°	13
CÁPSULA N°	C - 01	C - 02		$\delta_s \text{ máx (g/cm}^3) = 1,72$ $h_{ot} (\%) = 15,6$
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	87,48	75,34	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2103,85
PESO BRUTO SECO (g)	84,11	72,52		GOLPES/CAMADAS 26
TARA DA CÁPSULA (g)	14,88	13,22	PESO DO MOLDE (g)	4349
PESO DA ÁGUA (g)	3,37	2,82	DNIT	ME - 162/94
PESO DO SOLO SECO (g)	69,23	59,3		N° DE CAMADAS
UMIDADE (%)	4,87	4,76	ENERGIA	INTERMEDIÁRIA
UMIDADE MÉDIA (%)	4,81			05

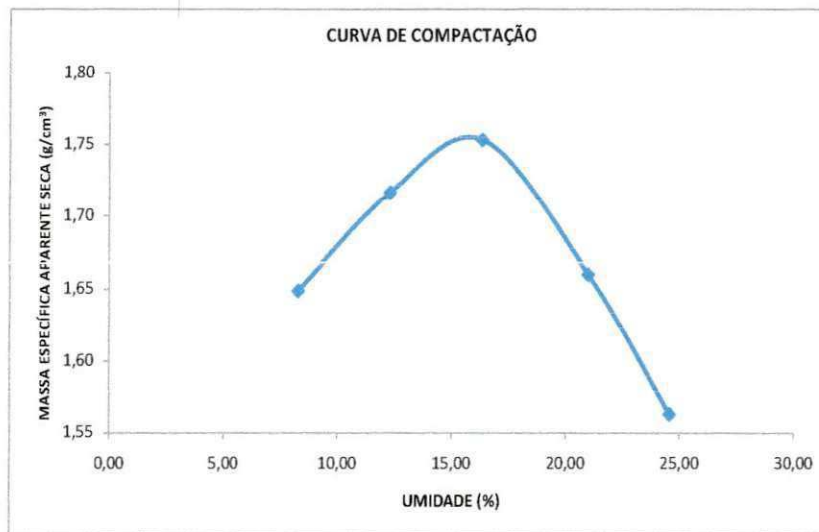
PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO DO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO (g/cm <sup>3</sup> )
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO DA CÁPSULA (g)	PESO DA ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO (g)	UMIDADE (%)	UMIDADE MÉDIA (%)	
1	8025	3676	1,75	C - 04	82,79	77,4	13,01	5,39	64,39	8,37	8,31	1,61
				C - 05	75,55	70,88	14,33	4,67	56,55	8,26		
2	8245	3896	1,85	C - 07	73,47	67,21	14,48	6,26	52,73	11,87	12,03	1,65
				C - 08	90,08	81,81	13,91	8,27	67,90	12,18		
3	8515	4166	1,98	C - 09	67,06	59,77	14,41	7,29	45,36	16,07	16,10	1,71
				C - 10	68,94	61,25	13,56	7,69	47,69	16,12		
4	8510	4161	1,98	C - 11	52,84	46,14	13,55	6,70	32,59	20,56	20,50	1,64
				C - 12	57,94	50,32	13,03	7,62	37,29	20,43		
5	8385	4036	1,92	C - 15	58,30	49,60	13,37	8,70	36,23	24,01	23,97	1,55
				C - 16	63,50	53,75	12,99	9,75	40,76	23,92		
6												



*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG		REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAE/C/MESTRADO/GEOTÉCNICA				MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 8,5% CIMENTO	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			MOLDE N°	13	$\delta_s$ máx (g/cm <sup>3</sup> ) = 1,76
CÁPSULA N°	C - 13	C - 14			$h_{6t}$ (%) = 15,2
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	84,88	88,39	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2103,85	GOLPES/CAMADAS 26
PESO BRUTO SECO (g)	81,73	85,09			
TARA DA CÁPSULA (g)	14,45	14,59	PESO DO MOLDE (g)	4349	N° DE CAMADAS 05
PESO DA ÁGUA (g)	3,15	3,3	DNIT	ME - 162/94	
PESO DO SOLO SECO (g)	67,28	70,5			
UMIDADE (%)	4,68	4,68	ENERGIA	INTERMEDIÁRIA	
UMIDADE MÉDIA (%)	4,68				

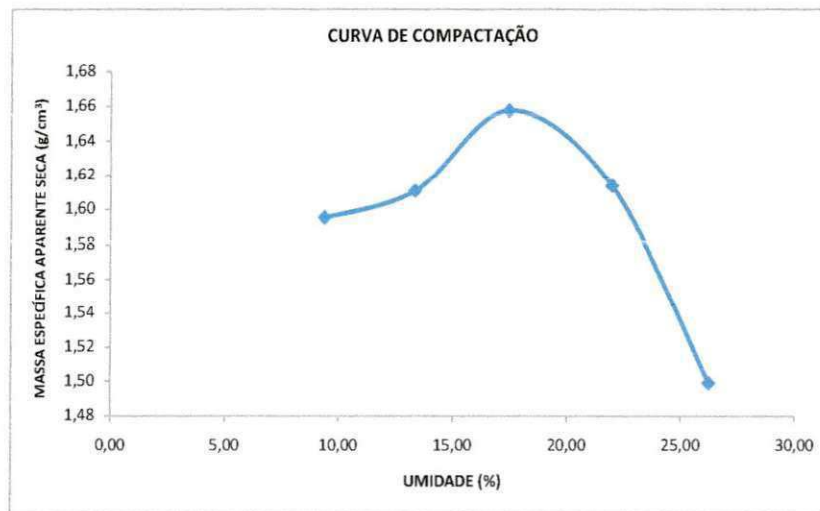
PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO DO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO (g/cm <sup>3</sup> )
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO DA CÁPSULA (g)	PESO DA ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO (g)	UMIDADE (%)	UMIDADE MÉDIA (%)	
-	g	g	g/cm <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	%	%	g/cm <sup>3</sup>
1	8105	3756	1,79	C - 17	75,72	71,04	13,57	4,68	57,47	8,14	8,28	1,65
				C - 18	82,73	77,35	13,42	5,38	63,93	8,42		
2	8405	4056	1,93	C - 19	78,02	71,05	14,27	6,97	56,78	12,28	12,30	1,72
				C - 20	69,56	63,41	13,53	6,15	49,88	12,33		
3	8640	4291	2,04	C - 23	61,83	54,98	12,80	6,85	42,18	16,24	16,33	1,75
				C - 24	65,3	58,05	13,88	7,25	44,17	16,41		
4	8575	4226	2,01	C - 27	55,11	48,00	14,02	7,11	33,98	20,92	20,99	1,66
				C - 28	61,34	53,03	13,55	8,31	39,48	21,05		
5	8445	4096	1,95	C - 29	55,84	47,44	13,27	8,40	34,17	24,58	24,56	1,56
				C - 30	64,72	54,56	13,17	10,16	41,39	24,55		
6												



*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

RODOVIA/TRECHO:		LOCAL DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO: LABORATÓRIO BLOCO CW - UFCG		REGISTRO: 01	PROFUND. (cm):
INTERESSADO: CLÁUDIO/UAEC/MESTRADO/GEOTÉCNICA				MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 10% CIMENTO	
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA			MOLDE N°	13	$\delta_s \text{ máx (g/cm}^3\text{)} = 1,67$
CÁPSULA N°	C - 01	C - 02			$h_{at} \text{ (%) = } 16,6$
PESO BRUTO ÚMIDO (g)	91,41	75,07	VOLUME DO MOLDE (cm <sup>3</sup> )		GOLPES/CAMADAS 26
PESO BRUTO SECO (g)	87,17	71,64	2103,85		
TARA DA CÁPSULA (g)	14,89	13,19	PESO DO MOLDE (g)		N° DE CAMADAS
PESO DA ÁGUA (g)	4,24	3,43	4349		
PESO DO SOLO SECO (g)	72,28	58,45	DNIT		05
UMIDADE (%)	5,87	5,87	ME - 162/94		
UMIDADE MÉDIA (%)	5,87		ENERGIA		INTERMEDIÁRIA

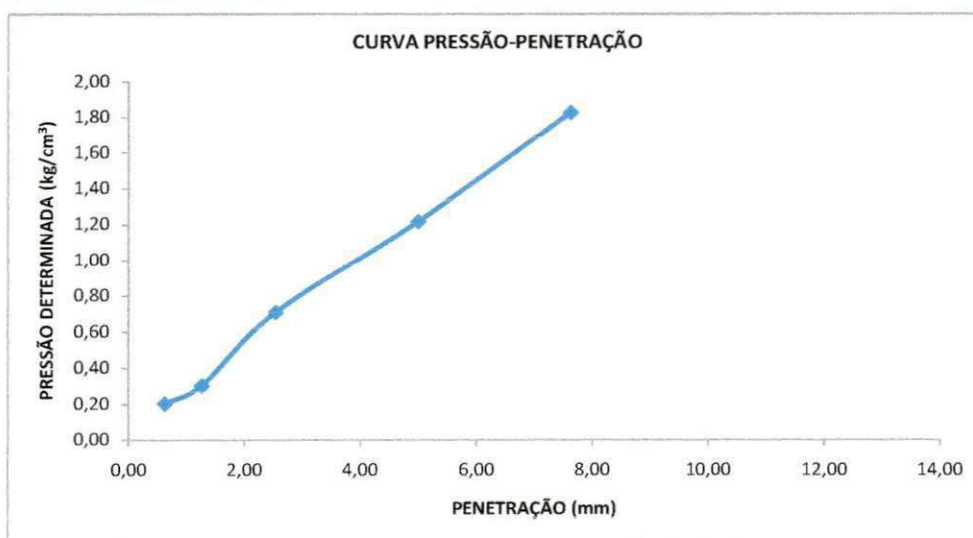
PONTO N°	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO DO SOLO ÚMIDO (g)	DENSIDADE DO SOLO ÚMIDO (g/cm <sup>3</sup> )	DETERMINAÇÃO DA UMIDADE								DENSIDADE DO SOLO SECO (g/cm <sup>3</sup> )	
				CÁPSULA N°	PESO BRUTO ÚMIDO (g)	PESO BRUTO SECO (g)	PESO DA CÁPSULA (g)	PESO DA ÁGUA (g)	PESO DO SOLO SECO (g)	UMIDADE (%)	UMIDADE MÉDIA (%)		
-	g	g	g/cm <sup>3</sup>	-	g	g	g	g	g	g	%	%	g/cm <sup>3</sup>
1	8020	3671	1,74	C - 03	69,88	65,12	13,49	4,76	51,63	9,22	9,37	1,60	
				C - 04	72,31	67,15	12,98	5,16	54,17	9,53			
2	8190	3841	1,83	C - 05	71,48	64,79	14,33	6,69	50,46	13,26	13,34	1,61	
				C - 06	69,54	62,95	13,86	6,59	49,09	13,42			
3	8445	4096	1,95	C - 07	62,78	55,65	14,47	7,13	41,18	17,31	17,44	1,66	
				C - 08	69,67	61,34	13,91	8,33	47,43	17,56			
4	8490	4141	1,97	C - 09	64,51	55,50	14,42	9,01	41,08	21,93	21,96	1,61	
				C - 10	62,36	53,56	13,55	8,80	40,01	21,99			
5	8330	3981	1,89	C - 11	61,63	51,50	13,55	10,13	37,95	26,69	26,23	1,50	
				C - 12	59,26	49,79	13,03	9,47	36,76	25,76			
6													



## ANEXO C

### ENSAIOS DE CBR E EXPANSÃO

MISTURA:						
SOLO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 03	C - 04	
Umidade ótima ho (%)	15,5		Peso bruto úmido (g)	71,05	72,15	
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		Peso bruto seco (g)	63,87	64,89	
ho - hi (%)	7,68		Tara da cápsula (g)	13,57	13,01	
Cilindro N°	8		Peso da água (g)	7,18	7,26	
Altura H (mm)	111		Peso do solo seco (g)	50,3	51,88	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	1986,76		Teor de umidade (%)	14,27	13,99	
Tara T (g)	7210		Teor médio de umidade (%)	14,13		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	11260		
Peso do solo a utilizar (g)	5565		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4050		
Água a juntar (g)	427		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	2,04		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,79		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	2	0,20		
1 min.	0,05	1,27	3	0,30		
2 min.	0,1	2,54	7	0,71	70	1,02
4 min.	0,2	5,00	12	1,22	105	1,16
6 min.	0,3	7,62	18	1,83	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
27/8/2009	10:30	0,20	2,04	1,84		
31/8/2009	11:30	2,24				





MISTURA: SOLO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C- 21	C- 22	
Umidade ótima ho (%)	15,5		Peso bruto úmido (g)	60,2	61,89	
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		Peso bruto seco (g)	55,22	56,98	
ho - hi (%)	7,68		Tara da cápsula (g)	14,00	13,86	
Cilíndro N°	7		Peso da água (g)	4,98	4,91	
Altura H (mm)	115		Peso do solo seco (g)	41,22	43,12	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2058,36		Teor de umidade (%)	12,08	11,39	
Tara T (g)	7545		Teor médio de umidade (%)	11,73		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)		6000	Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)		11670	
Peso do solo a utilizar (g)		5565	Peso do corpo-de-prova úmido (g)		4125	
Água a juntar (g)		427	Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )		2,00	
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )		1,79	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	2,00	0,20		
1 min.	0,05	1,27	2,50	0,25		
2 min.	0,1	2,54	4,00	0,41	70	0,58
4 min.	0,2	5,00	7,00	0,71	105	0,68
6 min.	0,3	7,62	9,50	0,96	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
22/9/2009	11:00	0,20		1,53		1,33
25/9/2009	11:00	1,73				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	0,20
1,27	0,25
2,54	0,41
5,00	0,71
7,62	0,96

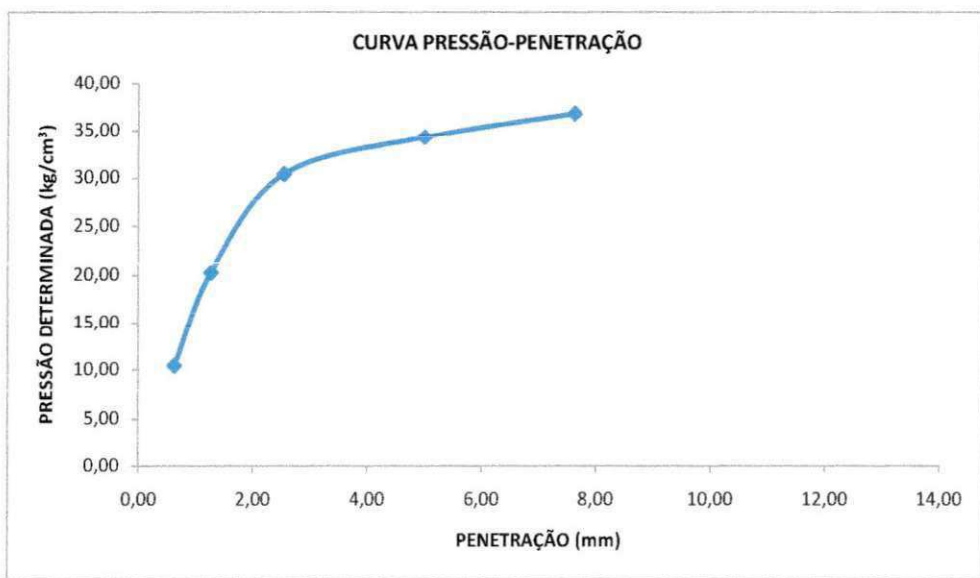
MISTURA:						
SOLO + 2,5% DE RESÍDUO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 5	C - 6	
Umidade ótima ho (%)	15,5		Peso bruto úmido (g)	67,85	69,74	
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		Peso bruto seco (g)	60,4	62,19	
ho - hi (%)	7,68		Tara da cápsula (g)	14,44	13,86	
Cilindro N°	9		Peso da água (g)	7,45	7,55	
Altura H (mm)	112		Peso do solo seco (g)	45,96	48,33	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2031,30		Teor de umidade (%)	16,21	15,62	
Tara T (g)	8125		Teor médio de umidade (%)	15,92		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
Peso do solo a utilizar (g)			5565		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
Água a juntar (g)			427		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					2,05	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,77	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio =
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	5	0,51		
1 min.	0,05	1,27	7	0,71		
2 min.	0,1	2,54	11	1,12	70	1,60
4 min.	0,2	5,00	16	1,62	105	1,55
6 min.	0,3	7,62	21	2,13	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
27/8/2009	10:30	0,20		1,25		1,12
31/8/2009	10:30	1,45				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	0,51
1,27	0,71
2,54	1,12
5,00	1,62
7,62	2,13

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 5,5% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		Cápsula N°	C - 05	C - 06	
Umidade ótima ho (%)	14,95		Peso bruto úmido (g)	60,23	65,13	
Umidade higroscópica hi (%)	4,06		Peso bruto seco (g)	48,20	51,36	
ho - hi (%)	10,89		Tara da cápsula (g)	14,34	13,84	
Cilindro N°	6		Peso da água (g)	12,03	13,77	
Altura H (mm)	114		Peso do solo seco (g)	33,86	37,52	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2067,57		Teor de umidade (%)	35,53	36,70	
Tara T (g)	7845		Teor médio de umidade (%)	36,11		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
Peso do solo a utilizar (g)			5765,90		11905	
Água a juntar (g)			627,91		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
					4060	
					Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,96	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,44	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	103,00	10,45		
1 min.	0,05	1,27	200,00	20,30		
2 min.	0,1	2,54	300,00	30,45	70	43,50
4 min.	0,2	5,00	338,00	34,31	105	32,67
6 min.	0,3	7,62	363,00	36,84	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
28/9/2009	11:00	0,20		0,30		0,26
1/10/2009	11:00	0,50				



MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 5,5% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		Cápsula N°	C - 17	C - 18	
Umidade ótima ho (%)	14,95		Peso bruto úmido (g)	61,85	55,74	
Umidade higroscópica hi (%)	4,06		Peso bruto seco (g)	53,46	48,27	
ho - hi (%)	10,89		Tara da cápsula (g)	13,55	13,40	
Cilindro N°	4		Peso da água (g)	8,39	7,47	
Altura H (mm)	113		Peso do solo seco (g)	39,91	34,87	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2022,56		Teor de umidade (%)	21,02	21,42	
Tara T (g)	7980		Teor médio de umidade (%)	21,22		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	12050		
Peso do solo a utilizar (g)	5765,90		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4070		
Água a juntar (g)	627,91		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	2,01		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,66		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	95,00	9,64		
1 min.	0,05	1,27	185,00	18,78		
2 min.	0,1	2,54	290,00	29,44	70	42,05
4 min.	0,2	5,00			105	0
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
29/9/2009	11:00	0,20		0,22		0,19
2/10/2009	11:00	0,42				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	9,64
1,27	18,78
2,54	29,44

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )		1,75	Cápsula N°	C - 03	C - 04	
Umidade ótima ho (%)		15,00	Peso bruto úmido (g)	54,01	57,93	
Umidade higroscópica hi (%)		4,06	Peso bruto seco (g)	47,85	51,25	
ho - hi (%)		10,94	Tara da cápsula (g)	13,50	12,98	
Cilíndro N°		11	Peso da água (g)	6,16	6,68	
Altura H (mm)		120	Peso do solo seco (g)	34,35	38,27	
Volume V (cm <sup>3</sup> )		2263,15	Teor de umidade (%)	17,93	17,45	
Tara T (g)		7805	Teor médio de umidade (%)	17,69		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)		6000	Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)		12065	
Peso do solo a utilizar (g)		5765,90	Peso do corpo-de-prova úmido (g)		4260	
Água a juntar (g)		630,79	Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )		1,88	
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )		1,60	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	80,00	8,12		
1 min.	0,05	1,27	185,00	18,78		
2 min.	0,1	2,54	273,00	27,71	70	39,59
4 min.	0,2	5,00			105	0
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
28/9/2009	11:00	0,20		0,45		0,38
1/10/2009	11:00	0,65				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>2</sup> )
0,63	8,12
1,27	18,78
2,54	27,71

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 03	C - 04	
Umidade ótima ho (%)	15,00		Peso bruto úmido (g)	59,91	65,95	
Umidade higroscópica hi (%)	4,06		Peso bruto seco (g)	54,69	59,94	
ho - hi (%)	10,94		Tara da cápsula (g)	13,52	13,00	
Cilindro N°	2		Peso da água (g)	5,22	6,01	
Altura H (mm)	114		Peso do solo seco (g)	41,17	46,94	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2067,58		Teor de umidade (%)	12,68	12,80	
Tara T (g)	8070		Teor médio de umidade (%)	12,74		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	12090		
Peso do solo a utilizar (g)	5765,90		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4020		
Água a juntar (g)	630,79		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	1,94		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,72		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	120,00	12,18		
1 min.	0,05	1,27	185,00	18,78		
2 min.	0,1	2,54	290,00	29,44	70	42,05
4 min.	0,2	5,00	410,00	41,62	105	39,63
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
26/10/2009	11:00	0,20		0,38		0,33
29/10/2009	11:00	0,58				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
1,27	18,78
2,54	29,44
5,00	41,62
12,70	182

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		Cápsula N°	C - 03	C - 04	
Umidade ótima ho (%)	15,00		Peso bruto úmido (g)	54,01	57,93	
Umidade higroscópica hi (%)	4,06		Peso bruto seco (g)	47,85	51,25	
ho - hi (%)	10,94		Tara da cápsula (g)	13,50	12,98	
Cilindro N°	11		Peso da água (g)	6,16	6,68	
Altura H (mm)	120		Peso do solo seco (g)	34,35	38,27	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2263,15		Teor de umidade (%)	17,93	17,45	
Tara T (g)	7805		Teor médio de umidade (%)	17,69		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	12065		
Peso do solo a utilizar (g)	5765,90		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4260		
Água a juntar (g)	630,79		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	1,88		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,60		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	80,00	8,12		
1 min.	0,05	1,27	185,00	18,78		
2 min.	0,1	2,54	273,00	27,71	70	39,59
4 min.	0,2	5,00			105	0
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
28/9/2009	11:00	0,20		0,45		0,38
1/10/2009	11:00	0,65				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>2</sup> )
0,63	8,12
1,27	18,78
2,54	27,71

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 8,5% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		Cápsula N°	C - 01	C - 02	
Umidade ótima ho (%)	14,4		Peso bruto úmido (g)	66,45	60,68	
Umidade higroscópica hi (%)	3,57		Peso bruto seco (g)	59,16	53,85	
ho - hi (%)	10,83		Tara da cápsula (g)	14,89	13,27	
Cilindro N°	2		Peso da água (g)	7,29	6,83	
Altura H (mm)	114		Peso do solo seco (g)	44,27	40,58	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2067,577		Teor de umidade (%)	16,47	16,83	
Tara T (g)	8070		Teor médio de umidade (%)	16,65		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	11990		
Peso do solo a utilizar (g)	5793,18		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	3920		
Água a juntar (g)	627,40		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	1,90		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,63		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no Extensômetro (Kg)	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015 CBR (%)
Tempo	pol	mm		Determinada	Padrão	
30s	0,025	0,63	115,00	11,67		
1 min.	0,05	1,27	183,00	18,57		
2 min.	0,1	2,54	278,00	28,22	70	40,31
4 min.	0,2	5,00	347,00	35,22	105	33,54
6 min.	0,3	7,62	407,00	41,31	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no Extensômetro (Kg)	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora					
28/9/2009	11:00	0,20	0,25	0,22		
1/10/2009	11:00	0,45				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	11,67
1,27	18,57
2,54	28,22
5,00	35,22
7,62	41,31



MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 8,5% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		Cápsula N°	C - 05	C - 06	
Umidade ótima ho (%)	14,4		Peso bruto úmido (g)	72,35	65,33	
Umidade higroscópica hi (%)	3,57		Peso bruto seco (g)	65,63	59,18	
ho - hi (%)	10,83		Tara da cápsula (g)	14,24	13,85	
Cilindro N°	3		Peso da água (g)	6,72	6,15	
Altura H (mm)	117		Peso do solo seco (g)	51,39	45,33	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2066,51		Teor de umidade (%)	13,08	13,57	
Tara T (g)	7900		Teor médio de umidade (%)	13,32		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
Peso do solo a utilizar (g)			5793,18		11835	
Água a juntar (g)			627,40		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
					3935	
					Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,90	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,68	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	125,00	12,69		
1 min.	0,05	1,27	215,00	21,82		
2 min.	0,1	2,54	325,00	32,99	70	47,13
4 min.	0,2	5,00	440,00	44,66	105	42,53
6 min.	0,3	7,62	495,00	50,24	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
26/10/2009	11:00	0,20		0,39		0,33
29/10/2009	11:00	0,59				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>2</sup> )
0,63	12,69
1,27	21,82
2,54	32,99
5,00	44,66
7,62	50,24

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 10% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,73		Cápsula N°	C - 25	C - 26	
Umidade ótima ho (%)	15,6		Peso bruto úmido (g)	72,18	63,84	
Umidade higroscópica hi (%)	4,23		Peso bruto seco (g)	64,23	56,10	
ho - hi (%)	11,37		Tara da cápsula (g)	14,33	7,57	
Cilindro N°	12		Peso da água (g)	7,95	7,74	
Altura H (mm)	113		Peso do solo seco (g)	49,90	48,53	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2049,44		Teor de umidade (%)	15,93	15,95	
Tara T (g)	8030		Teor médio de umidade (%)	15,94		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
Peso do solo a utilizar (g)			5756,50		11860	
Água a juntar (g)			654,51		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
					3830	
					Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,87	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,61	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	75	7,61		
1 min.	0,05	1,27	153	15,53		
2 min.	0,1	2,54	245	24,87	70	35,53
4 min.	0,2	5,00	345	35,02	105	33,35
6 min.	0,3	7,62	394	39,99	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
22/9/2009	11:00	0,20		0,2		0,18
25/9/2009	11:00	0,40				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	7,61
1,27	15,53
2,54	24,87
5,00	35,02
7,62	39,99

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 10% CAL						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )		1,73	Cápsula N°	C - 27	C - 28	
Umidade ótima ho (%)		15,6	Peso bruto úmido (g)	63,28	65,63	
Umidade higroscópica hi (%)		4,23	Peso bruto seco (g)	56,39	58,44	
ho - hi (%)		11,37	Tara da cápsula (g)	14,01	13,53	
Cilindro N°		12	Peso da água (g)	6,89	7,19	
Altura H (mm)		113	Peso do solo seco (g)	42,38	44,91	
Volume V (cm <sup>3</sup> )		2049,44	Teor de umidade (%)	16,26	16,01	
Tara T (g)		8030	Teor médio de umidade (%)	16,13		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)		6000	Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)		11865	
Peso do solo a utilizar (g)		5756,50	Peso do corpo-de-prova úmido (g)		3835	
Água a juntar (g)		654,51	Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )		1,87	
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )		1,61	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	70,00	7,105		
1 min.	0,05	1,27	140,00	14,21		
2 min.	0,1	2,54	200,00	20,3	70	29,00
4 min.	0,2	5,00	292,00	29,638	105	28,23
6 min.	0,3	7,62	330,00	33,495	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
29/9/2009	11:00	0,20		0,48		0,42
2/10/2009	11:00	0,68				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	7,105
1,27	14,21
2,54	20,3
5,00	29,638
7,62	33,495

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 4% CIMENTO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		Cápsula N°	C - 3	C - 4	
Umidade ótima ho (%)	15,2		Peso bruto úmido (g)	58,08	60,79	
Umidade higroscópica hi (%)	4,25		Peso bruto seco (g)	53,16	55,40	
ho - hi (%)	10,95		Tara da cápsula (g)	13,48	12,98	
Cilíndro N°	4		Peso da água (g)	4,92	5,39	
Altura H (mm)	113		Peso do solo seco (g)	39,68	42,42	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2022,56		Teor de umidade (%)	12,40	12,71	
Tara T (g)	7980		Teor médio de umidade (%)	12,55		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
Peso do solo a utilizar (g)			5755,40		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
Água a juntar (g)			630,22		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,99	
					1,77	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio =
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	0,1015
30s	0,025	0,63	50,00	5,08		CBR (%)
1 min.	0,05	1,27	105,00	10,66		
2 min.	0,1	2,54	177,00	17,97	70	25,67
4 min.	0,2	5,00	200,00	20,30	105	19,33
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
19/out	11:00	0,20		1,46		1,29
22/out	11:00	1,46				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>2</sup> )
0,63	5,08
1,27	10,66
2,54	17,97
5,00	20,30

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 4% CIMENTO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		Cápsula N°	C - 30	C - 31	
Umidade ótima ho (%)	15,2		Peso bruto úmido (g)	71,93	75,24	
Umidade higroscópica hi (%)	4,25		Peso bruto seco (g)	64,22	67,39	
ho - hi (%)	10,95		Tara da cápsula (g)	13,15	14,27	
Cilíndro N°	12		Peso da água (g)	7,71	7,85	
Altura H (mm)	113		Peso do solo seco (g)	51,07	53,12	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2049,44		Teor de umidade (%)	15,10	14,78	
Tara T (g)	8030		Teor médio de umidade (%)	14,94		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	12140		
Peso do solo a utilizar (g)	5755,40		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4110		
Água a juntar (g)	630,22		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	2,01		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015 CBR (%)
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	
30s	0,025	0,63	40,00	4,06		
1 min.	0,05	1,27	100,00	10,15		
2 min.	0,1	2,54	160,00	16,24	70	23,20
4 min.	0,2	5,00	180,00	18,27	105	17,40
6 min.	0,3	7,62	190,00	19,29	133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
19/out	15:00	0,20		1,74		1,54
22/out	15:00	1,94				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	4,06
1,27	10,15
2,54	16,24
5,00	18,27
7,62	19,29

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 5,5% CIMENTO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,72		Cápsula N°	C - 26	C - 27	
Umidade ótima ho (%)	15,4		Peso bruto úmido (g)	57,41	65,69	
Umidade higroscópica hi (%)	4,52		Peso bruto seco (g)	51,63	59,63	
ho - hi (%)	10,88		Tara da cápsula (g)	7,55	13,95	
Cilindro N°	7		Peso da água (g)	5,78	6,06	
Altura H (mm)	114		Peso do solo seco (g)	44,08	45,68	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2013,52		Teor de umidade (%)	13,11	13,27	
Tara T (g)	7175		Teor médio de umidade (%)	13,19		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)			6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	
Peso do solo a utilizar (g)			5740,53		11600	
Água a juntar (g)			624,57		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	
					4425	
					Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	
					2,20	
					Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	
					1,94	
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	80,00	8,12		
1 min.	0,05	1,27	155,00	15,73		
2 min.	0,1	2,54	265,00	26,90	70	38,43
4 min.	0,2	5,00	285,00	28,93	105	27,55
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no		Diferença (mm)		Expansão (%)
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
19/out	11:00	0,20		1,5		1,32
22/out	11:00	1,70				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>2</sup> )
0,63	8,12
1,27	15,73
2,54	26,90
5,00	28,93

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 5,5% CIMENTO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,72		Cápsula N°	C - 32	C - 33	
Umidade ótima ho (%)	15,4		Peso bruto úmido (g)	68,45	72,12	
Umidade higroscópica hi (%)	4,52		Peso bruto seco (g)	60,90	64,22	
ho - hi (%)	10,88		Tara da cápsula (g)	13,09	13,79	
Cilindro N°	8		Peso da água (g)	7,55	7,90	
Altura H (mm)	111		Peso do solo seco (g)	47,81	50,43	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	1786,76		Teor de umidade (%)	15,79	15,67	
Tara T (g)	7210		Teor médio de umidade (%)	15,73		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	11175		
Peso do solo a utilizar (g)	5740,53		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	3965		
Água a juntar (g)	624,57		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	2,22		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,92		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no Extensômetro (Kg)	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015 CBR (%)
Tempo	pol	mm		Determinada	Padrão	
30s	0,025	0,63	70,00	7,11		
1 min.	0,05	1,27	150,00	15,23		
2 min.	0,1	2,54	230,00	23,35	70	33,35
4 min.	0,2	5,00	235,00	23,85	105	22,72
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no Extensômetro (Kg)	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora					
19/out	11:00	0,20	1,8	1,62		
22/out	11:00	2,00				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>2</sup> )
0,63	7,11
1,27	15,23
2,54	23,35
5,00	23,85

MISTURA:																
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CIMENTO																
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM													
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,72		Cápsula N°	C - 1	C - 2											
Umidade ótima ho (%)	15,6		Peso bruto úmido (g)	75,29	67,52											
Umidade higroscópica hi (%)	4,81		Peso bruto seco (g)	68,01	61,04											
ho - hi (%)	10,79		Tara da cápsula (g)	14,89	13,16											
Cilindro N°	10		Peso da água (g)	7,28	6,48											
Altura H (mm)	115		Peso do solo seco (g)	53,12	47,88											
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2085,71		Teor de umidade (%)	13,70	13,53											
Tara T (g)	8305		Teor médio de umidade (%)	13,62												
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM													
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	12485												
Peso do solo a utilizar (g)	5724,64		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4180												
Água a juntar (g)	617,69		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	2,00												
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,76												
ENSAIO DE PENETRAÇÃO																
Penetração			Leitura no Extensômetro (Kg)	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015 CBR (%)										
Tempo	pol	mm		Determinada	Padrão											
30s	0,025	0,63	85	8,63												
1 min.	0,05	1,27	190	19,29												
2 min.	0,1	2,54	355	36,03	70	51,48										
4 min.	0,2	5,00	410	41,62	105	39,63										
6 min.	0,3	7,62			133											
8 min.	0,4	10,16			161											
10 min.	0,5	12,70			182											
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA																
Datas		Leitura no Extensômetro (Kg)	Diferença (mm)	Expansão (%)												
Dia	Hora															
19/out	11:00	0,20	1,57	1,37												
22/out	11:00	1,77														
CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO																
<table border="1"> <caption>Dados para o Gráfico de Curva Pressão-Penetração</caption> <thead> <tr> <th>Penetração (mm)</th> <th>Pressão Determinada (kg/cm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,63</td> <td>8,63</td> </tr> <tr> <td>1,27</td> <td>19,29</td> </tr> <tr> <td>2,54</td> <td>36,03</td> </tr> <tr> <td>4,10</td> <td>41,62</td> </tr> </tbody> </table>							Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )	0,63	8,63	1,27	19,29	2,54	36,03	4,10	41,62
Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )															
0,63	8,63															
1,27	19,29															
2,54	36,03															
4,10	41,62															



MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CIMENTO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,72		Cápsula N°	C - 7	C - 8	
Umidade ótima ho (%)	15,6		Peso bruto úmido (g)	72,22	69,4	
Umidade higroscópica hi (%)	4,81		Peso bruto seco (g)	64,57	62,06	
ho - hi (%)	10,79		Tara da cápsula (g)	14,50	13,90	
Cilindro N°	6		Peso da água (g)	7,65	7,34	
Altura H (mm)	114		Peso do solo seco (g)	50,07	48,16	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2067,58		Teor de umidade (%)	15,28	15,24	
Tara T (g)	7845		Teor médio de umidade (%)	15,26		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	11940		
Peso do solo a utilizar (g)	5724,64		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4095		
Água a juntar (g)	617,69		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	1,98		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,72		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	85,00	8,63		
1 min.	0,05	1,27	175,00	17,76		
2 min.	0,1	2,54	315,00	31,97	70	45,68
4 min.	0,2	5,00	325,00	32,99	105	31,42
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
20/out	11:00	0,20	1,9	1,67		
23/out	11:00	2,10				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	8,63
1,27	17,76
2,54	31,97
3,25	32,99

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 8,5% CIMENTO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,76		Cápsula N°	C - 5	C - 6	
Umidade ótima ho (%)	15,2		Peso bruto úmido (g)	70,59	68,92	
Umidade higroscópica hi (%)	4,68		Peso bruto seco (g)	63,56	62,07	
ho - hi (%)	10,52		Tara da cápsula (g)	14,30	13,85	
Cilindro N°	9		Peso da água (g)	7,03	6,85	
Altura H (mm)	112		Peso do solo seco (g)	49,26	48,22	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2031,3		Teor de umidade (%)	14,27	14,21	
Tara T (g)	8125		Teor médio de umidade (%)	14,24		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	12160		
Peso do solo a utilizar (g)	5731,75		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4035		
Água a juntar (g)	602,98		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	1,99		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)
30s	0,025	0,63	90,00	9,14		
1 min.	0,05	1,27	185,00	18,78		
2 min.	0,1	2,54	375,00	38,06	70	54,38
4 min.	0,2	5,00	450,00	45,68	105	43,50
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)				
19/out	11:00	0,20	2	1,79		
22/out	11:00	2,20				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )
0,63	9,14
1,27	18,78
2,54	38,06
5,00	45,68

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 8,5% CIMENTO																		
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM															
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,76		Cápsula N°	C - 09	C - 10													
Umidade ótima ho (%)	15,2		Peso bruto úmido (g)	73,40	68,17													
Umidade higroscópica hi (%)	4,68		Peso bruto seco (g)	65,77	61,15													
ho - hi (%)	10,52		Tara da cápsula (g)	14,44	13,55													
Cilindro N°	2		Peso da água (g)	7,63	7,02													
Altura H (mm)	114		Peso do solo seco (g)	51,33	47,60													
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2067,58		Teor de umidade (%)	14,86	14,75													
Tara T (g)	8070		Teor médio de umidade (%)	14,81														
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM															
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	12090														
Peso do solo a utilizar (g)	5731,75		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4020														
Água a juntar (g)	602,98		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	1,94														
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,69														
ENSAIO DE PENETRAÇÃO																		
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015												
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)												
30s	0,025	0,63	75,00	7,61														
1 min.	0,05	1,27	165,00	16,75														
2 min.	0,1	2,54	340,00	34,51	70	49,30												
4 min.	0,2	5,00	380,00	38,57	105	36,73												
6 min.	0,3	7,62			133													
8 min.	0,4	10,16			161													
10 min.	0,5	12,70			182													
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA																		
Datas		Leitura no	Diferença (mm)		Expansão (%)													
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)																
20/out	11:00	0,20	2,35		2,06													
23/out	11:00	2,55																
CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO																		
<table border="1"> <caption>Dados para a Curva Pressão-Penetração</caption> <thead> <tr> <th>Penetração (mm)</th> <th>Pressão Determinada (kg/cm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,63</td> <td>7,61</td> </tr> <tr> <td>1,27</td> <td>16,75</td> </tr> <tr> <td>2,54</td> <td>34,51</td> </tr> <tr> <td>3,80</td> <td>38,57</td> </tr> <tr> <td>5,00</td> <td>38,57</td> </tr> </tbody> </table>							Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )	0,63	7,61	1,27	16,75	2,54	34,51	3,80	38,57	5,00	38,57
Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )																	
0,63	7,61																	
1,27	16,75																	
2,54	34,51																	
3,80	38,57																	
5,00	38,57																	

MISTURA:																
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 10% CIMENTO																
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM													
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,67		Cápsula N°	C - 28	C - 29											
Umidade ótima ho (%)	17,00		Peso bruto úmido (g)	69,36	67,53											
Umidade higroscópica hi (%)	5,87		Peso bruto seco (g)	62,06	60,38											
ho - hi (%)	11,13		Tara da cápsula (g)	13,56	13,29											
Cilindro N°	5		Peso da água (g)	7,30	7,15											
Altura H (mm)	114		Peso do solo seco (g)	48,50	47,09											
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2013,52		Teor de umidade (%)	15,05	15,18											
Tara T (g)	7175		Teor médio de umidade (%)	15,12												
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM													
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	11220												
Peso do solo a utilizar (g)	5667,33		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4045												
Água a juntar (g)	630,77		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	2,01												
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,75												
ENSAIO DE PENETRAÇÃO																
Penetração			Leitura no	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015										
Tempo	pol	mm	Extensômetro (Kg)	Determinada	Padrão	CBR (%)										
30s	0,025	0,63	120,00	12,18												
1 min.	0,05	1,27	275,00	27,91												
2 min.	0,1	2,54	550,00	55,83	70	79,75										
4 min.	0,2	5,00	650,00	65,98	105	62,83										
6 min.	0,3	7,62			133											
8 min.	0,4	10,16			161											
10 min.	0,5	12,70			182											
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA																
Datas		Leitura no	Diferença (mm)		Expansão (%)											
Dia	Hora	Extensômetro (Kg)														
19/out	11:00	0,20	1,70		1,49											
22/out	11:00	1,90														
<p><b>CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO</b></p> <table border="1"> <caption>Dados para o Gráfico de Curva Pressão-Penetração</caption> <thead> <tr> <th>Penetração (mm)</th> <th>Pressão Determinada (kg/cm<sup>3</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,63</td> <td>12,18</td> </tr> <tr> <td>1,27</td> <td>27,91</td> </tr> <tr> <td>2,54</td> <td>55,83</td> </tr> <tr> <td>5,00</td> <td>65,98</td> </tr> </tbody> </table>							Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )	0,63	12,18	1,27	27,91	2,54	55,83	5,00	65,98
Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>3</sup> )															
0,63	12,18															
1,27	27,91															
2,54	55,83															
5,00	65,98															

MISTURA:						
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 10% CIMENTO						
DADOS			UMIDADE DE MOLDAGEM			
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,67		Cápsula N°	C - 11	C - 12	
Umidade ótima ho (%)	17,00		Peso bruto úmido (g)	67,34	65,30	
Umidade higroscópica hi (%)	5,87		Peso bruto seco (g)	60,19	58,30	
ho - hi (%)	11,13		Tara da cápsula (g)	13,53	13,10	
Cilindro N°	3		Peso da água (g)	7,15	7,00	
Altura H (mm)	117		Peso do solo seco (g)	46,66	45,20	
Volume V (cm <sup>3</sup> )	2066,51		Teor de umidade (%)	15,32	15,49	
Tara T (g)	7900		Teor médio de umidade (%)	15,41		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA			VERIFICAÇÃO DE MOLDAGEM			
Peso do solo seco (g)	6000		Peso bruto do corpo-de-prova úmido (g)	11910		
Peso do solo a utilizar (g)	5667,33		Peso do corpo-de-prova úmido (g)	4010		
Água a juntar (g)	630,77		Densidade do corpo-de-prova úmido (g/cm <sup>3</sup> )	1,94		
			Densidade do corpo-de-prova seco (g/cm <sup>3</sup> )	1,68		
ENSAIO DE PENETRAÇÃO						
Penetração			Leitura no Extensômetro (Kg)	Pressão (Kg/cm <sup>2</sup> )		cte do ensaio = 0,1015 CBR (%)
Tempo	pol	mm		Determinada	Padrão	
30s	0,025	0,63	125,00	12,69		
1 min.	0,05	1,27	275,00	27,91		
2 min.	0,1	2,54	520,00	52,78	70	75,40
4 min.	0,2	5,00	700,00	71,05	105	67,67
6 min.	0,3	7,62			133	
8 min.	0,4	10,16			161	
10 min.	0,5	12,70			182	
EXPANSÃO DA AMOSTRA INUNDADA						
Datas		Leitura no Extensômetro (Kg)	Diferença (mm)	Expansão (%)		
Dia	Hora					
20/out	11:00	0,20	1,43	1,22		
23/out	11:00	1,63				

**CURVA PRESSÃO-PENETRAÇÃO**

Penetração (mm)	Pressão Determinada (kg/cm <sup>2</sup> )
0,63	12,69
1,27	27,91
2,54	52,78
5,00	71,05
12,70	182

## ANEXO D

### ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

MISTURA:		DATA DA MOLDAGEM:	DATA DA RUPTURA:	
SOLO		20/10/2009	27/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 01	C - 02
Peso do molde + solo (g)	3950	Peso bruto úmido (g)	65,91	66,64
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1825	Peso bruto seco (g)	60,72	61,26
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,90	13,17
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	5,19	5,38
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,79	Peso do solo seco (g)	45,82	48,09
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,61	Teor de umidade (%)	11,33	11,19
Grau de compactação (%)	91,85	Teor médio de umidade (%)	11,26	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	2075	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ [MPa]}$		
Constante do anel	0,25			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	0,66			
DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL	
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75	GOLPES/CAMADAS	26	
Umidade ótima ho (%)	15,5			
Umidade higroscópica hi (%)	7,82			
ho - hi (%)	7,68	N° DE CAMADAS	3	
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA				
Peso do solo seco (g)	2500			
Peso do solo a utilizar (g)	2318,68			
Água a juntar (g)	178,07			

*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

MISTURA:		DATA DA MOLDAGEM:	DATA DA RUPTURA:	
SOLO		23/10/2009	30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 23	C - 24
Peso do molde + solo (g)	4025	Peso bruto úmido (g)	68,93	64,44
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1900	Peso bruto seco (g)	63,76	59,92
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	12,79	13,88
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	5,17	4,52
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,86	Peso do solo seco (g)	50,97	46,04
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,69	Teor de umidade (%)	10,14	9,82
Grau de compactação (%)	96,74	Teor médio de umidade (%)	9,98	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	243	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	0,61			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		
Umidade ótima ho (%)	15,5	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	7,82		
ho - hi (%)	7,68		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2318,68		
Água a juntar (g)	178,07		

MISTURA:		DATA DA MOLDAGEM:	DATA DA RUPTURA:	
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 4% CAL		23/10/2009	30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 01	C - 02
Peso do molde + solo (g)	4125	Peso bruto úmido (g)	64,97	59,58
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	2000	Peso bruto seco (g)	59,09	54,27
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,93	13,19
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	5,88	5,31
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,96	Peso do solo seco (g)	44,16	41,08
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,7	Teor de umidade (%)	13,32	12,93
Grau de compactação (%)	99,0	Teor médio de umidade (%)	13,12	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	380	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	0,95			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		
Umidade ótima ho (%)	15,4	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,56		
ho - hi (%)	10,84		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2390,97		
Água a juntar (g)	259,18		

**Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários**

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 4% CAL		DATA DA MOLDAGEM: 23/10/2009	DATA DA RUPTURA: 30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 03	C - 04
Peso do molde + solo (g)	4065	Peso bruto úmido (g)	59,30	55,53
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1940	Peso bruto seco (g)	53,47	50,10
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	13,50	12,99
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	5,83	5,43
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,90	Peso do solo seco (g)	39,97	37,11
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,66	Teor de umidade (%)	14,59	14,63
Grau de compactação (%)	94,78	Teor médio de umidade (%)	14,61	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	450	<b>RC = (C/A) x 0,1 MPa</b>		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,12			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		
Umidade ótima ho (%)	15,4	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,56		
ho - hi (%)	10,84		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2390,97		
Água a juntar (g)	259,18		

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 5,5% CAL		DATA DA MOLDAGEM: 23/10/2009	DATA DA RUPTURA: 30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 05	C - 06
Peso do molde + solo (g)	4095	Peso bruto úmido (g)	60,74	61,88
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1970	Peso bruto seco (g)	55,23	56,1
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,32	13,87
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	5,51	5,78
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,93	Peso do solo seco (g)	40,91	42,23
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,70	Teor de umidade (%)	13,47	13,69
Grau de compactação (%)	97,68	Teor médio de umidade (%)	13,58	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	487	<b>RC = (C/A) x 0,1 MPa</b>		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,22			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		
Umidade ótima ho (%)	14,95	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,06		
ho - hi (%)	10,89		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2402,46		
Água a juntar (g)	261,63		



*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

MISTURA:		DATA DA MOLDAGEM:	DATA DA RUPTURA:	
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 5,5% CAL		23/10/2009	30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 7	C - 8
Peso do molde + solo (g)	4015	Peso bruto úmido (g)	65,04	74,24
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1890	Peso bruto seco (g)	58,42	66,37
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,5	13,91
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	6,62	7,87
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,85	Peso do solo seco (g)	43,92	52,46
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,61	Teor de umidade (%)	15,07	15,00
Grau de compactação (%)	92,53	Teor médio de umidade (%)	15,04	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	380	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	0,95			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		
Umidade ótima ho (%)	14,95	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,06		
ho - hi (%)	10,89		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2402,46		
Água a juntar (g)	261,63		

MISTURA:		DATA DA MOLDAGEM:	DATA DA RUPTURA:	
SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CAL		23/10/2009	30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 09	C - 10
Peso do molde + solo (g)	4060	Peso bruto úmido (g)	66,79	65,61
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1935	Peso bruto seco (g)	60,05	58,95
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,41	13,54
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	6,74	6,66
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,90	Peso do solo seco (g)	45,64	45,41
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,65	Teor de umidade (%)	14,77	14,67
Grau de compactação (%)	94,45	Teor médio de umidade (%)	14,72	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	390	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	0,97			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		
Umidade ótima ho (%)	16	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,06		
ho - hi (%)	11,94		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2402,46		
Água a juntar (g)	286,85		

*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CAL		DATA DA MOLDAGEM: 23/10/2009	DATA DA RUPTURA: 30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 17	C - 18
Peso do molde + solo (g)	4050	Peso bruto úmido (g)	62,58	57,28
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1925	Peso bruto seco (g)	56,32	51,78
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	13,58	13,40
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	6,26	5,50
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,89	Peso do solo seco (g)	42,74	38,38
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,65	Teor de umidade (%)	14,65	14,33
Grau de compactação (%)	94,15	Teor médio de umidade (%)	14,49	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	410	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,02			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,75		
Umidade ótima ho (%)	16	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,06		
ho - hi (%)	11,94		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2402,46		
Água a juntar (g)	286,85		

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 8,5% CAL		DATA DA MOLDAGEM: 23/10/2009	DATA DA RUPTURA: 30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 13	C - 14
Peso do molde + solo (g)	4005	Peso bruto úmido (g)	68,29	68,70
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1880	Peso bruto seco (g)	62,62	62,99
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,44	14,58
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	5,67	5,71
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,84	Peso do solo seco (g)	48,18	48,41
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,65	Teor de umidade (%)	11,77	11,80
Grau de compactação (%)	94,72	Teor médio de umidade (%)	11,78	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	373	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	0,93			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		
Umidade ótima ho (%)	14,4	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	3,57		
ho - hi (%)	10,83		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2413,83		
Água a juntar (g)	261,42		

*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 8,5% CAL		DATA DA MOLDAGEM: 23/10/2009	DATA DA RUPTURA: 30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 15	C - 16
Peso do molde + solo (g)	4015	Peso bruto úmido (g)	60,96	62,00
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1890	Peso bruto seco (g)	54,96	55,88
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	13,38	12,99
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	6,00	6,12
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,85	Peso do solo seco (g)	41,58	42,89
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,62	Teor de umidade (%)	14,43	14,27
Grau de compactação (%)	93,08	Teor médio de umidade (%)	14,35	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	305	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	0,76			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		
Umidade ótima ho (%)	14,4	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	3,57		
ho - hi (%)	10,83		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2413,83		
Água a juntar (g)	261,42		

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 10% CAL		DATA DA MOLDAGEM: 23/10/2009	DATA DA RUPTURA: 30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 11	C - 12
Peso do molde + solo (g)	4015	Peso bruto úmido (g)	65,75	67,81
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1890	Peso bruto seco (g)	59,47	61,11
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	13,52	13,06
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	6,28	6,70
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,85	Peso do solo seco (g)	45,95	48,05
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,63	Teor de umidade (%)	13,67	13,94
Grau de compactação (%)	94,07	Teor médio de umidade (%)	13,81	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	394	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	0,98			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,73		
Umidade ótima ho (%)	15,6	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,23		
ho - hi (%)	11,37		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2398,54		
Água a juntar (g)	272,71		

*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 10% CAL		DATA DA MOLDAGEM: 23/10/2009	DATA DA RUPTURA: 30/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 19	C - 20
Peso do molde + solo (g)	4050	Peso bruto úmido (g)	63,50	62,91
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1925	Peso bruto seco (g)	57,63	57,10
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,26	13,52
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	5,87	5,81
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,89	Peso do solo seco (g)	43,37	43,58
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,66	Teor de umidade (%)	13,53	13,33
Grau de compactação (%)	96,12	Teor médio de umidade (%)	13,43	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	450	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,12			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,73		
Umidade ótima ho (%)	15,6	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,23		
ho - hi (%)	11,37		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2398,54		
Água a juntar (g)	272,71		

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 4% CIMENTO		DATA DA MOLDAGEM: 20/10/2009	DATA DA RUPTURA: 27/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 3	C - 4
Peso do molde + solo (g)	4145	Peso bruto úmido (g)	62,83	74,19
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	2020	Peso bruto seco (g)	56,50	66,21
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	13,49	12,99
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	6,33	7,98
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,98	Peso do solo seco (g)	43,01	53,22
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,72	Teor de umidade (%)	14,72	14,99
Grau de compactação (%)	99,05	Teor médio de umidade (%)	14,86	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	4635	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	0,25			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,48			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		
Umidade ótima ho (%)	15,2	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,25		
ho - hi (%)	10,95		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2398,08		
Água a juntar (g)	262,59		

Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 4% CIMENTO		DATA DA MOLDAGEM: 20/10/2009	DATA DA RUPTURA: 27/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 05	C - 06
Peso do molde + solo (g)	4020	Peso bruto úmido (g)	64,46	67,36
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1895	Peso bruto seco (g)	58,20	60,69
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,32	13,86
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	6,26	6,67
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,86	Peso do solo seco (g)	43,88	46,83
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,63	Teor de umidade (%)	14,27	14,24
Grau de compactação (%)	93,41	Teor médio de umidade (%)	14,25	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	4905	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	0,25			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,56			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,74		
Umidade ótima ho (%)	15,2	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,25		
ho - hi (%)	10,95		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2398,08		
Água a juntar (g)	262,59		

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 5,5% CIMENTO		DATA DA MOLDAGEM: 20/10/2009	DATA DA RUPTURA: 27/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 13	C - 14
Peso do molde + solo (g)	4100	Peso bruto úmido (g)	71,64	66,83
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1975	Peso bruto seco (g)	64,30	60,12
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,45	14,59
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	7,34	6,71
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,94	Peso do solo seco (g)	49,85	45,53
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,69	Teor de umidade (%)	14,72	14,74
Grau de compactação (%)	98,07	Teor médio de umidade (%)	14,73	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	570	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,42			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,72		
Umidade ótima ho (%)	15,4	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,52		
ho - hi (%)	10,88		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2391,89		
Água a juntar (g)	260,24		

*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 5,5% CIMENTO		DATA DA MOLDAGEM: 20/10/2009	DATA DA RUPTURA: 27/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 15	C - 16
Peso do molde + solo (g)	4090	Peso bruto úmido (g)	70,31	73,48
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1965	Peso bruto seco (g)	62,69	65,36
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	13,38	12,99
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	7,62	8,12
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,93	Peso do solo seco (g)	49,31	52,37
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,67	Teor de umidade (%)	15,45	15,51
Grau de compactação (%)	96,94	Teor médio de umidade (%)	15,48	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	615	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,54			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,72		
Umidade ótima ho (%)	15,4	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,52		
ho - hi (%)	10,88		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2391,89		
Água a juntar (g)	260,24		

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CIMENTO		DATA DA MOLDAGEM: 20/10/2009	DATA DA RUPTURA: 27/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 17	C - 18
Peso do molde + solo (g)	4125	Peso bruto úmido (g)	60,83	65,70
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	2000	Peso bruto seco (g)	54,28	58,54
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	13,58	13,41
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	6,55	7,16
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,96	Peso do solo seco (g)	40,70	45,13
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,69	Teor de umidade (%)	16,09	15,87
Grau de compactação (%)	98,24	Teor médio de umidade (%)	15,98	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	805	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	2,01			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,72		
Umidade ótima ho (%)	15,6	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,81		
ho - hi (%)	10,79		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2385,27		
Água a juntar (g)	257,37		

*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 7% CIMENTO		DATA DA MOLDAGEM: 20/10/2009	DATA DA RUPTURA: 27/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 19	C - 20
Peso do molde + solo (g)	4020	Peso bruto úmido (g)	79,27	69,94
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1895	Peso bruto seco (g)	70,3	62,12
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,29	13,54
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	8,97	7,82
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,86	Peso do solo seco (g)	56,01	48,58
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,60	Teor de umidade (%)	16,01	16,10
Grau de compactação (%)	93,03	Teor médio de umidade (%)	16,06	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	710	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,77			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,72		
Umidade ótima ho (%)	15,6	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,81		
ho - hi (%)	10,79		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2385,27		
Água a juntar (g)	257,37		

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 8,5% CIMENTO		DATA DA MOLDAGEM: 22/10/2009	DATA DA RUPTURA: 29/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 01	C - 02
Peso do molde + solo (g)	4070	Peso bruto úmido (g)	72,38	60,71
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1945	Peso bruto seco (g)	65,46	54,94
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,89	13,16
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	6,92	5,77
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,91	Peso do solo seco (g)	50,57	41,78
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,68	Teor de umidade (%)	13,68	13,81
Grau de compactação (%)	95,20	Teor médio de umidade (%)	13,75	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	580	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,45			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,76		
Umidade ótima ho (%)	15,2	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,68		
ho - hi (%)	10,52		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2388,23		
Água a juntar (g)	251,24		

Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 8,5% CIMENTO		DATA DA MOLDAGEM: 22/10/2009	DATA DA RUPTURA: 29/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 03	C - 04
Peso do molde + solo (g)	4065	Peso bruto úmido (g)	65,67	71,35
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1940	Peso bruto seco (g)	59,20	64,15
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	13,45	12,98
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	6,47	7,20
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,90	Peso do solo seco (g)	45,75	51,17
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,67	Teor de umidade (%)	14,14	14,07
Grau de compactação (%)	94,66	Teor médio de umidade (%)	14,11	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	595	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,49			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,76		
Umidade ótima ho (%)	15,2	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	4,68		
ho - hi (%)	10,52		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2388,23		
Água a juntar (g)	251,24		

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 10% CIMENTO		DATA DA MOLDAGEM: 22/10/2009	DATA DA RUPTURA: 29/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 7	C - 8
Peso do molde + solo (g)	4060	Peso bruto úmido (g)	67,42	70,32
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1935	Peso bruto seco (g)	62,31	65,08
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,49	13,92
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	5,11	5,24
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,90	Peso do solo seco (g)	47,82	51,16
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,72	Teor de umidade (%)	10,69	10,24
Grau de compactação (%)	102,79	Teor médio de umidade (%)	10,46	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	640	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,60			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,67		
Umidade ótima ho (%)	16,6	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	5,87		
ho - hi (%)	10,73		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2361,39		
Água a juntar (g)	253,38		



*Utilização de resíduos oleosos provenientes das atividades de exploração e produção de petróleo para aplicação em camadas estabilizadas de bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*

MISTURA: SOLO + 17,5% RESÍDUO + 10% CIMENTO		DATA DA MOLDAGEM: 22/10/2009	DATA DA RUPTURA: 29/10/2009	
DADOS DO CORPO DE PROVA		UMIDADE DE MOLDAGEM		
Peso do molde (g)	2125	Cápsula N°	C - 05	C - 06
Peso do molde + solo (g)	4075	Peso bruto úmido (g)	69,16	72,5
Peso do corpo-de-prova úmido (g)	1950	Peso bruto seco (g)	60,8	63,32
Volume do molde (cm <sup>3</sup> )	1020,5	Tara da cápsula (g)	14,34	13,86
Cilindro N°	1	Peso da água (g)	8,36	9,18
Massa específica aparente do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,91	Peso do solo seco (g)	46,46	49,46
Massa específica aparente seca do corpo-de-prova (g/cm <sup>3</sup> )	1,62	Teor de umidade (%)	17,99	18,56
Grau de compactação (%)	96,74	Teor médio de umidade (%)	18,28	
DADOS DO ENSAIO		EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DA RESISTÊNCIA		
Carga de ruptura - C (Kgf)	640	$RC = (C/A) \times 0,1 \text{ MPa}$		
Constante do anel	1,961			
Área da seção transversal do corpo de prova - A (cm <sup>2</sup> )	78,54			
Resistência à compressão simples - RC (MPa)	1,60			

DADOS COMPLEMENTARES		ENERGIA	NORMAL
Densidade máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,67		
Umidade ótima ho (%)	16,6	GOLPES/CAMADAS	26
Umidade higroscópica hi (%)	5,87		
ho - hi (%)	10,73		
CÁLCULO PARA MOLDAGEM DO CORPO DE PROVA		N° DE CAMADAS	3
Peso do solo seco (g)	2500		
Peso do solo a utilizar (g)	2361,39		
Água a juntar (g)	253,38		