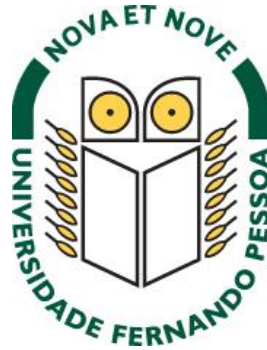


RICARDO ANTÓNIO FERREIRA DA CUNHA



**Contribuição para a Metodologia de Estudo de Melhoria de um Solo com Cimento
no Âmbito de uma Obra Rodoviária**

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Civil

Porto, Fevereiro de 2014

RICARDO ANTÓNIO FERREIRA DA CUNHA



**Contribuição para a Metodologia de Estudo de Melhoria de um Solo com Cimento
no Âmbito de uma Obra Rodoviária**

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Civil

Porto, Fevereiro de 2014

RICARDO ANTÓNIO FERREIRA DA CUNHA

**Contribuição para a Metodologia de Estudo de Melhoria de um Solo com Cimento
no Âmbito de uma Obra Rodoviária**

“Trabalho apresentado à Universidade Fernando Pessoa, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, sob a orientação da Exma. Professora Doutora Celeste Almeida”

Resumo

A presente dissertação pretende abordar os aspetos relacionados com o tratamento ou melhoria de solos com recurso ao cimento e determinação da percentagem de ligante ideal para utilizar num solo para posterior aplicação em obra, executada através de estudos de formulação.

Para a realização dos estudos de formulação são abordados nesta dissertação os parâmetros geotécnicos do solo em estudo bem como da mistura do solo com o cimento.

Pretende-se com este trabalho descrever os aspetos mais relevantes ligados ao tratamento de solos com cimento com um destaque particular para a aplicação das técnicas num contexto de obras rodoviárias.

Este trabalho apresenta um caso prático que consiste em estudar a evolução de uma mistura de solo-cimento medida ao fim de 7, 28 e 90 dias de cura. O estudo avalia uma ou mais características mecânicas do solo tratado, onde realizaram-se três misturas hidráulicas, com 3, 4.5 e 6% de cimento, fazendo-se variar o teor em água entre $\omega_{opt} - 1\%$, ω_{opt} e $\omega_{opt} + 2\%$, por forma, a representar melhor as variações dos teores em água que podem ocorrer durante os trabalhos em obra.

O caso prático apresentado é referente a um solo proveniente duma obra realizada pela empresa Mota-Engil, Engenharia e Construção S.A., onde se procedeu à melhoria do solo existente com recurso ao cimento e tem como principal objetivo otimizar a percentagem ideal de cimento a utilizar no tratamento ou melhoria do solo.

Abstract

This thesis aims to address aspects related to the treatment or amelioration of soils using cement and determination of the percentage of ideal binder for use in soil for later use in the work performed through formulation studies.

For the realization of formulation studies are addressed in this dissertation the geotechnical parameters of the soil in this study as well as the soil mix with cement.

The aim of this study was to describe the most relevant aspects related to the treatment of soils with cement with a particular focus on the application of techniques in the context of road works.

This paper presents a case study which is to study the evolution of a soil-cement mixture measured after 7, 28 and 90 days of curing. The study evaluates one or more mechanical characteristics of soil treated, which took place three water mixtures with 3, 4.5 and 6% cement, making it possible to vary the water content between $\omega_{opt} - 1\%$, ω_{opt} e $\omega_{opt} + 2\%$, in order to better represent the levels of water that can occur during work at work.

The case study presented, refers to a soil from a work performed by the company Mota-Engil, Engenharia e Construção SA, where he proceeded to improve the existing soil using cement and has as main objective to optimize the ideal percentage of cement use in the treatment or soil improvement.

Dedico esta dissertação aos meus Pais, Irmãos e em especial à Tânia, pela muita paciência, carinho, cumplicidade, apoio e compreensão ao longo desta jornada. Muito obrigado por tudo!

Agradecimentos

Quero expressar os meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e entidades, que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho, nomeadamente:

À empresa Mota-Engil, Engenharia e Construção S.A., pela facilitação de elementos e condições necessárias à execução deste trabalho, nomeadamente à Eng.^a Carla Sousa pela disponibilidade demonstrada, bem como, seu apoio como coorientadora;

Ao Eng.^o Nuno Pinto e Eng.^o David Canelas que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho;

A todos os colegas de trabalho em especial aos colegas António Ferreira, José Pinto e Pedro Martins, pela entreaajuda, disponibilidade e companheirismo demonstrado;

A todos os docentes da Universidade Fernando Pessoa, em especial aqueles que contribuíram para a minha Formação;

À excelentíssima Prof.^a Dr.^a Celeste Almeida, orientadora desta dissertação, pela disponibilidade para a revisão e ajuda na elaboração da presente;

À minha namorada Tânia Oliveira, pela compreensão, paciência, incentivo, carinho e ajuda;

À minha Família em especial aos meus Pais, Irmãos e a todos os meus amigos e colegas de curso, que sempre me apoiaram e ajudaram nesta caminhada;

A todos muito Obrigado!

Índice Geral

I - Introdução:	1 -
I.1 - Enquadramento geral	1 -
I.2 - Objetivo e método do trabalho	3 -
I.3 - Estrutura do trabalho	4 -
II - Enquadramento histórico:	6 -
III - Materiais constituintes das misturas de solo-cimento	10 -
III.1 - Solos	10 -
III.1.1 - Introdução	10 -
III.1.2 - Tipos de solos	11 -
III.2 - Cimento	22 -
III.2.1 - História do cimento	22 -
III.2.2 - Processo de fabrico do cimento	24 -
III.2.3 - Cimento: tipologias e propriedades	25 -
III.2.3.1 - Cimento portland comum	27 -
III.2.3.2 - Cimento portland de alto-forno (CP)	27 -
III.2.3.3 - Cimento portland pozolânico	28 -
III.2.3.4 - Cimento portland de alta resistência inicial	28 -
III.2.3.5 - Cimento portland (resistente a sulfatos)	28 -
III.2.3.6 - Cimento portland de baixo calor de hidratação	29 -
III.2.3.7 - Cimento portland branco	29 -

IV - Pavimentos rodoviários	30 -
IV.1 - Introdução	30 -
IV.2 - Estrutura dos pavimentos rodoviários	32 -
IV.2.1 - Fundação	33 -
IV.2.2 - Aterro	34 -
IV.2.2.1 - Parte Inferior do Aterro (PIA)	34 -
IV.2.2.2 - Corpo do Aterro	35 -
IV.2.2.3 - Parte Superior do Aterro (PSA)	35 -
IV.2.3 - Leito do Pavimento	35 -
IV.2.4 - Fundação do pavimento	35 -
V - Solo-Cimento	36 -
V.1 - Introdução	36 -
V.2 - Seleção do Estabilizador	36 -
V.3 - Critérios das misturas solo-cimento	38 -
V.3.1 - Critérios de formulação	38 -
V.3.2 - Critério dos solos	39 -
V.3.3 - Critério da água	40 -
V.3.4 - Critério do cimento	40 -
V.4 - Aplicabilidade do Solo-Cimento	41 -
V.5 - Efeito do Cimento nos solos	42 -
V.6 - Efeito da Pluviosidade no solo-cimento	44 -

V.7 -	Procedimento de Execução em Obra-----	44 -
V.7.1 -	Marcação Topográfica-----	45 -
V.7.2 -	Preparação da Camada Subjacente-----	45 -
V.7.3 -	Espalhamento do solo e ligante-----	46 -
V.7.4 -	Mistura, Homogeneização e Humidificação-----	47 -
V.7.5 -	Compactação-----	48 -
V.7.6 -	Cura-----	49 -
VI -	Trecho Experimental-----	50 -
VI.1 -	Introdução-----	50 -
VI.2 -	Equipamento-----	50 -
VI.3 -	Procedimento de execução-----	51 -
VII -	Controlo de Qualidade-----	54 -
VII.1 -	Introdução-----	54 -
VII.2 -	Ensaio-----	55 -
VII.2.1 -	Percentagem em Matéria Orgânica de Solos (JAE S. 9-53)-----	55 -
VII.2.2 -	Ensaio de teor de humidade natural, Teor em Água (w) em estufa ventilada -	56 -
VII.2.3 -	Determinação dos limites de Atterberg ou de Consistência-----	57 -
VII.2.3.1 -	Limite de Liquidez (LL)-----	58 -
VII.2.3.2 -	Limite de Plasticidade (LP)-----	59 -
VII.2.4 -	Ensaio Azul-de-metileno-----	60 -

VII.2.5 - Ensaio de Equivalente de areia -----	60 -
VII.2.6 - Análise granulométrica -----	61 -
VII.2.7 - Compactação Proctor -----	63 -
VII.2.8 - Ensaio Californiano ou C.B.R. (Califórnia Bearing Ratio)-----	65 -
VII.2.9 - Ensaio de compressão Triaxial -----	66 -
VII.2.10 - Ensaio de corte directo -----	67 -
VII.2.11 - Ensaio de permeabilidade com recurso a câmara triaxial -----	68 -
VII.2.12 - Ensaio de compressão -----	70 -
VII.2.12.1 - VII.2.14.1 – Ensaio de compressão Simples-----	70 -
VII.2.12.2 - VII.2.14.2 – Ensaio de compressão diametral -----	70 -
VII.2.13 - Ensaio de determinação da Baridade “ <i>In Situ</i> ” pela Garrafa Areia- -	71 -
VII.2.14 - Ensaio de Gamadensímetro ou Núcleodensímetro-----	72 -
VII.2.15 - Ensaio de carga em placa -----	74 -
VIII - Estudo Experimental -----	75 -
VIII.1 - Considerações Gerais -----	75 -
VIII.2 - Materiais utilizados -----	75 -
VIII.3 - Preparação das amostras-----	76 -
VIII.3.1 - Objetivo da amostragem -----	76 -
VIII.3.2 - Princípios da amostragem -----	76 -
VIII.3.3 - Redução de Amostras -----	77 -

VIII.4 -	Características físicas e mecânicas dos materiais-----	78 -
VIII.5 -	Metodologia do estudo -----	79 -
VIII.6 -	Apresentação e análise dos resultados-----	84 -
VIII.6.1 -	Análise dos limites de consistência -----	84 -
VIII.6.2 -	Análise de resultados de ensaio azul-de-metileno -----	85 -
VIII.6.3 -	Análise da baridade seca máxima (γ_{dmax}) e teor de humidade (w) -	86 -
VIII.6.4 -	Compressão Diametral (NLT-304)-----	89 -
VIII.6.4.1 -	Análise comparativa à compressão Diametral -----	89 -
VIII.6.4.2 -	Análise comparativa para $W_{opt-1\%}$, W_{opt} e $W_{opt-2\%}$ -----	92 -
VIII.6.5 -	Compressão Simples (NLT-305) -----	93 -
VIII.6.5.1 -	Análise comparativa à compressão simples -----	93 -
VIII.6.5.2 -	Análise comparativa para $W_{opt-1\%}$, W_{opt} e $W_{opt-2\%}$ -----	97 -
IX -	Conclusão -----	99 -
X -	Bibliografia -----	102 -
X.1 -	Referências bibliográficas -----	102 -
X.2 -	Normas e especificações -----	103 -
XI -	Anexos-----	106 -
XI.1 -	Boletins de ensaio das características físicas do solo -----	107 -
XI.2 -	Boletins de ensaio das características mecânicas do solo -----	114 -
XI.3 -	Boletins de ensaio das características do cimento e da mistura -----	119 -
XI.4 -	Boletins de ensaio á compressão dos provetes de solo-cimento-----	131 -

Índice de Figuras

Figura III-1 - Esquema da representação de um solo	- 10 -
Figura III-2 - Diagrama indicativo das designações a atribuir aos solos de acordo com a respetiva curva granulométrica.....	- 16 -
Figura III-3 – Instalações da cimenteira Aspdin em Inglaterra	- 24 -
Figura III-4 – Processo de fabrico do cimento	- 24 -
Figura IV-1 – Estrutura genérica de pavimento tipo, em zona de aterro	- 33 -
Figura IV-2 - Estrutura genérica de pavimento tipo, em zona de escavação	- 33 -
Figura V-1 – Esquema de procedimento de execução de solo-cimento em obra.....	- 45 -
Figura V-2 - Espalhamento mecânico de ligante.....	- 46 -
Figura V-3 – Espalhamento manual de ligante	- 47 -
Figura V-4 - Misturadora mecânica Wirtgen (WR 2000)	- 48 -
Figura V-5 – Cilindro de rasto liso	- 49 -
Figura V-6 – Proteção de Cura de mistura de solo-cimento.....	- 49 -
Figura VI-1 – Mistura dos materiais.....	- 52 -
Figura VI-2 – Regularização da altura da camada	- 52 -
Figura VI-3 – Compactação da Mistura	- 53 -
Figura VI-4 – Controlo de compactação da mistura.....	- 53 -
Figura VII-1- Estufa ventilada.....	- 57 -
Figura VII-2- Verificação da altura de material do limite de liquidez	- 58 -

Figura VII-3- Gráfico determinação do limite de liquidez.....	- 59 -
Figura VII-4 – Ensaio Limite de Plasticidade	- 59 -
Figura VII-5 – Ensaio azul-de-metileno	- 60 -
Figura VII-6 – Ensaio de equivalente de areia	- 61 -
Figura VII-7- Fuso granulométrico	- 63 -
Figura VII-8 – Análise granulométrica pelo método da peneiração e pelo método da sedimentação	- 63 -
Figura VII-9 - Gráfico tipo de compactação Proctor.....	- 65 -
Figura VII-10 - Variação da curva de compactação em função do tipo de solo	- 65 -
Figura VII-11 - Imersão de provetes C.B.R.	- 66 -
Figura VII-12 - Prensa C.B.R.....	- 66 -
Figura VII-13- Equipamento de ensaio Triaxial.....	- 67 -
Figura VII-14- Equipamento de corte direto	- 68 -
Figura VII-15 – Ensaio de compressão simples	- 70 -
Figura VII-16 – Ensaio de compressão diametral	- 71 -
Figura VII-17 – Ensaio Garrafa de Areia	- 72 -
Figura VII-18- Ensaio de gamadensímetro ou núcleodensímetro	- 73 -
Figura VII-19- Ensaio de carga em placa.....	- 74 -
Figura VIII-1- Processo de divisão de amostras.....	- 77 -
Figura VIII-2 - Moldagem de provetes.....	- 83 -
Figura VIII-3 - provetes acondicionados em câmara controlada	- 83 -

Figura VIII-4 - Ensaio compressão simples	- 84 -
Figura VIII-5 - Ensaio de compressão Diametral.....	- 84 -
Figura VIII-6 – Limite liquidez 3%	- 85 -
Figura VIII-7 - Limite liquidez 4,5%	- 85 -
Figura VIII-8 - Limite liquidez 6%	- 85 -

Índice de quadros

Quadro III-1 - Índice de compactidade.....	- 17 -
Quadro III-2 - Índice de consistência.	- 17 -
Quadro III-3 - Classificação de solos de acordo com Tabela Unificada (ASTM 2487-85)	- 19 -
Quadro III-4 - Classificação de Solos de acordo com Tabela Unificada (ASTM 2487- 85).....	- 20 -
Quadro III-5- Classificação de Solos A.A.S.H.O.....	- 21 -
Quadro III-6 - Quadro de cimentos fabricados em Portugal por percentagem de constituintes.....	- 25 -
Quadro III-7 - Classes de resistência e requisitos físicos e mecânicos dos cimentos (Fonte: www.secil.pt (2012))	- 26 -
Quadro III-8 - Características médias dos cimentos.....	- 27 -
Quadro V-1 - Estimativa para a Escolha de agentes estabilizadores.....	- 37 -
Quadro VII-1 - Quadro indicativo das características dos ensaios proctor	- 64 -
Quadro VIII-1 - Quadro resumo da caracterização dos solos	- 78 -
Quadro VIII-2 - Quadro resumo da caracterização das misturas	- 78 -
Quadro VIII-3 - Quadro resumo da caracterização dos solos	- 80 -
Quadro VIII-4 - Valores obtidos com realização de ensaio de compactação Proctor -	81 -
Quadro VIII-6 – Resultados dos limites de consistência.....	- 84 -
Quadro VIII-7 - Quadro resumo ensaio azul-de-metileno.....	- 86 -

Quadro VIII-8 – Resumo dos valores de teor em água e baridade seca máxima após a
mistura para W_{opt} - 87 -

Quadro VIII-9 - Variação de resistência mecânica para ensaios de compressão diametral
..... - 89 -

Quadro VIII-10 - Variação de resistência mecânica para ensaios de compressão Simples
..... - 94 -

Índice de gráficos

Gráfico VIII-1 – Resultado ensaio azul-de-metileno (NF P 94-068)	- 86 -
Gráfico VIII-2 - Comparação dos teores em água inicial vs. final provetes	- 87 -
Gráfico VIII-3 - Baridade seca máxima inicial vs. Baridade seca máxima final	- 88 -
Gráfico VIII-4 - Compressão diametral 7 dias de cura.	- 90 -
Gráfico VIII-5 - Compressão diametral 28 dias de cura.	- 90 -
Gráfico VIII-6 - Compressão diametral 90 dias de cura.	- 91 -
Gráfico VIII-7 - Compressão diametral para teor em água ótimo ($w_{opt. -1\%}$).....	- 92 -
Gráfico VIII-8 - Compressão diametral para teor em água ótimo ($w_{opt.}$).....	- 92 -
Gráfico VIII-9 - Compressão diametral para teor em água ótimo ($w_{opt +2\%}$)	- 93 -
Gráfico VIII-10 - Compressão simples aos 7 dias.....	- 95 -
Gráfico VIII-11 - Compressão simples aos 28 dias.....	- 95 -
Gráfico VIII-12 - Compressão simples aos 90 dias.....	- 96 -
Gráfico VIII-13 - Compressão simples para teor em água ótimo ($w_{opt -1\%}$)	- 97 -
Gráfico VIII-14 - Compressão simples para teor em água ótimo (w_{opt}).....	- 97 -
Gráfico VIII-15 - Compressão simples para teor em água ótimo ($w_{opt +2\%}$)	- 98 -

Índice de expressões

(IV-1) - Deformabilidade (Brouwn).....	- 31 -
(IV-2) - Deformabilidade (Powell).....	- 31 -
(VII-1) - Teor em água	- 56 -
(VII-2) - Índice de plasticidade	- 57 -
(VII-3) - Equivalente de Areia.....	- 61 -
(VII-4) - Lei de Stokes.....	- 62 -
(VII-5) - Energia específica de compactação -	- 66 -
(VII-6) - Parâmetro B	- 69 -
(VII-7) - Peso Volúmico.....	- 71 -

I - Introdução:

I.1 - Enquadramento geral

A busca por novas tecnologias, ou alternativas, que aumentem a viabilidade económica das obras e que solucionem os problemas relacionados com a agressão ao meio ambiente, é um dos principais focos de atuação da engenharia.

No âmbito das obras rodoviárias, os solos provenientes dos terrenos existentes no local da obra, muitas vezes traduzem-se em grandes custos, principalmente quando as suas características não satisfazem as exigências para uma adequada utilização. Por forma a corrigir essas situações, tem que se recorrer a dois tipos de soluções, ou a aplicação em obra de material de empréstimo com melhores características, ou corrigir os materiais existentes de modo a conferir-lhes as características necessárias.

A alteração das características dos solos de modo a melhorar o seu comportamento torna-os capazes de responder de forma satisfatória às solicitações previstas sendo designada de tratamento ou melhoramento dos solos.

A melhoria dos solos significa uma ação com resultados quase instantâneos, que consiste em melhorar as propriedades geotécnicas do solo, ou referida a expressão “Tratamento”, a qual é o termo geral para designar um procedimento destinado a modificar um material afim que este possa desempenhar as funções às quais se destina, (Bell, 1993).

O pavimento rodoviário tem por comprometida a sua vida útil, quando a sua base de apoio é estruturalmente deficitária devido nomeadamente, a problemas de drenagem, má compactação das camadas ou reduzida capacidade de suporte.

O tratamento de solos através da adição de ligantes hidráulicos, como a cal ou o cimento, constitui um processo de tratamento e melhoria dos solos baseado nas reações químicas entre as partículas de solo, a água e o próprio ligante, que levam a uma modificação permanente das características do solo natural de forma a se adequarem à obra em causa.

Existem alguns fatores a serem considerados na seleção do ligante, nomeadamente o tipo de solo a ser tratado, o propósito para qual a camada tratada será utilizada, o tipo de a melhoria dos solos desejada, a força necessária, a durabilidade da camada, bem como o custo e condições ambientais.

A reutilização de solos provenientes da obra conduz a uma economia de materiais mais nobres evitando a degradação do ambiente à custa de se minimizar o recurso a manchas de empréstimo e à colocação de materiais a depósito. Os meios de transporte e as distâncias inerentes a esse transporte são fortemente reduzidos, resultando uma redução dos custos e dos inconvenientes em geral.

As vantagens do tratamento dos solos são excelentes, permitindo assim uma redução nas espessuras das camadas, contribuindo em termos de benefícios económicos e ambientais.

Os solos que provêm do traçado rodoviário são muitas vezes inadequados ou são de reduzida qualidade, pelo que recorrendo ao seu tratamento, consegue-se melhorar consideravelmente as suas características. Com a melhoria destes solos conseguem-se as seguintes vantagens:

- Consegue-se evitar a possibilidade de contaminação dos solos por parte do material constituinte das camadas subjacentes;
- Permite uma melhor execução das restantes camadas, uma vez que o solo tratado tem uma melhor coesão o que ajuda bastante na rápida execução dos trabalhos em condições climatéricas de grande pluviosidade;
- Permite uma melhor impermeabilização das camadas inferiores evitando bolsas de água ou zonas mais saturadas que originem abatimentos no pavimento;
- Evita a eliminação dos finos devido à passagem da água que penetra na camada;
- Melhora as características de resistência da camada sobreposta, (base ou sub-base) pelo facto de absorver pouco a energia de compactação permitindo assim funcionar como uma boa plataforma de apoio;

- Reduz consideravelmente o nível de tensões na superfície de apoio da camada superior pelo que aumenta a resistência desta mesma camada à fadiga;

Em geral, um solo tratado com cimento (solo-cimento) aumenta a sua durabilidade, bem como proporciona grandes incrementos na sua resistência aos agentes climáticos, bem como garantia de proteção do ambiente, economia de energia e vantagens técnicas.

O tratamento dos solos pode ser adotado em diversas situações, embora as mais usuais são na realização de bases e sub-bases de pavimentos, proporcionando um aumento da resistência à fadiga de todo o conjunto constituinte de um pavimento rodoviário, e proporcionando o incremento da resistência aos processos de erosão dos solos, que é uma qualidade essencial para a durabilidade dos pavimentos rodoviários.

I.2 - Objetivo e método do trabalho

O tratamento de um solo visa obter um melhoramento significativo das propriedades mecânicas do mesmo. Assim, privilegia-se no presente trabalho os ensaios mecânicos e a evolução das propriedades mecânicas ao longo do tempo.

A caracterização mecânica da mistura de solo-cimento aqui estudada é feita com base em ensaios de compressão simples e de compressão diametral, contribuindo para a avaliação do funcionamento de uma camada estrutural de um pavimento, mais propriamente o leito de pavimento.

A metodologia do presente trabalho consiste em estudar a evolução medida ao fim de 7, 28 e 90 dias de uma ou mais características mecânicas do solo tratado.

O estudo inicia com a caracterização do solo recorrendo a ensaios para a determinação das características físicas e mecânicas do solo a ser usado para a mistura, realizam-se três misturas hidráulicas, com 3%, 4.5% e 6% de cimento, para as quais foi previamente determinado o teor em água ótimo ($w_{opt.}$) e para uma energia de compactação pesada.

Para cada uma das misturas, moldam-se provetes fazendo-se variar o teor em água entre $w_{opt.} - 1\%$, $w_{opt.}$ e $w_{opt.} + 2\%$, por forma a melhor representar os teores de humidade que podem ocorrer durante os trabalhos em obra.

As vantagens técnicas deste tratamento traduzem-se numa mais-valia permitindo a redução das espessuras das camadas com ao aumento de resistência mecânica do solo devido ao melhoramento conferido pelo ligante hidráulico.

I.3 - Estrutura do trabalho

Esta dissertação é composta fundamentalmente por nove capítulos e tem por objetivo abordar os aspetos relacionados com o tratamento ou melhoria dos solos com recurso ao cimento, assim neste primeiro capítulo, é apresentada uma introdução, os objetivos e a estrutura da presente dissertação.

No segundo capítulo feita a descrição do enquadramento histórico do tema estudado.

No terceiro capítulo faz-se a caracterização dos materiais constituintes das misturas de solo-cimento, nomeadamente a caracterização do solo e a caracterização do cimento.

O quarto capítulo faz uma introdução aos pavimentos rodoviários, com uma pequena descrição dos vários tipos de pavimentos rodoviários e estrutura tipo existentes.

No quinto capítulo é tratado o tema do solo-cimento, fazendo uma abordagem do processo de seleção do estabilizador, os critérios das misturas do solo-cimento e a aplicabilidade destas misturas. Em seguida é feita uma descrição do efeito do cimento nos solos e por fim o efeito da pluviosidade nas misturas de solo-cimento.

O sexto capítulo descreve o procedimento de um trecho experimental, nomeadamente referindo o procedimento de execução, onde é feita uma breve descrição dos procedimentos executados.

No sétimo capítulo faz-se referência ao controlo de qualidade preconizado nestes tipos de estudos, onde começa com uma nota introdutória ao capítulo abordado e compreende também uma breve abordagem aos ensaios característicos nestes tipos de estudos.

O oitavo capítulo trata o estudo experimental realizado. Inicialmente são feitas as considerações gerais da obra, nomeadamente a sua localização e características gerais dos materiais utilizados, e posteriormente é descrita a metodologia apresentação e análise de resultados dos ensaios realizados.

O nono capítulo é a conclusão, onde é feita uma análise mais crítica e pessoal aos aspetos mais importantes deste trabalho, nomeadamente a compreensão e justificação dos resultados obtidos

II - Enquadramento histórico:

As estradas pavimentadas permitem o acesso barato e rápido de homens e mercadorias aos pontos mais remotos de uma nação, a sua utilidade é indiscutível para indivíduos, sociedades e economias de qualquer período da história. A possibilidade do homem se deslocar por via terrestre permitiu que fosse o principal meio de transporte de médias e longas distâncias do mundo contemporâneo. A necessidade, bem como a construção de estradas, coincide então com o surgimento dos primeiros veículos de rodas.

A rede rodoviária constitui uma das infraestruturas de transportes mais importantes para o desenvolvimento de um País. Esta rede desenvolve-se num conjunto de grandes eixos e vias, permitindo assim complementar as adequadas acessibilidades a qualquer ponto do território e são estruturadas em vários níveis, de acordo com a sua importância e obedecendo a diferentes características.

A rede rodoviária permite a ligação a outras redes de transportes existentes, complementando assim o interface completo de todas as redes existentes. Daí advém a necessidade de existirem vários tipos de pavimentos e com estruturação e constituição variáveis de acordo com o tipo ou o nível da via.

Com a crescente necessidade de mobilidade do homem, foram crescendo as estradas, mas quando surgiram alguns problemas relacionados com a capacidade de tráfego das mesmas, bem como das suas condições, surgiu a necessidade de empregar algumas técnicas de melhoria por forma a garantir uma melhor durabilidade e condições de utilização.

O processo de pavimentações e compactações exigem o recurso a diversos meios e materiais que muitas vezes são manifestamente incompatíveis ou dependentes de diversos fatores. Deste modo encontrou-se formas de as conseguir, através do métodos e técnicas de tratamento e melhoria dos solos dessas vias, com recurso ao tratamento dos solos provenientes da própria obra como maneira de lhes atribuir utilidade e por outro lado, permitir a redução dos custos totais da obra.

A partir do século I, a aplicação de solos estabilizados em obras de engenharia de grande magnitude é conhecida, tanto na Europa, mais especificamente na Roma Imperial por meio da construção de caminhos e aquedutos, como no distante Continente asiático, na construção da Grande Muralha da China.

Contudo, o melhoramento de solos havia já sido utilizado há mais de 1000 anos na construção de templos na antiga Babilônia e na China Imperial onde se reforçava o terreno com o uso de madeira, bambu ou palha.

O tratamento de solos com cimento teve o seu início nos Estados Unidos da América na pavimentação rodoviária e obteve um grande desenvolvimento a partir do séc. XX em vários países. A maior aplicação desta técnica encontra-se nos Estados Unidos da América.

De acordo com o Soil-cement Construction Handbook, (1971), a utilização do cimento na estabilização dos solos parece remontar a 1917 quando J.H. Amies, apresentou uma patente nos E.U.A. de uma mistura de material a qual lhe chamou de "Soilamines". Em 1920 passou-se a chamar de "soil-crete", pois o material envolvia a adição de "cristal mágico" a cada saco de cimento utilizado.

Por volta do ano de 1922 no estado do Iowa e Sul Dakota, o departamento de autoestradas efetuou uma mistura de cimento com solo proveniente da escavação de uma obra rodoviária e em 1924 no estado do Ohio, esse mesmo departamento usou esse tipo de misturas como forma de aumentar a resistência mecânica da sub-base do pavimento rodoviário. Por volta desta mesma altura, estavam a usar este tipo de solução em pequenos trechos de estradas nos estados da Califórnia e Texas, apesar destas aplicações e experiências, não haviam estudos realizados no sentido de estabelecer dosagens e técnicas específicas, pelo que os resultados obtidos eram muito variáveis e imprevisíveis.

A partir de 1932, com a realização de cinco trechos de uma autoestrada onde foram aplicadas as técnicas de solo-cimento na Carolina do Sul, foi possível verificar um significativo desenvolvimento desta técnica, pois os resultados obtidos foram muito

promissores, os quais permitiram que se realizassem mais estudos acerca desta técnica por parte da “Portland Cement Association”.

Em 1935 a “Portland Cement Association”, em parceria com o “South Carolina State Highway Department” e o “US Bureau of Public Roads”, desenvolveram estudos de investigação nas misturas de solo-cimento, construindo cerca de 1,5 milhas de uma estrada, devidamente controlada em termos científicos.

A princípio de 1953 havia mais de 84000 m² de pavimentos com a técnica de solo-cimento, compreendendo cerca de 7200 km de estradas e 2240 Km de ruas em 300 cidades, e 19500000 m² em 143 aeroportos. O ritmo de construção com a técnica de solo-cimento em 1952 era de 8.8 milhões de m² por ano.

Os resultados obtidos levaram a que outros organismos também desenvolvessem trechos experimentais de solo-cimento. Permitiram com que se fosse possível construir mais e melhores vias e ao mesmo tempo, com menores custos, fazendo com que outros países adotassem também esta técnica.

Noutros países como na Inglaterra, na Argentina, no Canadá, o solo-cimento desenvolve-se a ritmo intenso. Porém, uma grande extensão foi executada na Alemanha, sobretudo durante a II grande guerra, devido à necessidade de mobilidade das tropas.

No Brasil, a área total de solo-cimento executado até 1942 atingia cerca de 150.000 m², e desde então tem mostrado um constante aumento, bem como os estudos e artigos que são realizados acerca desta técnica de tratamento de solos.

Em Portugal, os estudos iniciaram-se em 1948, no Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo em Lourenço Marques, com o grande intuito da sua aplicação nas suas ex-colónias.

Em 1949 foram construídos em Moçambique os primeiros lanços experimentais, a que se segue quase imediatamente a construção em grande escala na sua maioria de pavimentos rodoviários. Em 31 de Dezembro de 1966, existiam em Moçambique cerca de 742 km de estradas de solo-cimento, constituindo cerca de 50% dos pavimentos

existentes em Portugal e traduzindo o atraso do nosso país em relação a Moçambique na introdução desta técnica, cuja aplicação só se iniciou em 1961.

Com o passar dos anos e com recurso aos estudos realizados, a atividade da construção em solo-cimento caracteriza-se nos últimos anos pela redução das percentagens de cimento nas misturas, a maior mecanização dos trabalhos com a introdução generalizada de potentes máquinas que garantiam a estabilização em uma só passagem bem como a redução dos custos de produção.

III - Materiais constituintes das misturas de solo-cimento

III.1 - Solos

III.1.1 - Introdução

Os solos são a resultante de processos complexos e variados que ocorrem na natureza. Estes apresentam uma grande variabilidade, a qual condiciona substancialmente o seu comportamento, impedindo assim conseguir-se obter fiabilidade das previsões do seu comportamento.

O Vocabulário de Estradas e Aeródromos (LNEC, 1962) define solo como o “conjunto natural de partículas que podem ser separadas por agitação na água; os vazios entre as partículas, contem água e ar, separada ou conjuntamente”. Outra definição de solo: “solo é toda a ocorrência natural de depósitos brandos moles, cobrindo um substrato rochoso e que é produzida por desintegração e decomposição física e química das rochas, podendo ou não conter matéria orgânica”, (Mineiro, C. 1978).

O solo define-se então como sendo constituído por três fases nomeadamente, materiais polifásicos, ou seja, uma fase sólida, uma fase líquida e uma fase gasosa. A fase sólida é caracterizada pelas partículas que o compõem e designam por esqueleto sólido do solo, a fase líquida é composta por água e a fase gasosa é constituída por ar que existe entre as restantes partículas e muitas vezes estes espaços ocupados pelo ar são designados por poros. Quando os vazios estão totalmente preenchidos por água não existe, obviamente, fase gasosa e o solo diz-se saturado, (Fernandes, M. 2000).

Esquemáticamente o solo pode ser representado da forma indicada na Figura III-1

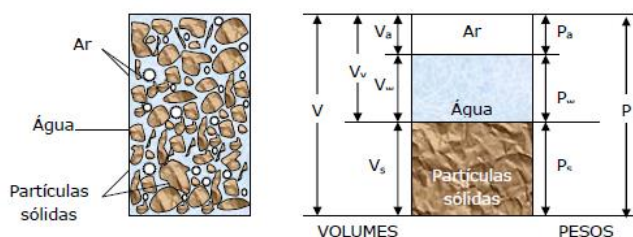


Figura III-1 - Esquema da representação de um solo

(Fonte: Adaptado de Fernandes, 1994)

Cada uma dessas grandezas é designada da seguinte forma:

Va — Volume de ar

Vw — Volume de água

Vs — Volume das partículas sólidas

Pa — Peso do ar (normalmente desprezável, Pa=0)

Pw — Peso da água

Ps — Peso das partículas sólidas

III.1.2 - Tipos de solos

Os solos são na sua maioria resultantes da desintegração e decomposição das rochas constituintes da crosta terrestre, cujos agentes erosivos são, a temperatura, a pressão, alterações cristalinas, hidratação, agentes biofísicos – vegetação, agentes químicos – dissolução, oxidação, redução, hidrólise, lixiviação.

As rochas podem resultar da cristalização de magma ejetado do interior da terra para a crosta terrestre ou, em alternativa, podem ter-se desenvolvido a partir da alteração de outras rochas em resultado de variações de pressão e temperatura (Fernandes, 1994).

Os principais tipos de solos são:

- Solos Argilosos;
- Solos Siltosos;
- Solos Arenosos;
- Solos Cascalhentos;

Os solos argilosos têm a sua origem na desagregação de rochas, que normalmente contêm feldspato, originadas por ataques químicos (por exemplo, pelo ácido carbónico) ou físicos (erosão, vulcanismo), que produzem a fragmentação em partículas muito pequenas, com diâmetros próximos de 0,004 mm.

Por norma, as jazidas são formadas pelo processo de depósito aluvial, ou seja, as partículas menores são levadas por correntes de água e depositadas no lugar onde a

força hidrodinâmica já não é suficiente para mante-las em suspensão. Podendo ser encontradas próximo de rios, muitas vezes formando barrancos nas margens. Apresenta-se em branco e vermelho, sendo geralmente estáveis nas condições termodinâmicas e geoquímicas da superfície terrestre ou de crosta rasa. Estes solos são menos arejados que os arenosos, que os torna menos permeáveis, sendo o percurso de atravessamento da água lento e ficando armazenada, devido aos seus grãos serem menores e bem próximos uns dos outros, dificultando a passagem da água. A sua composição é rica em óxidos de alumínio e de ferro.

No solo, a fração de argila, componente comum das lamas ou barro, como são conhecidos popularmente, é constituída por minerais desse grupo das argilas aos quais se agregam hidróxidos coloidais floculados e diversos outros componentes cristalinos ou amorfos.

As argilas podem classificar-se como:

- **Argila natural:** É uma argila que foi extraída e limpa, e que pode ser utilizada no seu estado natural sem a necessidade de adicionar outras substâncias.
- **Argila refratária:** Argila que adquire este nome em função de sua qualidade de resistência ao calor. As suas características físicas variam, umas são muito plásticas finas, outras não, apresentando geralmente alguma proporção de ferro e encontrando-se associadas a depósitos de carvão. São utilizadas nas massas cerâmicas dando maior plasticidade e resistência em altas temperaturas, assim como se usam na produção de placas refratárias que atuam como isolantes e revestimentos para fornos.
- **Argilas em bola (Ball-Clay):** São argilas secundárias muito plásticas, de cor azulada ou negra, apresenta alto grau de contração tanto na secagem quanto na queima. A sua grande plasticidade impede que seja trabalhada sozinha, ficando pegajosa na adição com a água. Esta é adicionada em massas cerâmicas, para proporcionar maior plasticidade e tenacidade a massa, vitrificando aos 1300°C.
- **Argilas para grés:** Argila de grão fino, plástica, sedimentária e refratária. Vittrifica a uma temperatura entre 1250 °C e 1300 °C, sendo os feldspatos responsáveis pela fundição do material. Após a queima a sua coloração é

variável, indo do vermelho escuro ao rosado e ate mesmo acinzentado do claro ao escuro.

- **Argilas vermelhas:** Argilas plásticas com alto teor de ferro, resistindo a temperaturas ate 1100°C, embora fundam a uma temperatura maior e podem ser utilizadas com vidrados para grés. A sua coloração é avermelhada escura e quando húmida pode chegar ao castanho.
- **Bentonite:** Argila vulcânica muito plástica, contem mais sílica do que alumínio, tendo a sua origem nas cinzas vulcânicas. Apresenta uma aparência e tato gorduroso, podendo aumentar entre 10 e 15 vezes seu volume ao entrar em contacto com a agua. E adicionada a argilas para aumentar sua plasticidade e funde ao 1200°C.
- **Argilas expandidas:** A argila expandida é produzida em grandes fornos rotativos, utilizando argilas especiais que se expandem a altas temperaturas, cerca de 1100 °C, transformando-as num produto leve, de elevada resistência mecânica, ao fogo e aos principais ambientes ácidos e alcalinos, como os outros materiais cerâmicos. As suas principais características são: leveza, resistência, inercia química, estabilidade dimensional, além de excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico.

Os solos siltosos são constituídos pelo conjunto de fragmentos de minerais ou de rocha, menores do que areia fina e maior do que argila. Segundo a escala de Wentworth, de amplo uso em geologia, o seu diâmetro encontra-se compreendido entre 0,004 mm e 0,064 mm, Pinto N. (2009).

Este tipo de solo apresenta uma baixa plasticidade e resistência quando seco ao ar, as suas propriedades dominantes são devidas a parte constituída pela fração silte.

Quando comparado a olho nu com solos argilosos, torna-se difícil de distinguir o silte das argilas, embora estas se distingam por poderem ser separadas devido a sua plasticidade, que no caso do silte apresenta pouca ou nenhuma plasticidade.

O silte é produzido pelo esmagamento mecânico das rochas, ao contrário da argila que resulta da erosão química. Este esmagamento mecânico pode dever-se a ação

glaciar, abrasão, erosão eólica, bem como pela erosão devido as águas, como nos leitos dos cursos de água.

Também podemos designar silte por poeira de pedra, especialmente quando produzido pela ação glaciar, podendo ocorrer como um depósito ou material transportado por cursos de água ou por uma corrente de oceano, ou mesmo pode ser carregado a longas distâncias pelo ar como poeira.

Os solos arenosos são constituídos na sua maioria por grãos com tamanhos compreendidos entre os 0,075 mm e 2 mm, sendo formados principalmente por cristais de quartzo e óxido de ferro, para o caso de solos de regiões tropicais. Os solos arenosos têm um teor de areia superior a 70%, e devido à sua constituição contêm um baixo teor de humidade. Também possuem argilas e outros compostos em menor percentagem, formando assim, um solo permeável devido aos seus poros de dimensões elevadas (macro poros) entre os grãos de areia pelos quais a água e o ar circulam com relativa facilidade. Nos solos arenosos, geralmente o escoamento de água através dos poros costuma ser rápido e estes secam rapidamente após as chuvas. Nesse escoamento a água pode levar sais minerais de forma considerável, contribuindo para tornar o solo pobre nesses nutrientes.

Os solos cascalhentos são solos constituídos por elementos de rocha com uma certa variação de tamanho, com dimensões compreendidas entre os 2 mm na sua menor dimensão e não mais do que 75 mm. Devido às suas dimensões os espaços entre as partículas deixam ser filtradas e assim torna-o um solo permeável, Pinto, N. (2009).

Os solos granulares, que são compostos por partículas de maiores dimensões como, pedras, pedregulhos, cascalhos e areias, podem ser designados por solos não coesivos. Estas misturas, compostas por muitas partículas, individualmente soltas, que no estado seco não aderem uma à outra, são altamente permeáveis. Isto deve-se ao facto de existirem, entre as partículas, espaços vazios relativamente grandes e interligados entre si.

Num solo não coesivo, em estado seco, é fácil de reconhecer, por simples observação, os tamanhos dos diferentes grãos. A capacidade deste tipo de solo para

suportar cargas depende da resistência ao deslocamento e à movimentação entre as partículas individuais. Ao compactar, aumenta-se os pontos ou superfície de contacto entre os grãos, aumenta-se a resistência ao deslocamento entre as partículas e simultaneamente, melhora-se a transmissão de força entre os mesmos.

Nos solos coesivos os grãos são muito finos, quase farinhentos, e aderem firmemente uns aos outros e não podem ser reconhecidos a olho nú. Os espaços vazios entre as partículas são muito pequenos. Devido à sua estrutura, estes solos apresentam resistência à penetração de água, absorvendo-a muito lentamente. Entretanto, uma vez que tenha conseguido penetrar no solo, a água também encontra dificuldade para ser extraída do interior do mesmo.

Ao receber água, tendem a tornar-se plásticos e apresentam maior grau de estabilidade quando secos.

É devido às forças adesivas naturais, coesão, existentes entre as pequenas partículas que compõem estes tipos de solo, que a compactação por vibração não é a ideal nesta situação. Estas partículas tendem a agrupar-se, dificultando uma redistribuição natural entre elas, individualmente.

A classificação dos solos é subdividida quanto à dimensão, à origem e ainda quanto às aplicações dos solos como materiais de construção.

Para identificar um solo devem ser realizados ensaios de granulometria e limites de consistência ou de Atterberg. A composição granulométrica é então a percentagem da distribuição das partículas de acordo com as suas dimensões, podendo ser determinada por peneiração ou por sedimentação. Na Figura III-2, pode-se observar a designação de um solo consoante o resultado da sua curva granulométrica Figura III-1.

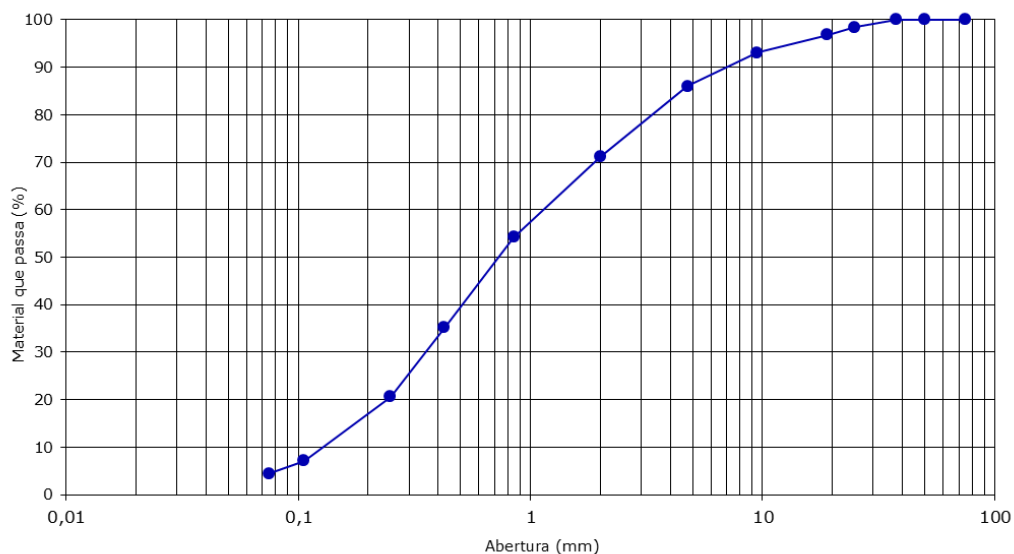


Figura III-1- Curva Granulométrica do solo

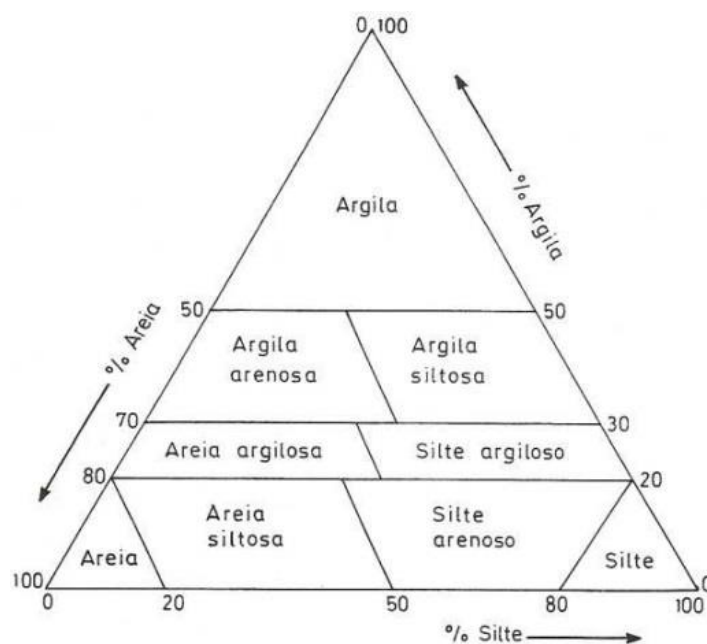


Figura III-2 - Diagrama indicativo das designações a atribuir aos solos de acordo com a respectiva curva granulométrica

(Fonte Fernandes, M. 1994).

Os solos granulares (essencialmente as areia e os cascalhos), quanto à compactidade, classificam-se como soltos, medianamente compactos e compactos ou densos conforme descrito no Quadro III-1.

Quadro III-1 - Índice de compactidade.

Areia	I_D (%)
Muito solta	0 – 15
Solta	15 – 35
Medianamente compacta	35 – 65
Compacta ou densa	65 – 85
Muito compacta ou muito densa	85 – 100

(Fonte: Fernandes, M. 1994).

Quanto à consistência os solos argilosos classificam-se como muito moles, moles, médios, duros, muito duros e rijos (Quadro III-2), e também como lodosos caso o teor em matéria orgânica seja elevado.

Quanto a origem, podem ser classificados como residuais ou transportados. Os primeiros resultam da desintegração e/ou decomposição da rocha mãe, ocupando o mesmo espaço da rocha progenitora. Nos solos transportados ou sedimentares, a sua formação ocorre mais ou menos distante da rocha que lhe dá origem, devido ao arrastamento pela água, vento, glaciares ou pela ação da gravidade.

Quadro III-2 - Índice de consistência.

Argila	I_c
Muito mole	0,0 – 0,25
Mole	0,25 – 0,50
Média	0,50 – 0,75
Dura, Muito Dura e Rija	> 0,75

(Fonte: Fernandes, M. 1994).

Segundo a classificação unificada (Quadro III-3 e Quadro III-4), destinada aos solos a serem utilizados como materiais de aterro (aterros para estradas, aeródromos, barragens de terra, etc.), a divisão é efetuada em quinze grupos, baseada na composição granulométrica e nos limites de consistência.

Esta classificação só foi possível realizar após experiência de muitas obras, associando os comportamentos para os diversos fins a cada um dos grupos de solos.

Existe também outra classificação de solos, a AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) com a finalidade de ser aplicada maioritariamente nas construções rodoviárias, conforme representado no Quadro III-5.

- **Solo Plástico** - Define-se plasticidade como sendo a propriedade dos solos finos que consiste na maior ou menor capacidade de serem moldados sob certas condições de humidade. Segundo a NP 143 (1969), a plasticidade e a propriedade de solos finos, entre largos limites de humidade, que permite que se submetam a grandes deformações permanentes, sem sofrer rutura, fissuramento ou variação de volume apreciável.
- **Solo Não Plástico** – São todos os solos em relação aos quais não é possível a determinação dos limites de Atterberg.

Quadro III-3 - Classificação de solos de acordo com Tabela Unificada (ASTM 2487-85)

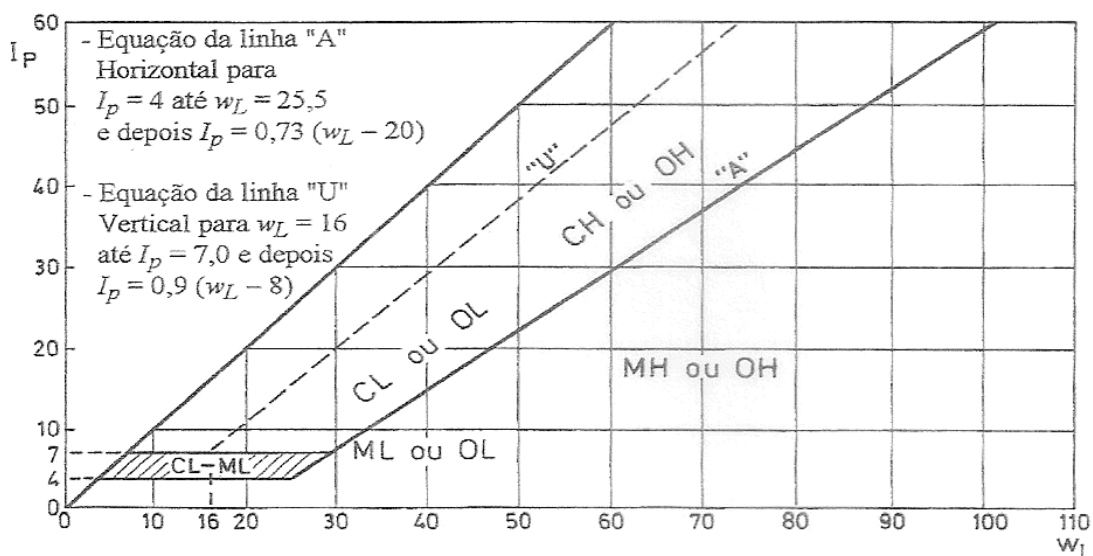
Critérios para designação dos símbolos e nome dos grupos utilizando ensaios de laboratórios (a)				Classificação do solo		
				Símbolo do grupo	Nome do grupo (b)	
SOLOS GROSSOS mais de 50% retido no peneiro n.º 200	Cascalho mais de 50% da fracção grossa retirada no peneiro n.º 4	Cascalhos limpos (c)	$C_{ij} \geq 4$ e $1 \leq C_C \leq 3$ (e)	GW	Cascalho bem granulados (f)	
		Menos de 5% finos	$C_{ij} < 4$ e/ou $1 > C_C > 3$ (e)	GP	Cascalho mal granulados (f)	
		Cascalhos com finos (c) Mais de 12% de finos	Finos classificados como ML ou MH	GM	Cascalho siltoso (f), (g), (h)	
	Finos classificados como CL ou CH		GC	Cascalho argiloso (f), (g), (h)		
	Areias 50% ou mais da fracção grossa passa no peneiro n.º 4	Areias limpas (d)	$C_{ij} \geq 6$ e $1 \leq C_C \leq 3$ (e)	SW	Areia bem graduada (i)	
			$C_{ij} < 6$ e/ou $1 > C_C > 3$ (e)	SP	Areia mal graduada (i)	
		Areias com finos (d) Mais de 12% de finos	Finos classificados como ML ou MH	SM	Areia siltosa (g), (h), (i)	
			Finos classificados como CL ou CH	SC	Areia argilosa (g), (h), (i)	
	SOLOS FINOS 50% ou mais passado no peneiro n.º 200	Siltes e Argilas $W_L < 50\%$	Inorgânico	IP > 7 e situa-se na linha A ou acima desta (j)	CL	Argila magra (k), (l), (m)
				IP < 4 ou situa-se abaixo da linha A (j)	ML	Silte (k), (l), (m)
Orgânico			$\frac{W_L(\text{seco em estufa})}{W_L(\text{sem secagem})} < 0,75$	OL	Argila orgânica (k), (l), (m), (n) Silte orgânico (k), (l), (m), (o)	
Siltes e Argilas $W_L \geq 50\%$		Inorgânico	IP situa-se na linha A ou acima desta	CH	Argila gorda (k), (l), (m)	
			IP situa-se abaixo da linha A	MH	Silte clássico (k), (l), (m)	
		Orgânico	$\frac{W_L - \text{seco em estufa}}{W_L - \text{sem secagem}} < 0,75$	OH	Argila orgânica (k), (l), (m), (p) Silte orgânico (k), (l), (m), (q)	
Solos altamente orgânicos, principalmente matéria orgânica, cor escura e odor orgânico				Pt	Turfa	

(Fonte Fernandes, M. 1994)

Quadro III-4 - Classificação de Solos de acordo com Tabela Unificada (ASTM 2487-85)

- (a) Baseado no material passado no peneiro 3" (75mm)
- (b) Se a amostra virgem tiver blocos e/ou calhaus junto "com blocos e/ou calhaus" ao nome do grupo
- (c) Cascalho com 5% a 12% de finos precisa de dois símbolos
GW – GM Cascalho bem graduado com silte
GW – GC Cascalho bem graduado com argila
GP – GM Cascalho mal graduado com silte
GP – GC Cascalho mal graduado com argila
- (d) Areia com 5% a 12% de finos precisa de dois símbolos
SW – SM Areia bem graduado com silte
SW – SC Areia bem graduado com argila
SP – SM Areia mal graduado com silte
SP – SC Areia mal graduado com argila
- (e) $C_{ij} = D_6 / D_{10}$ $C_C = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$
- (f) Se o solo contém $\geq 15\%$ de areia, junte "com areia" ao nome do grupo
- (g) Se os finos se classificam como CL-ML, use dois símbolos: GC-GM, SC-SM
- (h) Se os finos são orgânicos, junte "com finos orgânicos" ao nome do grupo
- (i) Se o solo contém $\geq 15\%$ de cascalho, junte "com cascalho" ao nome do grupo
- (j) Se os limites de Atterberg se situam na zona sombreada da carta de plasticidade, o solo é um CL-ML, argila siltosa
- (k) Se o solo contém 15 a 30% retido no peneiro n.º 200, junte "com areia" ou "com cascalho" conforme o predominante
- (l) Se o solo contém $\geq 30\%$ retido no peneiro n.º 200, predominantemente arenoso, junte "arenoso" ao nome do grupo
- (m) Se o solo contém $\geq 30\%$ retido no peneiro n.º 200, predominantemente cascalho, junte "cascalhento" ao nome do grupo
- (n) $I_p \geq 4$ e situa-se na linha A ou acima desta
- (o) $I_p < 4$ ou situa-se abaixo da linha A
- (p) I_p situa-se na linha A ou acima desta
- (q) I_p situa-se abaixo da linha A

CARTA DE PLASTICIDADE DE CASAGRANDE



(Continuação (Fernandes, M. 1994))

Quadro III-5- Classificação de Solos A.A.S.H.O

Classificação de solos											
Tipo de solos	Materiais Granulares (35% ou menos passados no peneiro de 0,074 (n.º200) ASTM)							Materiais silto-argilosos (mais de 35% passados no peneiro de 0,074 (n.º200) ASTM)			
Grupos e Subgrupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-4
Granulometria - % passados nos peneiros ASTM: 2,00mm (n.º 10) 0,420mm (n.º40) 0,074mm(nº200)	50 máx 30 máx 15 máx	- 50 máx 25 máx	- 51 máx 10 máx	- - 35 máx	- - 35 máx	- - 35 máx	- - 35 máx	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Características da fracção passados no peneiro de 0,042 mm (n.º 40) ASTM: Limite de Liquidez	-	-	-	40 máx	41 min	40 máx	40 min	40 máx	41 min	40 máx	40 min (1)
Índice de plasticidade	6 máx		Não plástico	10 máx	10 máx	11 min	11 min	10 máx	10 máx	11 min	11 min
Índice de grupo (2)	0	0	0	0			4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipos usuais dos constituintes significativos dos materiais	Calhau, seixo e areia		Areia fina	Seixo e areia siltosos ou argilosos				Solo siltosos		Solo argilosos	
Comportamento na camada sob o pavimento	Excelente a bom					Regular a muito mau					

(1) O índice de plasticidade do subgrupo A-7-5 é igual ou menor que o limite de liquidez menor 30º.

O índice de plasticidade do subgrupo A-7-4 é maior que o limite de liquidez menor de 30.

(2) O índice de grupo indica-se entre parêntesis depois do símbolo do grupo ou subgrupo. Exemplos: A-3 (0); A-2-7 (3); A-7-5 (18)

(Fonte [http:// www.dmc.furg.br/](http://www.dmc.furg.br/), 2012)

III.2 - Cimento

III.2.1 - História do cimento

Ao longo da história da humanidade várias civilizações tentaram procurar materiais que no domínio da construção, permitissem a ligação entre as rochas formando uma massa sólida e coesa.

Os Assírios e Babilónios usavam a argila como material ligante, embora os Egípcios descobrissem a cal e o gesso, com esta descoberta da cal e do gesso, os Gregos e posteriormente os Romanos desenvolveram um cimento altamente durável ao qual chamavam de “caementum”, resultante da combinação da cal com “pozolana”, uma cinza vulcânica na zona de Pozzuolli, junto a Nápoles e ao Monte Vesúvio. Este processo permitia obter um material que oferece maior resistência à ação da água doce ou salgada.

Como exemplos de obras construídas por este material, pode-se enunciar a construção do Fórum Romano, construído á base de uma espécie de betão, bem como os banhos Romanos construídos por volta de 27 A.C., o Coliseu de Roma e a Basílica de Constantino.

Em 1759, um Engenheiro britânico John Smeaton, devido à necessidade de construir uma estrutura sólida para o farol Eddystone na costa da Cornualha, em Inglaterra, levou a cabo numerosas experiências com argamassas em água doce e salgada, tendo descoberto um cimento à base de pedra de calcário, que, com uma determinada proporção de argila, endurecia mesmo debaixo de água. O sucesso desta mistura foi tal, que mesmo passados 126 anos não foi necessária qualquer intervenção ou substituição.

Antes da descoberta do cimento Portland, utilizavam-se grandes quantidades de cimento natural, obtido a partir da queima de uma mistura natural de calcário e argila, como esta mistura ocorria na natureza sem qualquer interferência humana, as propriedades deste cimento apresentam significativa variação.

Em 1830, Joseph Aspdin, patenteou o processo de fabrico de um ligante hidráulico, cujo método consistia em juntar proporções bem definidas de calcário e argila, reduzi-las a pó e calcina-las num forno, de forma a obter um clínquer que era moído até se transformar em cimento.

O clínquer depois de moído tinha uma cor semelhante à das pedras da ilha de Portland, daí o seu nome de cimento Portland dadas as suas semelhanças. Na Figura III-3 é possível ver as instalações da cimenteira Aspdin em Inglaterra.

Em 1844 I.C. Johnson, fixou as primeiras regras rigorosas que permitiam calcular as misturas das matérias-primas e simultaneamente estabelece o controlo científico de todo o processo de fabrico.

Atualmente, o cimento Portland, tal como na altura de Aspdin, consiste numa combinação química pré-determinada e bem proporcionada, de cálcio, sílica, ferro e alumínio, sujeita a um processo de fabrico complexo, rigorosamente controlado e que engloba uma grande variedade de operações. Em 1846 surge a primeira fábrica de cimento criada por Dupont e Demarle em Boulogne-sur-Mer.

O desenvolvimento industrial só foi possível graças ao aparecimento de novos equipamentos, nomeadamente o forno rotativo (inventado em 1885, pelo Inglês Frederick Ransome) e o moinho de esferas.

As técnicas de fabrico de cimento foram constantemente aperfeiçoadas, em 1870 para se produzir uma tonelada de clínquer, eram necessárias 40 horas, atualmente produz-se uma tonelada a cada três minutos. Em Portugal a primeira fábrica nacional de cimentos foi instalada em 1866 na freguesia de Alcântara, no concelho de Lisboa.

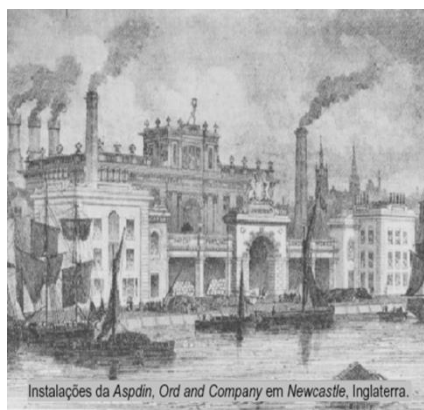


Figura III-3 – Instalações da cimenteira Aspdin em Inglaterra

(Fonte: <http://www.cimento.org/site/concreto.htm>)

III.2.2 - Processo de fabrico do cimento

As indústrias de produção de cimento são instaladas em pedreiras, em que as matérias-primas contenham determinadas proporções de Cálcio, Sílica, Alumina e Ferro. Estas são instaladas junto de jazidas de calcário e argila por forma de minimizar custos, nomeadamente custos associados ao seu transporte. O fabrico do cimento engloba resumidamente cinco etapas, a extração das matérias-primas; preparação, transporte, armazenagem e pré-homogeneização; obtenção do “Cru”; forno e a cozedura; moagem de clínquer e armazenagem de cimento. A Figura III-4 é representativa do processo de fabrico do cimento.

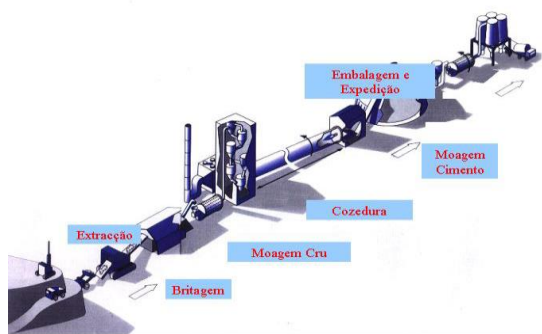


Figura III-4 – Processo de fabrico do cimento

(fonte: <http://www.secil.pt> (2012))

III.2.3 - Cimento: tipologias e propriedades

A composição, os critérios de conformidade e os requisitos dos cimentos correntes encontram-se especificados na norma EN 197-1. Segundo esta norma, de acordo com a natureza e quantidade dos seus constituintes estes estão agrupados em cinco tipos principais:

- CEM I- Cimento Portland
- CEM II- Cimento Portland Composto
- CEM III- Cimento de Alto-forno
- CEM IV- Cimento Pozolânico
- CEM V- Cimento Composto

Em Portugal não são produzidos cimentos do tipo CEM III e CEM V

No Quadro III-6 estão representadas as percentagens de constituintes por tipos de cimentos fabricados em Portugal.

Quadro III-6 - Quadro de cimentos fabricados em Portugal por percentagem de constituintes

Tipos Principais	Tipos de cimento corrente em Portugal		Constituintes principais (%)			Constituintes adicionais minoritários (%)
			Clinker	Calcário	Cinza Volante Siliciosa	
			K	L	V	
CEM I	Cimento Portland	CEM I	95 -- 100	0 -- 5
CEM II	Cimento Portland de Calcário	CEM II/A-L	80 -- 94	6 -- 20	...	0 -- 5
		CEM II/B-L	65 -- 79	21 -- 35	...	0 -- 5
CEM IV	Cimento Pozolânico	CEM IV/A	40 -- 64	...	11 -- 35	0 -- 5

(Fonte: www.secil.pt (2012))

- CEM I- Cimento Portland 42,5 R
- CEM I- Cimento Portland 52,5 R
- CEM II- Cimento Portland Composto B-L 32,5 N
- CEM II- Cimento Portland Composto A-L 42,5 R
- CEM IV- Cimento Pozolânico A (V) 32,5 R

Conforme sua designação e símbolo, os constituintes principais dos cimentos CEM são os seguintes:

- - Clínquer do cimento Portland (K)
- - Escória granulada do alto-forno (S)
- - Materiais Pozolânicos
 - - Pozolana natural (P)
 - - Pozolana natural calcinada (Q)
- - Cinzas volantes
 - - Cinza volante siliciosa (V)
 - - Cinza volante calcinada (W)
- - Xisto cozido (T)
- - Calcário (L ou LL, consoante o teor de carbono orgânico total seja respetivamente < 0,50 % ou < 0,20 % em massa)
- - Sílica de fumo (D)

Os constituintes adicionais minoritários podem estar presentes na composição final do cimento em quantidades limitadas a um máximo de 5%, estes caracterizam-se por serem materiais inorgânicos especialmente selecionados. A principal função destes constituintes é de permitirem melhorar determinadas propriedades físicas do cimento, como a trabalhabilidade ou a capacidade de retenção de água, sem comprometerem a capacidade de resistência mecânica ou a de proteção à corrosão das armaduras.

No Quadro III-7 estão representadas as classes de resistência previstas na norma Europeia EN197-1 e os respetivos requisitos físicos.

Quadro III-7 - Classes de resistência e requisitos físicos e mecânicos dos cimentos
(Fonte: www.secil.pt (2012))

Classe de Resistência	Resistência á Compressão (MPa)			Tempo de início de presa	Expansibilidade
	Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência		
	2 dias	7 dias			
32,5 N	...	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≤ 10
32,5 R	≥ 10,0	...			
42,5 N	≥ 10,0	...	≥ 42,5	≤ 62,5	
42,5 R	≥ 20,0	...			
52,5 N	≥ 20,0	...	≥ 52,5	...	
52,5 R	≥ 30,0	...			

Com recurso ao Quadro III-8, é possível proceder à avaliação das diferenças relativas entre as composições e características médias de cada cimento.

Quadro III-8 - Características médias dos cimentos

		CEM IV/a (V) 32,5N	CEM II/B-L 32,5N	CEM II/A-L 42,5R	CEM I 42,5R
Composição	Núcleo de Cimento (%)				
	clínquer portland	65 - 70	70 - 75	80 - 92	95 - 100
	filer calcário	-	25 - 30	8 - 20	0 - 5
	cinzas volantes	30 - 55	-	-	-
	Gesso (%)	5	5	5	5
Características Químicas (%)	Perda ao fogo	3,1	10,7	5,6	1,5
	Resíduo insolúvel	27,2	2,2	1,4	1,3
	SiO ₂	40,89	16,95	18,57	21,08
	Al ₂ O ₃	4,43	3,73	4,12	4,84
	Fe ₂ O ₃	3,28	2,68	3,02	3,12
	CAO	41,6	58,9	61,33	62,08
	SO ₃	2,94	2,98	3,15	3,19
	MgO	2,42	2,74	2,88	3,41
	Cloretos	0,02	0,02	0,03	0,02
	Cal livre	1,21	1,23	1,49	1,67
Características Físicas	início presa (min)	134	129	123	104
	fim de presa (min)	176	164	158	136
	Resíduo 45 micron (%)	3,4	12,7	7,2	4,4
	Blaine (cm ² /g)	4790	4617	4065	3848
	Expansibilidade (mm)	0,5	0,8	0,8	0,9
	Água de pasta normal (%)	32,3	26,1	27,6	28,7
Características Mecânicas	Resistência à flexão (Mpa)				
	2 dias	4,4	3,9	5,3	6,1
	7 dias	6	5,6	7,2	8
	28 dias	7,9	6,9	8,5	9,2
	Resistência à compressão (Mpa)				
	2 dias	20,7	20,2	28,9	33,4
	7 dias	31,7	30	42,2	46,3
28 dias	43,8	39,2	53	58	

(Fonte: Santos, J. 2008)

III.2.3.1 - Cimento portland comum

Este tipo de cimento não apresenta adições além do gesso (utilizado como retardador da presa), é muito adequado para aplicação em construções de betão, em geral quando não há exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas.

III.2.3.2 - Cimento portland de alto-forno (CP)

Este cimento apresenta uma maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação, alta resistência à expansão e resistência a sulfatos. É um cimento que pode ter aplicação em argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, de betão simples, armado, projetado, rolado, magro e outras. É particularmente vantajoso em obras de betão-massa, tais como barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, pilares, obras em ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, betões com agregados reativos, pilares de pontes ou obras submersas, pavimentação de estradas e pistas de aeroportos.

III.2.3.3 - Cimento portland pozolânico

O cimento portland pozolânico, pode ser aplicado em obras correntes, sob a forma de argamassa, betão simples, armado e pré-esforçado, elementos pré-moldados e artefactos de cimento. É especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. O betão feito com este produto torna-se mais impermeável e durável, apresentando resistência mecânica à compressão superior à do betão feito com cimento portland comum em idades avançadas. Este tipo de cimento apresenta características particulares, que favorecem sua aplicação em casos de grande volume de betão devido ao baixo calor de hidratação.

III.2.3.4 - Cimento portland de alta resistência inicial

Com valores aproximados de resistência à compressão de 26 MPa a 1 dia de idade e de 53 MPa aos 28 dias, superam em muito os valores normativos de 14 MPa, 24 MPa e 34 MPa para 1, 3 e 7 dias, respetivamente. Este cimento é recomendado na preparação de betão e argamassa para produção de artefactos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetónicos pré-moldados e pré-fabricados. Pode ser utilizado na preparação de betão e argamassa em obras desde as pequenas construções até as edificações de maior porte, e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desconfrangem rápida. O desenvolvimento dessa propriedade é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, e pela moagem mais fina do cimento. Assim, ao reagir com a água adquire elevadas resistências, com maior velocidade.

III.2.3.5 - Cimento portland (resistente a sulfatos)

Oferece resistência aos meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de águas servidas ou industriais, água do mar e em alguns tipos de solos. Pode ser usado em betão dosado em central, betão de alto desempenho, obras de recuperação estrutural e industriais, betão projetado, armado e pré-esforçado, elementos pré-moldados de betão, pisos industriais, pavimentos, argamassa armada, argamassas e betão submetidos

ao ataque de meios agressivos, como estações de tratamento de água e esgotos, obras em regiões litorâneas, subterrâneas e marítimas.

III.2.3.6 - Cimento portland de baixo calor de hidratação

O Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) é designado por siglas e classes de seu tipo, acrescidas de BC. Por exemplo: CEM III-32 (BC) é o Cimento Portland de Alto-Forno com baixo calor de hidratação, determinado pela sua composição. Este tipo de cimento tem a propriedade de retardar o aumento de calor em peças de grande massa de betão, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento.

III.2.3.7 - Cimento portland branco

O Cimento Portland Branco diferencia-se pela coloração, e está classificado em dois subtipos: estrutural e não estrutural. O estrutural é aplicado em betões brancos para fins arquitetônicos, com classes de resistência 25, 32 e 40 MPa, similares às dos demais tipos de cimento. Já o não estrutural não tem indicações de classe e é aplicado, por exemplo, em assentamento de azulejos e em aplicações não estruturais, pode ser utilizado nas mesmas aplicações do cimento “comum”. A cor branca é obtida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês, em condições especiais durante a fabricação, tais como resfriamento e moagem do produto e, principalmente, utilizando caulinos no lugar da argila. O índice de brancura deve ser maior que 78%, adequado aos projetos arquitetônicos mais ousados, o cimento branco oferece a possibilidade de escolha de cores, uma vez que pode ser associado a pigmentos coloridos.

IV - Pavimentos rodoviários

IV.1 - Introdução

O pavimento rodoviário tem como principal função permitir a circulação de veículos em segurança e comodidade sob diferentes ações de tráfego, bem como em condições climáticas adversas que possam ocorrer.

O pavimento rodoviário caracteriza-se pela sua estruturação por camadas que podem ter alguma variedade de materiais, estas podem estar mais ou menos ligadas entre si e estão apoiadas sobre a fundação. Estas camadas têm funções específicas, nomeadamente assegurar as características funcionais, garantir impermeabilização das camadas subjacentes, apoiar as camadas sobrejacentes e garantir a eficácia mecânica para as quais foram projetadas. Genericamente estas camadas dispõem-se com qualidade e resistência decrescentes de cima para baixo, de acordo com a progressiva redução dos esforços.

Segundo Branco, F., “*et all*” (2006), o design dos pavimentos é baseado na premissa de que cada camada de material deve garantir um mínimo de qualidade estrutural. Estas camadas ao sofrerem sucessivas deflexões devem ser capazes de resistirem sem fadiga, ou seja, fissuração ou deformação de forma permanente.

Em termos de funcionalidade o pavimento rodoviário deve obedecer a critérios de segurança de circulação e de conforto, ou seja exigências relacionadas com os utentes das vias. No que respeita a critérios estruturais, estes devem permitir a circulação dos veículos sem que ocorram deformações para além de determinados valores limites, dos quais podem pôr em causa a qualidade funcional dos mesmos.

Inicialmente o dimensionamento dos pavimentos era realizado com base no Índice Californiano (CBR- Califórnia Bearing Ratio), mais tarde houve necessidade de relacionar o índice C.B.R. com o módulo de deformabilidade dos solos por forma de traduzir a relação entre a pressão aplicada nos pavimentos e os seus assentamentos. A expressão IV-1 foi proposta por Brown (1990) , com base em ensaios dinâmicos.

$$E_f = 10 \times \text{CBR} \quad (\text{IV-1})$$

em que:

- E_f – Deformabilidade
- CBR – Índice Californiano expresso em percentagem

Simultaneamente Powell 1984, na Grã-Bretanha propunha a expressão (IV-2, para valores de CBR variáveis entre 2 a 12%:

$$E_f = 17,6 \times (\text{CBR})^{0,64} \quad (\text{IV-2})$$

em que;

- E_f – Deformabilidade
- CBR – Índice Californiano expresso em percentagem

Os pavimentos dividem-se em quatro tipos sendo estes;

Pavimentos Flexíveis são pavimentos que se caracterizam pelas suas camadas superiores serem constituídas por materiais estabilizados com ligantes hidrocarbonados seguidas de camadas granulares. A composição deste tipo de estruturas permite grande flexibilidade dos pavimentos embora este tipo de pavimentos seja pouco resistentes a esforços de tração.

Pavimentos Semirrígidos são pavimentos que se caracterizam por constituírem um pavimento com a camada superior de materiais ligados com ligantes betuminosos aplicados sobre uma camada de materiais granulares tratados com ligantes hidráulicos e uma camada de sub-base estabilizada mecanicamente.

Pavimentos Rígidos são pavimentos compostos por uma camada superior constituída por materiais estabilizados com ligantes hidráulicos (em norma uma laje de betão), seguida de, ou uma camada granular de transição, também estabilizada com ligantes hidráulicos ou uma camada de sub-base. Estes caracterizam-se pela sua elevada resistência estrutural à flexão das lajes de betão. No entanto, estes esforços de flexão provocam grandes extensões de compressão e tração que poderão ser evitados

reforçando o seu dimensionamento. Assim os pavimentos rígidos dividem-se em cinco categorias em função do modo de controlo do fendilhamento por retração:

- Betão não armado, com juntas transversais e longitudinais (dotadas ou não de passadores);
- Betão armado, com juntas (dotadas ou não de passadores);
- Betão armado contínuo (BAC);
- Betão pré-esforçado;
- Elementos pré-fabricados.

Pavimentos Mistos e Inversos são pavimentos semelhantes aos semirrígidos, embora o que os diferenciam são as espessuras das camadas das misturas betuminosas e normalmente constituem metade da espessura total do pavimento. Estes são constituídos por misturas betuminosas no topo do pavimento, assentes em materiais granulares tratados com ligantes hidráulicos, dispostos em mais do que uma camada. Os pavimentos Inversos por comparação com os pavimentos semirrígidos, caracterizam-se por terem uma camada granular confinada e não tratada com ligantes, entre a camada superior (tratada com ligantes betuminosos) e a camada inferior (tratada com ligantes hidráulicos).

IV.2 - Estrutura dos pavimentos rodoviários

Os pavimentos rodoviários são estruturas constituídas por um conjunto de multicamadas colocadas sobre uma plataforma de suporte, na sua generalidade podem apresentar dois tipos de estruturação nomeadamente, se a sua construção é efetuada em aterro ou em zona de escavação, conforme Figura IV-1 e Figura IV-2 respetivamente.

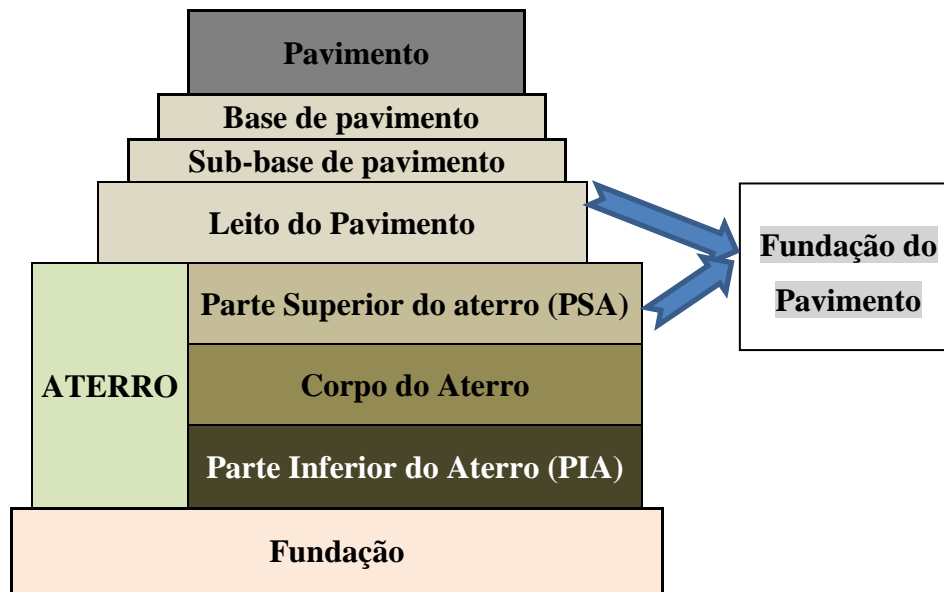


Figura IV-1 – Estrutura genérica de pavimento tipo, em zona de aterro

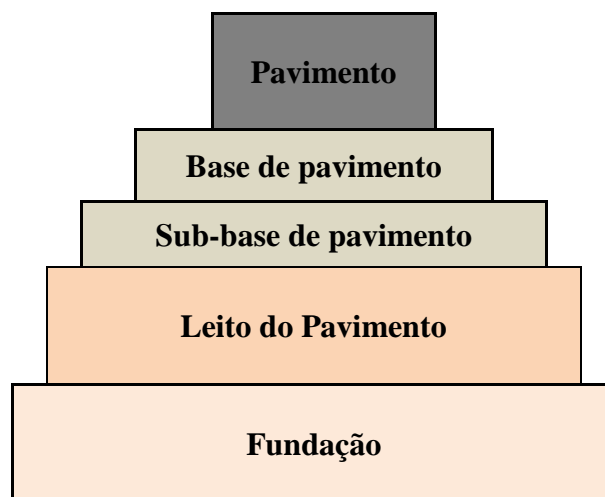


Figura IV-2 - Estrutura genérica de pavimento tipo, em zona de escavação

IV.2.1 - Fundação

Ao longo do traçado de um pavimento e devido às suas condicionantes geométricas, é frequente a realização de trechos com aterro, trechos em escavação, e trechos mistos, o que origina uma grande variação litológica destes trechos.

A fundação é constituída pelo terreno natural ali existente caso disponha das características geotécnicas desejadas, ou é proveniente de empréstimo. Quando o solo

existente não dispõe de características necessárias ou o recurso a solo de empréstimo não é viável, recorre-se a técnicas de tratamento para a reutilização dos solos naturais. Recorre-se a ligantes hidráulicos, que permitem aumentar a sua capacidade de suporte, bem como homogeneizar as suas características resistentes, de modo a atingir uma plataforma regular e com capacidade de suporte uniforme.

IV.2.2 - Aterro

Aterro é o conjunto de materiais (solo) os quais são colocados num local por intervenção que não seja a da natureza. Estes são também designados de maciços artificiais. Estes solos podem ser das zonas de empréstimo ou proveniente das zonas das escavações na linha de corte do traçado

Segundo a Estradas de Portugal (E.P. (2009)), os materiais não reutilizáveis em aterros são todos aqueles que contêm lixo ou detritos orgânicos, argilas com $IP > 50\%$ (Índice de Plasticidade), materiais com propriedades ou químicas indesejáveis, trufas e materiais provenientes de locais pantanosos.

No caso de obras executadas em condições difíceis, é usual o recurso a geocinéticos, geotêxtis, geo-compósitos ou geo-grelhas entre o leito de pavimento e a camada de sub-base. Estes materiais têm como principal objetivo permitir a separação, reforço, filtragem e drenagem. Esta separação tem como objetivo impedir a penetração de partículas finas nos solos ou camadas com granulometrias mais grosseiras, ou mesmo nos solos melhorados, permitindo também a passagem de água (percolação) e protege a estrutura do solo das forças hidrodinâmicas. Este reforço exerce também uma função mecânica, evitando assim deformações dos maciços terrosos.

IV.2.2.1 - Parte Inferior do Aterro (PIA)

A parte inferior de aterro é a zona que assenta sobre a fundação (geralmente considera-se que é constituída pelas duas primeiras camadas do aterro). No caso de se ter procedido previamente a trabalhos de decapagem, para além destas camadas consideram-se também as que se situam abaixo do nível do terreno natural.

O solo usado deve de ser preferencialmente solos pouco sensíveis à presença de água, nomeadamente os solos argilosos, especialmente se aplicados em zonas que são suscetíveis de inundação e/ou de encharcamento dos terrenos adjacentes.

IV.2.2.2 - Corpo do Aterro

O corpo do aterro é a parte compreendida entre a parte inferior e a parte superior do aterro. Nesta zona são aplicados solos de menor qualidade, desde que a sua colocação apresente condições adequadas e simultaneamente as deformações pós-construtivas que se venham a verificar sejam toleráveis a curto e a longo prazo para as condições de serviço.

IV.2.2.3 - Parte Superior do Aterro (PSA)

A Parte Superior do Aterro (PSA) é a zona do aterro sobre a qual integra a fundação do pavimento (Figura IV-1) e anda na ordem dos 40 a 85cm de espessura. Os solos aqui utilizados devem apresentar melhores características geotécnicas.

IV.2.3 - Leito do Pavimento

É a última “camada” que se destina essencialmente a conferir boas condições de fundação ao pavimento (Figura IV-1), não só do ponto de vista das condições de serviço, mas também das condições de colocação em obra. Permite uma fácil e adequada compactação da primeira camada do pavimento, garantindo as condições de traficabilidade adequadas ao tráfego de obra e capacidade de suporte permanente. Os materiais usados para o leito de pavimento são: solos selecionados, materiais granulares não britados, materiais granulares britados e solos tratados com cal/cimento. Por razões construtivas o leito do pavimento pode ser construído por uma ou várias camadas.

IV.2.4 - Fundação do pavimento

A Fundação do pavimento, é o elemento estrutural, constituído pela Parte Superior do Aterro (PSA) e pelo Leito do Pavimento. São também as características dos materiais constituintes da fundação que intervêm no dimensionamento dos pavimentos.

V - Solo-Cimento

V.1 - Introdução

O solo-cimento resulta de uma mistura de solo, cimento Portland e água, em proporções devidamente determinadas, de modo a conferir-lhe determinadas propriedades mecânicas depois de compactado. Este processo visa uma melhoria da resistência do solo e a sua manutenção ao longo do tempo face às variações do teor em água, combinadas com ações mecânicas. O teor de água desta mistura é previamente determinado por ensaio de compactação proctor de modo a garantir a compactação necessária, bem como a hidratação do cimento.

Todo o processo é fundamentalmente químico, associado à formação de ligações químicas entre as partículas adjacentes de cimento e as ligações entre as partículas de cimento e a superfície das partículas do solo. Na mistura de solo-cimento a hidratação do cimento desenvolve-se com diferentes velocidades, os produtos ligantes amorfos são os primeiros a ganhar resistência, pelo que os produtos de hidratação cristalinos vão consolidar a longo prazo com o aumento de resistência. O tratamento de solos com cimento pode-se realizar “*In Situ*” ou recorrendo á mistura realizada em central.

V.2 - Seleção do Estabilizador

A seleção do aditivo para a estabilização do solo deve ter em conta alguns fatores, nomeadamente o tipo de solo a ser estabilizado, o propósito para o qual a estabilização se destina, o tipo de melhoria desejada, a resistência e a durabilidade pretendida, bem como o custo, a disponibilidade e as condições ambientais. Os agentes estabilizadores podem ter maior ou menor eficiência, consoante o tipo de solo estabilizado, dada a significativa variedade, a nível físico e químico.

O cimento Portland é aplicado numa grande variedade de tipos de solos. No entanto, apresenta melhores resultados em solos que apresentem uma menor plasticidade e em misturas com frações mais finas do solo bem realizadas ou seja homogéneas.

A estabilização de um solo com recurso ao cimento tem um campo de aplicação mais alargado, embora em solos com índices de plasticidade (IP) superiores a 30%, seja necessária a adição de cal para se conseguir reduzir o índice de plasticidade. Sendo assim a estabilização de solos com recurso ao cimento, constitui uma das aplicações mais generalizadas para o melhoramento do comportamento dos solos, dada a sua elevada disponibilidade e adequabilidade a uma maior variedade de solos.

O Quadro V-1 estabelece o relacionamento mais adequado entre os diferentes tipos de estabilizadores e os solos, de acordo com o resultado dos ensaios de análise granulométrica e dos limites de Atterberg.

Quadro V-1 - Estimativa para a Escolha de agentes estabilizadores

<p>% de passados no peneiro n.º 200 < 25 %</p>	<p>IP < 10%</p>	Estabilização com cimento
		Estabilização com Betume (para bases se IP < 6%)
	<p>IP > 10%</p>	Estabilização com cimento
		Estabilização com cal
<p>% de passados no peneiro n.º 200 > 25 %</p>	<p>IP < 10%</p>	Estabilização com cimento
	<p>10 % < IP < 30%</p>	Estabilização com cal
		Estabilização com cimento
		Estabilização com Betume (adicionar cal para o IP < 10%(sub-bases) e IP < 6 % (bases))
	<p>IP > 10%</p>	Estabilização com cimento (adicionar cal suficiente para IP < 30%)
		Estabilização com cal

(Fonte: Cruz, M. Lurdes S., Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

Para a preparação de misturas de solo-cimento são recomendáveis três tipos de cimentos, embora a sua escolha esteja muitas vezes dependente de questões económicas e especificações técnicas. Para as aplicações comuns de solo-cimento em estabilização de solos granulares e para situações habituais, são mais utilizados os cimentos do tipo CEM II/B-L 32,5N pois estes garantem bons resultados e a um menor custo.

No caso em que seja urgente a obtenção de certos valores de resistência em menores períodos de tempo, é recomendável a aplicação de cimentos do tipo CEM I 42,5R. Este tipo de cimento possibilita ainda um aumento da capacidade de carga da mistura, permitindo assim uma redução das espessuras das camadas.

Os cimentos do tipo CEM IV/B (V) 32,5 são os mais indicados para misturas com solos quimicamente agressivos dada as propriedades em termos de resistência química.

V.3 - Critérios das misturas solo-cimento

V.3.1 - Critérios de formulação

Com a intenção de determinar uma percentagem ideal de cimento para adicionar ao solo, a Portland Cement Association (1971) efetuou estudos de laboratório e observações do comportamento em obra para o estabelecimento de um critério para a determinação do teor em cimento mínimo. Os estudos realizados a misturas de solo-cimento começam com base num trabalho desenvolvido por Guy Robbins e Packard (1979) da Portland Cement Association.

De acordo com Correia A. (1990), em 1935 descobriu-se que o ensaio Proctor era também aplicável a misturas de solo com cimento e além disso verificou-se que o teor em água ótimo de compactação era suficiente para a hidratação do cimento.

Numa tentativa de aferir quais os possíveis métodos de ensaio que poderiam ser usados para avaliar as misturas de solo-cimento, a Portland Cement Association recorreu quer aos ensaios de solos, quer aos ensaios aos betões, assim fizeram-se considerações sobre ensaios de compressão e tração que poderiam ser modificados para simular as forças internas de expansão e contração produzidas pela variação de humidade e temperatura.

Contudo estes ensaios foram considerados pouco representativos dos fenómenos em causa visto que eles não simulavam nem a natureza dessas forças nem a respetiva amplitude. Contudo foi verificado que o ensaio de molhagem – secagem e de gelo – degelo, poderiam induzir forças internas semelhantes às resultantes das variações de

humidade e temperatura, assim o ensaio de molhagem-secagem foi desenvolvido para contemplar as forças internas de variação de humidade e temperatura.

A humidade tem um papel importante na resistência dos solos e nos materiais de bases dos pavimentos, logo é importante que a humidade tenha um papel importante e predominante nos ensaios a realizar para obtenção de critérios de formulação das misturas de solo-cimento.

O critério de determinação da percentagem mínima obedece então a requisitos que relacionam as variações de volume, o valor máximo de teor em água, a perda de cimento por escovagem e a variação da resistência à compressão.

Após diversos ensaios e diversos trechos experimentais, esses requisitos vieram a confirmar a sua importância na obtenção da percentagem de ligante, contudo pode recorrer-se a ensaios mais simples e com respostas mais rápidas, nomeadamente ensaios de compressão simples e ensaios de compressão diametral podendo assim correlacionar os valores obtidos com a percentagem de ligante usada nesses mesmos provetes.

V.3.2 - Critério dos solos

O solo constitui o maior volume das misturas de solo-cimento, pelo que as suas características podem ter uma influência decisiva no sucesso desta mistura com o cimento, e em particular, nos aspetos económicos, quando comparadas com outros tipos de construção.

De modo a garantir o sucesso da mistura este solo deve respeitar duas condições fundamentais:

1.^a A granulometria e plasticidade deverão permitir a estabilização com percentagens económicas de cimento e o manuseamento conveniente da mistura com o tipo de equipamento de mistura e compactação de que se disponha.

2.^a Deve estar suficientemente livre de substâncias químicas deletérias suscetíveis de prejudicar o endurecimento da mistura de solo, cimento e água, ou de provocar uma diminuição de durabilidade pela destruição das ligações do cimento.

É com base nestas duas condições que se torna possível o estabelecimento de especificações para a seleção de solos aceitáveis.

V.3.3 - Critério da água

A água a aplicar na mistura deve obedecer a certos requisitos, nomeadamente, não deve conter sais, óleos, ácidos, matéria orgânica ou qualquer outra substância que possa ser prejudicial ao cimento.

De uma forma mais específica estes requisitos são:

- Não deve conter mais do que 30 g/l de sais em solução que produzam alteração na presa ou no endurecimento do solo-cimento.

- Não deve conter mais do que 5 g/l de matéria orgânica ou substâncias em suspensão.

- Não deve conter teor em sulfatos que somada com a existência no solo a estabilizar, exceda 0,2 % expresso em SO_3

A água utilizada nestas misturas deve de ser analisada segundo os procedimentos de ensaio estabelecidos na norma EN 1008-2003.

A água nas misturas de solo-cimento tem uma dupla função, nomeadamente ajudar na obtenção da compactação máxima do solo e para que a ação química aconteça através da hidratação do solo.

V.3.4 - Critério do cimento

Com base em especificações em vigor, estabeleceu-se que pode ser empregue qualquer cimento Portland que obedeça ao caderno de encargos da obra em causa para a receção de cimento Portland normal, bem como ter em consideração as condições de armazenamento.

Não é permitido o uso de cimento que esteja armazenado há mais de 90 dias ou uso de cimento com idade superior a 120 dias após o seu fabrico. É fundamental, que o cimento não contenha qualquer aglomerados, os quais são indicativos que este esteve sujeito a armazenamento com presença de humidade.

V.4 - Aplicabilidade do Solo-Cimento

A técnica de Solo-Cimento é adequada para a construção da Parte Superior dos Aterros, na construção de aterros de difícil acesso e quando não existam condições para o funcionamento dos equipamentos de espalhamento e de compactação, designados “aterros técnicos”, pode ser aplicada apenas a uma parte do aterro ou à sua totalidade, em função das características dos seus materiais constituintes, bem como das condições gerais e particulares da obra em causa.

Esta técnica de tratamento poderá ser utilizada também em camadas de coroamento de aterros ou de leito do pavimento e em camadas de base e sub-base, sobretudo no que diz respeito à sua estabilidade à água e ao gelo. No caso de se pretender reutilizar o solo no leito do pavimento, o seu tratamento visa conseguir a obtenção de características mecânicas da mistura, por forma a ser possível o bom comportamento da camada durante a construção do pavimento.

Este tratamento ao solo permite a circulação de equipamentos sem que estes danifiquem as camadas subjacentes e posteriormente garantir esse bom comportamento na camada sob o pavimento. Como este vai assumir uma função estrutural a longo prazo, é necessário proceder à avaliação das suas características mecânicas para efeitos de dimensionamento do pavimento.

Em termos mecânicos à medida que a qualidade do solo aumenta, quando aplicados a camadas de pavimentos, estes permitem com que se proporcione uma melhor distribuição das cargas pela área de pavimento, bem como contribui para a sua dissipação para as camadas subjacentes de forma uniforme, desta forma proporciona a possibilidade da diminuição das espessuras das camadas sobrejacentes.

Podem sistematizar-se os diferentes métodos construtivos do solo-cimento em:

- Método de mistura local, que consiste na realização das diferentes operações de construção no próprio local da obra e em toda a sua extensão.

- Método da mistura prévia em estaleiro fixo, pressupõe a preparação da mistura em betoneiras especiais, ou em instalações estacionadas num ponto determinado e o transporte da mistura para o local da obra e seu espalhamento.

- Método do estaleiro móvel, consiste na utilização de máquinas de grande porte, que se deslocam ao longo da obra e realizam a mistura numa só passagem.

V.5 - Efeito do Cimento nos solos

O cimento apresenta um efeito distinto para solos coesivos e solos granulares. Nos solos granulares o cimento tem como principal função criar ligações nos contactos intergranulares de maneira a garantir a diminuição da plasticidade e a maior efetividade na resistência mecânica do material às solicitações externas graças ao aumento significativo que este induz à coesão do material.

Quando o solo utilizado é um solo granular, embora a pasta de cimento não envolva completamente os vazios entre as partículas constituintes da mistura, a cimentação ocorre apenas entre os pontos de contacto das partículas de areia. Quanto melhor graduado for o solo em termos granulométricos, menor será o índice de vazios garantindo assim maiores áreas de contacto entre as partículas e tornando, assim, a ação de cimentação mais efetiva. Por sua vez as areias de granulometria uniforme apresentam uma área de contacto mínima entre as partículas, dificultando assim o processo de cimentação e exigindo uma maior percentagem de cimento para a sua estabilização.

No caso dos solos coesivos, ou seja, em solos finos (solos de menor dimensão granulométrica das partículas), as partículas de cimento comportam-se como núcleos, aos quais as pequenas partículas de solo se agregam a estes, formando várias partículas de flóculos.

Com a aplicação do cimento como se garante uma maior coesão das partículas, o atrito entre as mesmas é muito maior. Neste caso, a cimentação também ocorre embora

com menor eficiência. No caso da fração argilosa também contribui para o processo de estabilização o qual reage com a cal que resulta da hidratação do cimento. A cal libertada pela hidratação do cimento vai provocar o endurecimento dos agregados de partículas de argila, devido a este processo o aumento da fração fina leva ao conseqüente aumento da superfície específica das partículas, implicando uma maior reação do cimento hidratado com a superfície das partículas.

Os solos argilosos são solos que apresentam grande sensibilidade à presença de água e este facto faz com que apresentem grande expansibilidade, provocando grandes variações de volume e as quais condicionariam as suas aplicações. Desta forma é também possível modificar este tipo de solos com cimento. Nestes tipos de solos e devido a sua grande percentagem de argila, obrigam à utilização de maiores percentagens de cimento na sua estabilização.

Em alguns solos, as reações químicas entre os solos e o ligante podem ser desfavoráveis. Por este motivo é oportuno adequar o tipo de cimento ao tipo de solo. Este tipo de reações podem inibir a hidratação do cimento ou provocar libertação de produtos da reação com características expansivas e como conseqüência, originar tensões no interior do material e conseqüente deterioração do mesmo.

No caso da dosagem de cimento for superior à necessária, o aumento de resistência é considerável embora os custos serão maiores, acontecendo também com que a fratura do pavimento aconteça em blocos de maiores dimensões logo tornando-se menos flexíveis sobre a ação das mesmas cargas, comportando-se como um conjunto de pequenos blocos e evitando que o pavimento funcione como um todo.

Os principais benefícios conseguidos com o tratamento, consistem na redução do teor em água do solo e do índice de plasticidade, bem como o aumento da trabalhabilidade, da consistência imediata e da resistência a médio/longo prazo e ainda de salientar neste processo a alteração da granulometria dos solos e a alteração das características de compactação.

A melhoria imputada aos solos tratados, reflete-se numa maior graduação do solo, na redução da sua plasticidade e em grandes aumentos da sua durabilidade e resistência.

V.6 - Efeito da Pluviosidade no solo-cimento

Durante a construção ou tratamento de solos com cimento, as condições climáticas podem condicionar a sua eficácia. De acordo com o Highway Reserch Board, a chuva ao contrário do que seria de esperar, só afeta a mistura caso esta ainda não tenha sido misturada com o cimento nem compactada. Desta forma altera-se o teor em água, condicionando assim a compactação da mistura e eficácia da mesma.

Embora a chuva não afete substancialmente a mistura, só para casos de grandes pluviosidades é que se devem proceder à suspensão dos trabalhos de aplicação de solo-cimento. Caso ocorram após a compactação, estas já não condicionam nem afetam os trabalhos realizados. O excesso de água dificulta a eficiência das misturas. De acordo com este mesmo organismo, nos solos arenosos, verificou-se que as misturas realizadas podem ser feitas até 2% acima do teor em humidade ótimo ($w_{opt.}$), sem grandes dificuldades, nos solos argilosos a eficiência da mistura verifica-se em cerca de 3% abaixo do teor de humidade ótimo ($w_{opt.}$) do solo.

V.7 - Procedimento de Execução em Obra

A execução de misturas de solo-cimento, devem obedecer a certos procedimentos de execução em obra, estes empregam metodologias que garantem a obtenção dos resultados espectáveis. Neste capítulo é feita a descrição destas metodologias, estes procedimentos, encontram-se esquematicamente representados pelo fluxograma indicado na Figura V-1.



Figura V-1 – Esquema de procedimento de execução de solo-cimento em obra

V.7.1 - Marcação Topográfica

A marcação topográfica garante que a obra a realizar cumpra as dimensões altimétricas e planimétricas, bem como a sua correta localização. Esta fase antecede o arranque dos trabalhos, recorrendo a equipamentos específicos na marcação dos pontos da via, nomeadamente a estacas. Acompanha todo o processo de execução das camadas, garantindo o controlo das espessuras das mesmas.

V.7.2 - Preparação da Camada Subjacente

Antes de dar início à execução da primeira camada de aterro procede-se à análise da fundação, efetuando-se a sua limpeza, regularização e compactação, de modo a garantir as condições de suporte adequadas para a primeira camada do corpo de aterro, e garantir adequada ligação da primeira camada ao terreno de fundação, e execução das restantes camadas constituintes do Aterro.

A camada Subjacente à camada de solo-cimento deve apresentar uma compactação relativa mínima de 95 %, quando referida ao ensaio proctor modificado e um CBR mínimo de 10%. Antes da execução da camada de solo-cimento procede-se a um pré-humedecimento do leito de pavimento de modo a garantir a manutenção do teor em água da mistura a executar.

V.7.3 - Espalhamento do solo e ligante

A execução da camada de solo-cimento deve atender a algumas condicionantes, nomeadamente a sua execução só pode ser realizada quando a temperatura à sombra é superior a 5°C e sem formação de gelo. O solo é transportado e descarregado na zona a executar a camada, onde imediatamente se processa o espalhamento e regularização com recurso a motoniveladora. De modo a fechar a camada efetua-se uma compactação ligeira com o objetivo de promover a densificação uniforme da camada, limitando as variações do teor em água e facilitando a homogeneização durante as operações da mistura.

Nesta fase procede-se ao controlo do teor em água do solo, o qual, no momento da mistura com o cimento, deve garantir uma mistura uniforme e íntima entre ambos, sendo que este valor não pode diferir com o valor realizado pelo estudo laboratorial em mais de 2%.

O espalhamento do ligante é por norma efetuado por meios mecânicos, regulado por um sistema de doseamento volumétrico, controlado pela velocidade de espalhamento conforme a Figura V-2. Este equipamento garante uma correta distribuição e uniforme do ligante pela superfície da camada de acordo com a dosagem pré-estabelecida. A distribuição do ligante é efetuada por faixas paralelas, adjacentes e sem sobreposição, e não devem realizar-se com um intervalo de tempo superior a 1 hora de modo a obter-se uma mistura homogénea e sem aglomerados de cimento.



Figura V-2 - Espalhamento mecânico de ligante

Quando as zonas a tratar são zonas de reduzida extensão ou não acessível a equipamentos, recorre-se a uma distribuição manual do ligante. Neste caso, os sacos de cimento são colocados sobre o solo a tratar, formando uma quadrícula de lados

aproximadamente iguais e correspondentes à dosificação aprovada conforme a Figura V-3. A distribuição do cimento deve de ser feita de forma rápida e por norma usam-se arrastadeiras manuais (rodos) ou vassouras. Esta operação deve ser suspensa em situações de vento forte ou chuva.



Figura V-3 – Espalhamento manual de ligante

V.7.4 - Mistura, Homogeneização e Humidificação

A mistura do cimento tem a maior importância para a qualidade do solo-cimento. Os resultados dependem do tipo de equipamento usado, dos processos de trabalho adoptados e da sua duração, e estão estritamente relacionados com a natureza do solo, com o seu grau de pulverização e com o seu teor em água.

A mistura do cimento com o solo é realizada com recurso a uma misturadora equipada com um disco de grades de eixo horizontal, com velocidade regulável (“Pulvimixers”), conforme é visível na Figura V-4. Este tipo de equipamento tem a particularidade de permitir em simultâneo o controlo da espessura da camada. O número de passagens para que se consiga garantir a homogeneização da mistura é determinado no trecho experimental.

A operação de mistura é iniciada logo após o espalhamento e quando necessário, este equipamento permite também a humidificação do material para que se consiga atingir o teor em água fixado no estudo laboratorial. A duração do período do início da mistura até à compactação deve ser o mais curto possível, de modo a não comprometer o cimento.



Figura V-4 - Misturadora mecânica Wirtgen (WR 2000)

V.7.5 - Compactação

A compactação dos solos tem como a finalidade evitar futuros assentamentos, melhorar a capacidade do solo para suportar as cargas, diminuir a permeabilidade e garantir uma maior estabilidade do material em obra.

Os solos colocados em obra sem qualquer compactação, (com elevado índice de vazios), são facilmente suscetíveis de sofrer assentamentos, serem atravessadas pela água originando arrastamento das partículas mais finas e conduzindo, por vezes, ao colapso da própria obra. A capacidade do solo para suportar as cargas fica também muito diminuída.

A compactação do solo é um processo não natural, em que uma massa de solo vê reduzido o índice de vazios por redução do volume da sua fase gasosa, essencialmente à custa da expulsão de ar, melhorando as suas características de resistência, deformabilidade e permeabilidade, através de uma ação manual ou mecânica de aplicação repetida de cargas.

A compactação da mistura é efetuada longitudinalmente, sendo aconselhável que esta operação não se efetue num intervalo de tempo superior a três horas desde o início da mistura, o esquema de compactação adotado bem como o equipamento utilizado é definido no trecho experimental, a Figura V-5 é representativa de um desses tipos de equipamentos.



Figura V-5 – Cilindro de rasto liso

V.7.6 - Cura

A cura é uma das fases pela qual a mistura de solo-cimento terá de passar antes de entrar ao serviço. Normalmente é fixado um prazo de sete dias, e é observado pelos valores obtidos na realização dos ensaios laboratoriais aos provetes do estudo efetuado.

Os meios mais vulgares de manter no campo uma proteção adequada do solo-cimento no período de cura consistem no espalhamento de terra mantida húmida sobre a superfície, ou com recurso a rega de um produto betuminoso apropriado, conforme visível na Figura V-6.



Figura V-6 – Proteção de Cura de mistura de solo-cimento

VI - Trecho Experimental

VI.1 - Introdução

Antes da realização do processo de tratamento do solo através do solo-cimento, procede-se à realização de um trecho experimental onde se procede à definição das metodologias de trabalho o qual poderá ser realizado em restabelecimentos, ou na plena via a uma cota inferior á cota do leito do pavimento e com uma extensão mínima de 100 metros, onde neste poderão ser verificados os seguintes aspetos:

- Verificação da homogeneização da mistura de solo-cimento;
- Composição dos meios de compactação a intervir;
- Grau de compactação e teor de cimento efetivo que foi aplicado em toda a espessura da camada;
- Verificação do teor em água, do grau de compactação e do teor de ligante;
- A espessura da camada e a sua regularidade superficial estão dentro dos parâmetros especificados pelo caderno de encargos;
- Acompanhamento do processo de cura da mistura e realização de ensaios de resistência mecânica;
- Recolha de amostras “*In Situ*”.
- Comportamento mecânico das camadas executadas e posterior aferição da fiabilidade dos resultados e das tendências obtidas no estudo laboratorial inicial.

VI.2 - Equipamento

O equipamento a ser usado no trecho experimental é o mesmo que será utilizado no processo de execução da mistura de solo-cimento. No trecho experimental são testados os equipamentos a serem aplicados, bem como a sua operacionalidade e eficácia.

Os principais equipamentos a serem usados são:

- Espalhadora de ligante.
- Misturadora.
- Motoniveladora.
- Cilindro vibrador de rasto liso.
- Trator e Jopper.
- Camião de Emulsão.
- Cilindro de Pneus.

VI.3 - Procedimento de execução

O local escolhido para executar o trecho experimental pode ser um local pré-definido ou em plena via.

O solo a usar na mistura é regularizado, misturado, humidificado e compactado no local onde se executou o aterro, de forma a garantir uma melhor união entre o solo existente e o aterro. Os solos são escavados e transportados para o local do trecho experimental por camiões basculantes. Estes solos provenientes da escavação devem já ter sido objeto de ensaios de caracterização geotécnica e as suas características deverão já ser conhecidas.

Os solos são colocados no local a executar a mistura, espalhados com recurso a uma motoniveladora e ligeiramente compactado, equivalente a 20% das passagens necessárias à compactação e com o objetivo de adensar uniformemente a camada, limitando as variações do teor em água e facilitando a sua homogeneização.

De seguida procedido o espalhamento do ligante e em regra, aplica-se pelo menos 1% de ligante a mais do que a estudada laboratorialmente, de modo a colmatar erros de distribuição ou até mesmo arrastamento do ligante pelo vento. Este processo é elaborado por um espalhador (Figura VI-1) com sistema de doseamento volumétrico controlado pela velocidade, garantindo a uniforme distribuição do cimento.



Figura VI-1 – Mistura dos materiais

A mistura é por norma produzida por uma misturadora equipada com um disco de grades de eixo horizontal, permitindo ajustar a espessura da camada.

O solo é compactado com uma percentagem de compactação superior a 95% relativa ao proctor modificado e regularizado para que depois da compactação a camada fique com a espessura pretendida. A Figura VI-2 mostra o equipamento (motoniveladora), usado na regularização das camadas.



Figura VI-2 – Regularização da altura da camada

Após a passagem do cilindro, efetuam-se alguns ensaios com o Gamadensímetro, para se saber o valor da compactação que o solo atingiu. Se a compactação for superior a 95%, significa que o número de passagens de cilindro são suficientes para se conseguir a compactação da mistura.

A Figura VI-3 é ilustrativa do cilindro de rasto liso, este usado para compactação das camadas e a Figura VI-4, é ilustrativa da realização dos ensaios de controlo de compactação com recurso ao equipamento de núcleodensímetro.



Figura VI-3 – Compactação da Mistura



Figura VI-4 – Controlo de compactação da mistura

O procedimento é repetido para três faixas com diferentes percentagens de cimento, de acordo com as percentagens usadas no estudo laboratorial, sendo que após executadas as três faixas, são colhidas amostras para se efetuarem ensaios laboratoriais.

VII - Controle de Qualidade

VII.1 - Introdução

O controle de qualidade é essencial para garantir que o produto final seja adequado ao uso a que este se destina, garantindo que a mistura está de acordo com o contratado, tanto em questões relacionados com a sua performance como em termos de especificações através de inspeções e controle no terreno ou em laboratórios.

O controle de qualidade da mistura deve ser realizado com base nos parâmetros definidos no caderno de encargos da respetiva obra. Neste documento estão preconizados as frequências e tipos de ensaios a realizar, que garantem a verificação da ocorrência de variações do solo e permitem efetuar a sua classificação. Com isso, permite adaptar o melhor método a utilizar para a estabilização da camada.

No processo de realização de uma estabilização com recurso a solo-cimento em obra, o espalhamento do cimento, a quantidade de cimento, a homogeneidade da mistura, o intervalo de aplicação dos seus constituintes, a compactação e a cura da mistura, são estes os fatores em que o controle de qualidade se focaliza e que têm maior importância na garantia da qualidade final.

O espalhamento do cimento por norma não origina problemas, realça-se apenas que nos solos muito argilosos o espalhamento torna-se um fator a ter em conta uma vez que condiciona a homogeneidade da mistura.

Em função da quantidade de solo a tratar, a quantidade de cimento é previamente avaliada e devidamente controlada.

A perfeita homogeneização da mistura garante a eficiência da mesma. Esta verificação deve de ser efetuada em toda a extensão do pavimento tratado, bem como até à profundidade pré-estabelecida. A mistura deve apresentar uma coloração uniforme, indicativa de que esta homogeneidade está correta. Após a compactação e cura da mistura, o controle de diversos pontos ao longo de toda a obra é de extrema importância.

VII.2 - Ensaios

A realização de ensaios aos solos permite obter as várias características de cada tipo de solo, permitindo conhecer os solos existentes em obra ou candidatos a serem aplicados nesta. Os estudos permitem também e em aplicação ao tema abordado por este trabalho, estabelecer o relacionamento entre o teor em ligante e as propriedades para o estudo em causa, nomeadamente correlacionar a resistência da mistura em função da percentagem de ligante e do teor em água.

Estes ensaios dividem-se entre ensaios que avaliam as características físicas e ensaios que permitem avaliar as características mecânicas;

- Características Físicas

A análise granulométrica, os limites de consistência, o equivalente de areia, o azul-de-metileno, a baridade seca máxima, o teor em água ótimo, são todos elementos chave para este tipo de caracterização, podendo através dos mesmos conseguir-se identificar e caracterizar o solo.

- Características Mecânicas:

Para efeitos de dimensionamento são tidas em conta as características mecânicas. Estas podem ser obtidas através da realização de ensaios, nomeadamente; compactações proctor, CBR (Califórnia Bearing Ratio), Ensaio CBR imediato, compressões uniaxiais (Simples), e compressões diametrais.

VII.2.1 - Percentagem em Matéria Orgânica de Solos (JAE S. 9-53)

Este ensaio destina-se a detetar a presença de matéria orgânica numa amostra de solo, bem como quantificá-la em termos percentuais. Este é deveras muito importante, se um solo contiver elevados teores em matéria orgânica, a sua resistência pode atingir valores muito pequenos e com isto condicionar a sua utilização, ou em caso de já ter sido aplicado, com o passar do tempo e com sucessivas alternâncias de condições tanto físicas como químicas, poderão ocorrer deformações nos pavimentos.

VII.2.2 - Ensaio de teor de humidade natural, Teor em Água (w) em estufa ventilada

O teor em água (w) de um solo é definido como o peso da água contida numa amostra de solo, dividido pelo peso seco das partículas sólidas do solo, sendo esta expressa em percentagem.

A determinação do teor em água pelo método de secagem em estufa (NP 84) consiste basicamente em determinar o peso húmido da amostra do solo cujo teor em água se pretende determinar. Posteriormente, para a determinação do peso seco, o método tradicional é a secagem em estufa, na qual a amostra é mantida com temperatura entre 105 °C e 110 °C, até que apresente massa constante, o que significa que a amostra perdeu a sua água por evaporação.

O teor em água (w) é determinado pela diferença entre o peso da amostra húmida e o peso da amostra seca conforme a expressão VII-1.

Calculo:

$$w = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \times 100 \quad (\text{VII-1})$$

sendo:

m1- massa do recipiente

m2 – massa do recipiente e do provete antes da secagem

m3 – massa do recipiente e do provete seco

Na Figura VII-1 é possível verificar amostras que estão acondicionadas numa estufa ventilada por forma a ser possível a sua secagem.



Figura VII-1- Estufa ventilada

VII.2.3 - Determinação dos limites de Atterberg ou de Consistência

Os limites de Atterberg foram definidos, para caracterizar as mudanças entre os estados de consistência dos solos. Posteriormente, Casagrande apresentou uma padronização da forma de se proceder nos ensaios para a determinação desses limites.

Os limites de consistência determinados segundo a norma portuguesa NP-143, traduzem o estado crescente do teor em água para solos com fração significativa de partículas finas (30% ou mais com dimensão inferior a 0,05mm), com a adição de teores em água crescentes permitem, desta forma, determinar os limites de plasticidade e de liquidez.

Dependendo de seu teor de humidade um solo argiloso pode apresentar características iguais às de um líquido ou de um sólido. Entre esses dois estados limites, o solo passa por um estado plástico e por um estado semissólido, são estes os estados de consistência do solo.

O índice de plasticidade (IP) é calculado pela diferença entre o limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), conforme expressão VII-2:

$$IP = LL - LP \quad (VII-2)$$

Este índice mede a plasticidade dos solos e representa a quantidade de água necessária para que um solo passe do estado plástico ao líquido, permitindo medir a tendência à expansão do solo.

VII.2.3.1 - Limite de Liquidez (LL)

O limite de liquidez de um solo é o teor de humidade que separa o estado de consistência líquido do plástico e para o qual o solo apresenta uma pequena resistência ao cisalhamento. Para a realização do ensaio, utiliza-se o aparelho de Casagrande conforme Figura VII-2, onde tanto o equipamento, como o procedimento são normalizados.

No ensaio de limite de liquidez mede-se, indiretamente, a resistência ao cisalhamento do solo para um dado teor de humidade, através do número de pancadas necessárias ao deslizamento da amostra. O ensaio continua até que os dois lados se juntem, longitudinalmente interrompendo-se nesse instante e anotando-se o número de pancadas necessários para o fecho da ranhura.



Figura VII-2- Verificação da altura de material do limite de liquidez

Para a determinação do limite de liquidez, este é igual ao teor de humidade correspondente a 25 pancadas. Para a sua determinação deve-se realizar o ensaio até que se tenha no mínimo quatro pontos nomeadamente, dois acima e dois abaixo das 25 pancadas.

Na Figura VII-3 é possível verificar o gráfico que se obteve após a realização do ensaio do limite de liquidez e o qual indica o ponto do limite de liquidez.

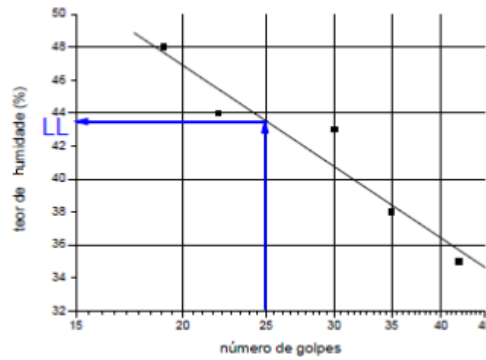


Figura VII-3- Gráfico determinação do limite de liquidez

VII.2.3.2 - Limite de Plasticidade (LP)

O limite de plasticidade traduz-se como sendo o extremo inferior do intervalo de variação do teor de húmidade no qual o solo apresenta comportamento plástico.

Para a realização do ensaio é necessário uma placa de vidro, com uma face porosa e um cilindro padrão com 3mm de diâmetro.

O ensaio inicia-se rolando, sobre a face porosa da placa de vidro, uma amostra de solo com um teor de húmidade inicial próximo do limite de liquidez, até que, duas condições sejam, simultaneamente alcançadas. Na primeira, o rolinho tenha um diâmetro igual ao do cilindro padrão e a outra condição, o aparecimento de fissuras (início da fragmentação).

Conforme a Figura VII-4, o teor de húmidade do rolinho, nesta condição, representa o limite de plasticidade do solo.



Figura VII-4 – Ensaio Limite de Plasticidade

VII.2.4 - Ensaio Azul-de-metileno

Com o ensaio de azul-de-metileno é possível avaliar a argilosidade dos solos ou seja a quantidade de argila existente em gramas, por cada 100 gramas de solo, relacionando o mesmo com a capacidade de adsorção da solução de azul-de-metileno de um solo ou de um material rochoso e constitui um dos parâmetros de identificação para classificação dos solos, por meio da mancha de azul-de-metileno, conforme demonstra a Figura VII-5.



Figura VII-5 – Ensaio azul-de-metileno

VII.2.5 - Ensaio de Equivalente de areia

O ensaio de equivalente (LNEC E 199) de areia destina-se a determinar o equivalente de areia de um solo, sendo esta a característica que exprime a quantidade e a qualidade dos elementos finos plásticos presentes num solo.

Este ensaio exprime a qualidade e a quantidade de elementos finos plásticos existentes no solo. Consiste em agitar energicamente uma amostra de solo arenoso numa proveta contendo solução diluída e após repouso, determinar a relação entre o volume de areia e volume de areia mais o de finos que se separam da areia. Os elementos arenosos ficam sedimentados no fundo da proveta, não sofrendo floculação, os elementos finos são aqueles que permanecem em floculação.

O equivalente de areia (E.A.) representado na Figura VII-6 de um provete é dado pela expressão VII-3:

$$E. A. = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (\text{VII-3})$$

em que:

h1 – corresponde à altura do nível superior do floculado em relação ao fundo da proveta.

h2 – corresponde à altura do sedimento determinada com auxílio de um pistão.

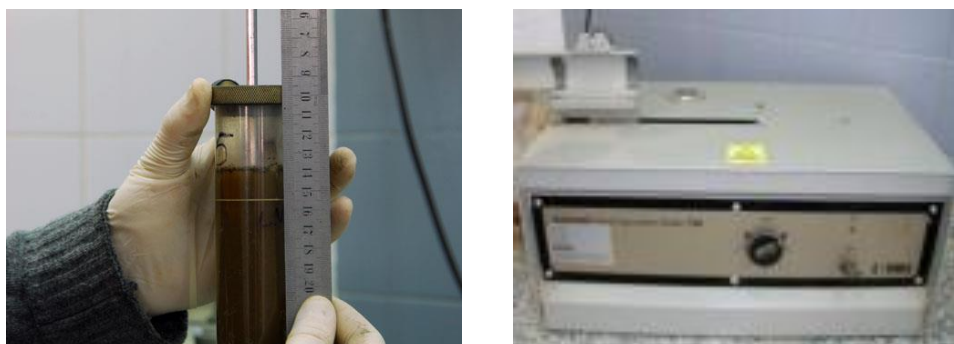


Figura VII-6 – Ensaio de equivalente de areia

VII.2.6 - Análise granulométrica

A composição granulométrica de um solo é realizada através do ensaio de análise granulométrica (LNEC E 196), (LNEC E 239), este permite determinar as características de identificação do solo. É considerado como dos ensaios mais essenciais realizado aos solos e que deve ser sempre determinado.

A composição granulométrica define a distribuição de partículas do solo em percentagem de peso total (percentagem ponderal), de acordo com as suas dimensões. Para as partículas com dimensões maiores ou iguais a 0,075mm (peneiro n.º 200), a determinação da composição granulométrica é feita pelo método da peneiração (LNEC E 239), para partículas menores do que 0,075mm (peneiro n.º 200), o método utilizado para determinação da composição granulométrica pelo processo de peneiração deixa de ser exequível é o método mais correto é o da sedimentação segundo a especificação (LNEC E 196).

A sedimentação consiste em misturar o solo de dimensão inferior a 0,075mm (peneiro# 200), com água destilada e observar o processo de sedimentação das partículas, medindo a densidade do líquido em certos intervalos de tempo. A diferença de densidades medirá a quantidade de partículas que sedimentou ao fim de um certo tempo (t), ou seja, a quantidade de partículas que no tempo (t) percorreu uma certa distância (h). Essas partículas sedimentaram a uma velocidade ($v = h/t$), conhecendo-se esta velocidade (v), calcula-se segundo a expressão VII-4 da “lei de Stokes”, o respetivo diâmetro (D) das partículas.

$$v = \frac{g}{18} \cdot \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\eta} \cdot D^2 \quad (\text{VII-4})$$

sendo:

v – Velocidade de sedimentação de uma partícula;

D - Diâmetro da partícula esférica;

η - Viscosidade do fluido (com temperatura de 20°C ou densária)

g - Aceleração da gravidade;

γ_s - Peso Volúmico das partículas sólidas;

γ_w - Peso Volúmico da Água

Os resultados dos valores das análises granulométricas são apresentados em gráficos com escala logarítmica no eixo das abcissas, eixo este, representante das dimensões das partículas em milímetros. No eixo das ordenadas estão representados os valores do material passado nos peneiros em percentagem. Através da interpretação destes dados podemos então proceder a classificação do solo, o que se pode classificar em argilas, siltes, areias ou cascalho sendo que os siltes e o cascalho ainda se subclassificam em finos médios ou grossos.

Na Figura VII-7 é possível verificar a curva granulométrica de um solo e na Figura VII-8, é possível ver a execução da análise granulométrica pelo método da peneiração e análise granulométrica de finos (partículas menores do que peneiro n.º 200) executados pelo método da sedimentação.

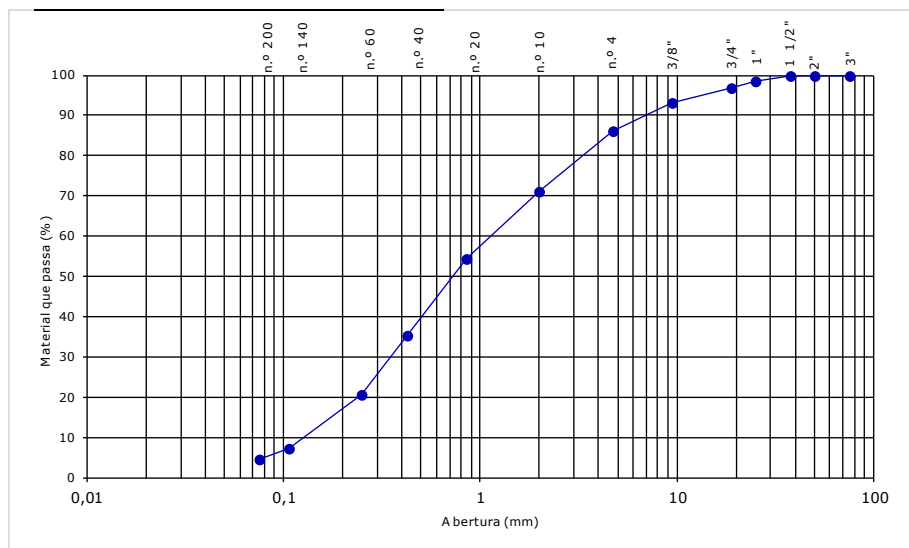


Figura VII-7- Fusão granulométrica

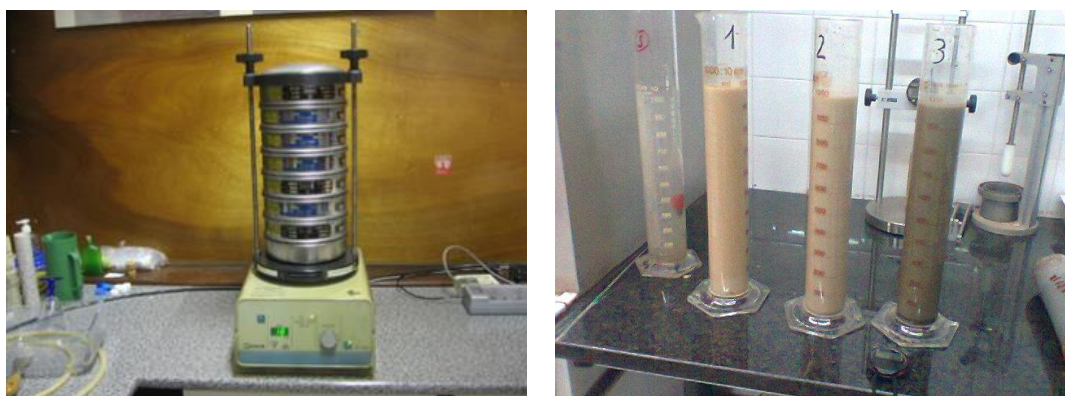


Figura VII-8 – Análise granulométrica pelo método da peneiração e pelo método da sedimentação

VII.2.7 - Compactação Proctor

A densidade com que um solo é compactado sob uma determinada energia de compactação depende da humidade do solo no momento da compactação, por forma a estudar a relação entre o teor em água do solo e o peso volúmico seco que pode ser obtido utilizando um dado equipamento e um dado procedimento de compactação, recorre-se ao ensaio de compactação proctor. Este ensaio de compactação, é vulgarmente conhecido por ensaio de compactação proctor (LNEC E 197), devido ao nome do investigador que o desenvolveu.

Os solos para que possam ser utilizados nos aterros das obras de terraplenagem devem preencher certos requisitos, ou seja, certas propriedades que melhoram o seu comportamento sob o aspeto técnico, transformando-os em verdadeiro material de construção. Esse objetivo é atingido de maneira rápida e económica através das operações de compactação. Essas propriedades visam principalmente o aumento da resistência da rutura dos solos sob ação de cargas externas, a redução de possíveis variações volumétricas quer pela ação de cargas, quer pela ação da água que eventualmente percola pelo solo, bem como, garantir a impermeabilização dos solos, pela redução do coeficiente de permeabilidade, resultante do menor índice de vazios.

Com este ensaio é possível verificar que na mistura de solo com maiores quantidades de água quando compactada, o peso específico aparente dessa mistura costuma aumentar porque a água de certa forma funciona como lubrificante, aproximando as partículas permitindo melhor entrosamento e por fim, ocasionando a redução do volume de vazios.

No Quadro VII-1 é possível ver as variantes que se podem adotar para a realização deste ensaio mediante a energia de compactação pretendida:

Quadro VII-1 - Quadro indicativo das características dos ensaios proctor

Ensaio		N.º de Camadas	Pilão	Tipo de Molde	N.º de Pancadas
Proctor Normal ou Leve	Baixa energia de compactação	3 Camadas	Pequeno	Molde Pequeno	25
			Grande	Molde Grande	55
Proctor Modificado ou Pesado	Energia de compactação elevada	5 Camadas	Pequeno	Molde Pequeno	25
			Grande	Molde Grande	55

(Fonte: adaptado de Canelas, D. 2010)

Num determinado ponto, atinge-se um peso específico máximo a partir do qual ainda que se adicione mais água, o volume de vazios passa a aumentar. A explicação para este acontecimento reside que para quantidades adicionais de água após o ponto ótimo, ao invés de facilitarem a aproximação dos grãos fazem com estes se afastem,

aumentando novamente o volume de vazios e causando o decréscimo dos pesos específicos correspondentes.

Ao realizar-se a compactação de um solo sob diferentes condições de humidade e para uma determinada energia de compactação, obtém-se então uma curva de variação dos pesos específicos aparentes secos (γ_d) em função do teor de humidade (w). Esta curva é chamada de curva de compactação, o peso específico aparente seco cresce com o aumento do teor de humidade até atingir um máximo ($w_{opt.}$) e depois começa a decrescer, ou seja, embora o teor de humidade esteja aumentado, após o valor ótimo do teor de humidade o peso específico aparente vai continuar sempre a diminuir.

Para os diferentes teores de humidade é traçado um gráfico onde a ordenada do ponto correspondente ao pico da curva, é o máximo peso específico aparente seco que este solo poderá atingir para a energia de compactação usada e teor de humidade correspondente. As coordenadas do ponto máximo receberam a denominação de teor em água ótimo ($w_{opt.}$) e peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{d máx}$), a curva de compactação é traçada a partir dos pares de valores, peso específico aparente seco - teor de humidade, distribuídos de forma que, no mínimo quatro pontos se encontrem à esquerda do designado ramo seco e dois à direita no ramo húmido.

Na Figura VII-9 é possível ver o gráfico que obtemos da compactação onde nos permite relacionar a baridade do solo com o teor de água do solo, e onde o ponto máximo da parábola corresponde à baridade máxima do solo, bem como o seu teor de humidade correspondente.

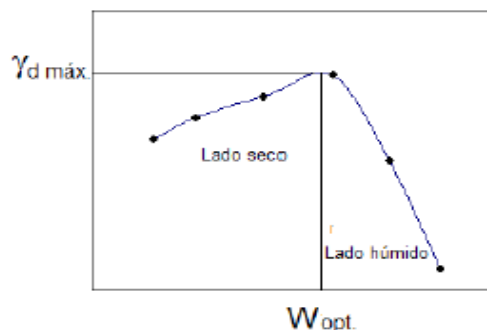


Figura VII-9 - Gráfico tipo de compactação Proctor

A energia específica de compactação (E_c) é determinada através da expressão (VII-5):

$$E_c = \frac{p \times 9,8 \times h \times n \times c}{V} \quad (\text{VII-5})$$

em que:

p – peso do pilão (Kg)

h – altura de queda (cm)

n – número de pancadas por camada;

c – número de camadas;

V – volume do molde (cm³);

Cada tipo de solo influencia a sua curva de compactação com o respetivo teor ótimo em água e peso volúmico seco máximo, os solos com granulometria mais grosseira, apresentam normalmente teores em água ótimos mais baixos e pesos volúmicos secos máximos mais elevados quando comparados com solos de granulometria mais fina.

Os solos finos são constituídos por partículas de minerais argilosos de dimensões reduzidas e com geometria lamelar de elevada superfície específica, tendo que se utilizar maiores quantidades de água conduzindo a teores ótimos mais elevados e consequentemente pesos volúmicos inferiores quando comparados com solos de granulometria mais grosseira.

As areias grossas bem graduadas com uma superfície lisa e forma arredondada, obtêm-se curvas de com pesos volúmicos máximos superiores e verifica-se uma maior variação de peso volúmico com pequena variação do teor em água, isto é, maiores inclinações da curva de compactação nos “lados” secos e húmidos. Nos solos mais finos a curva de compactação apresenta-se menos pronunciada e obtém-se pesos volúmicos máximos inferiores.

A Figura VII-10 é possível verificar as curvas tipo de compactação de cada tipo de solo.

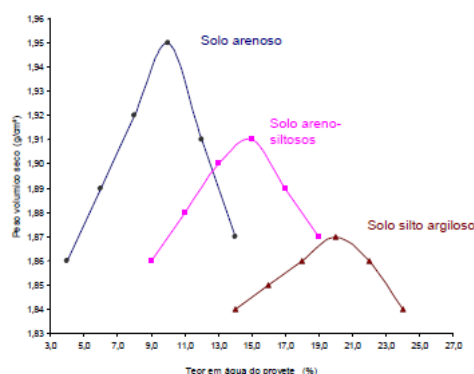


Figura VII-10 - Variação da curva de compactação em função do tipo de solo

VII.2.8 - Ensaio Californiano ou C.B.R. (Califórnia Bearing Ratio)

O ensaio frequentemente utilizado para avaliar a resistência mecânica de um solo é o CBR, devido a sua facilidade de execução e grande divulgação na área de engenharia de pavimentos, sendo um valor de referência utilizado nos projetos de dimensionamento de pavimentos.

O ensaio C.B.R tem como objetivo estimar a resistência de um solo compactado para sua utilização principalmente em bases, sub-bases e subleitos de pavimentos rodoviários ou aeroportuários.

A sequência do ensaio consiste na determinação da humidade ótima e do peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) com recurso ao ensaio de compactação proctor, procedendo-se de seguida há determinação das propriedades expansivas do material e determinação do Califórnia Bearing Ratio (C.B.R.).

O procedimento do ensaio consiste na determinação de uma relação carga-penetração, medindo a resistência à penetração mediante ao puncionamento, na face superior da amostra. Esta amostra de solo é compactada no teor em água ótimo ($w_{opt.}$) e densidade máxima (γ_d), o solo é compactado em cinco camadas sendo efetuados três provetes compactados com, 55, 25 e 12 pancadas por camada, com um peso do pilão de 4,5 kg e uma altura de queda de 45 cm, de acordo com a especificação (LNEC E 198).

Ao fim de 96 horas dos provetes estarem submersos efetuam-se as leituras nos defletómetros observando-se assim a expansão do material, seguindo-se o ensaio de penetração dos provetes na prensa CBR. Durante o ensaio de penetração a deformação é medida por meio de um defletómetro, a Figura VII-11 e Figura VII-12, são representativas da imersão dos provetes em água e da prensa para determinação do índice de suporte californiano.

Tendo em vista a velocidade de penetração a correspondência entre as deformações, os tempos e as cargas correspondentes são determinadas através das leituras diretamente no ecrã digital que compõe a prensa. Por meio destas leituras conhecem-se as cargas atuantes no pistão, as quais, divididas pela sua área, fornecerão as pressões aplicadas à amostra e traça-se, a seguir, a curva pressão-penetração.



Figura VII-11 - Imersão de provetes C.B.R.



Figura VII-12 - Prensa C.B.R.

VII.2.9 - Ensaio de compressão Triaxial

O ensaio de compressão Triaxial consiste num ensaio em que são aplicadas tensões laterais uniformes e constantes a um provete de forma cilíndrica, esta é designada de tensão de confinamento e ao mesmo tempo uma tensão axial, através do qual o provete é conduzido à rutura. O provete é ensaiado dentro de uma câmara e revestido com uma membrana com o intuito de simular as condições e o comportamento do solo as mais semelhantes possíveis às condições “*In Situ*” do solo.

A tensão de confinamento é aplicada por intermédio de um fluido sob pressão, geralmente água desionizada e deaerada que não entra em contacto direto com o solo devido a existência da membrana de latex.

Devem de ser ensaiados pelo menos três provetes com diferentes tensões de confinamento, geralmente os provetes são ensaiados a 50, 100 e a 200 MPa. A realização deste ensaio permite-nos obter diversos parâmetros sendo os mais usuais a coesão do solo (c') bem como determinar o ângulo de atrito (ϕ'), sendo este considerado um dos ensaios mais completos e mais complexos da mecânica dos solos, este ensaio permite também um maior controlo da amostra do solo a ensaiar, bem como, a obtenção de resultados mais realísticos e fidedignos.

Na Figura VII-13 é possível ver a execução de um ensaio triaxial e respetivo equipamento.



Figura VII-13- Equipamento de ensaio Triaxial

VII.2.10 - Ensaio de corte direto

A resistência ao corte de um solo consiste em obter a máxima tensão de corte que o solo pode suportar sem sofrer rutura. A resistência ao corte é basicamente um fenómeno de atrito em que esta resistência depende predominantemente da pressão normal ao plano de corte.

No ensaio de corte direto (BS 1377-Parte 7), faz-se variar a pressão normal (σ), medindo-se a respetiva tensão de corte (τ) na rutura.

A caixa de corte é constituída basicamente por duas meias-caixas metálicas onde o solo é colocado e provoca-se o deslocamento relativo entre as duas meias-caixas,

deste modo, a superfície de rotura é imposta e tem de se dar ao longo de um plano horizontal.

O ensaio é realizado em geral sob condições de deslocamento (deformação) controlado, porque deste modo é possível obter a resistência de pico e de rutura do solo, considera-se que é atingida a rutura quando o solo não consegue resistir a qualquer acréscimo de carga horizontal sem que este entre em rutura.

Na Figura VII-14, é possível ver o equipamento de corte direto.

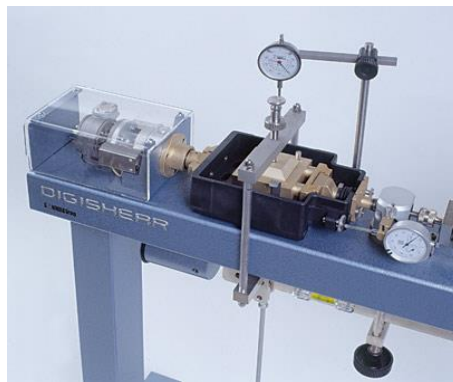


Figura VII-14- Equipamento de corte direto

VII.2.11 - Ensaio de permeabilidade com recurso a câmara triaxial

A permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento de água através dele, todos os solos são mais ou menos permeáveis, pelo que importa determinar a sua permeabilidade tendo em conta o uso a que este estará destinado.

O conhecimento do valor da permeabilidade é muito importante em algumas obras de engenharia, principalmente na estimativa do caudal que percolará através do maciço e da fundação de barragens de terra, em obras de drenagem ou em rebaixamento do nível freático.

Os mais graves problemas destes tipos de construção estão relacionados com a presença da água, desta forma o conhecimento da permeabilidade e de sua variação é necessário para a resolução desses problemas.

Para a realização deste ensaio o provete de solo é colocado no interior da célula triaxial envolvido por uma membrana e disposto entre uma base e um pedestal com duas pedras porosas a fazerem esta separação física, uma na parte superior e outra na parte inferior do provete.

A célula Triaxial é preenchida com água e aplicam-se tensões de confinamento que comprimem a membrana flexível ao provete para que o fluxo lateral (entre a membrana e o provete) seja minimizado. Liga-se uma linha de drenagem na parte inferior do Provete (onde entrará o fluxo d'água) e outra na parte superior (onde sairá o fluxo), desta forma, controla-se o fluxo com maior precisão e obtém-se maior fiabilidade na realização do ensaio por este método do que com recurso a outros permeâmetros.

As principais vantagens de usar a câmara triaxial é que se garantem a saturação da amostra por contrapressão e tem-se a possibilidade de verificar o parâmetro (B) conforme a expressão VII-6. Com este equipamento é possível controlar as tensões principais, podendo-se realizar ensaios com materiais de baixa condutividade hidráulica. A membrana que envolve a amostra reduz o risco de percolação lateral devido à tensão de confinamento aplicada e as mudanças volumétricas e deformações podem ser monitorizadas.

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma} \quad (\text{VII-6})$$

em que:

B – Parâmetro B

Δu – variação das pressões nos poros

$\Delta \sigma_3$ - Tensões de confinamento do provete

VII.2.12 - Ensaio de compressão

A resistência à compressão é uma das propriedades das misturas de solo-cimento mais estudada, estes ensaios dão indicações da evolução da reação da mistura solo-cimento-água, o tempo de presa e o grau de endurecimento. Estes ensaios são tomados como critério fundamental para o projeto das misturas de solo-cimento.

VII.2.12.1 - Ensaio de compressão Simples

O ensaio de compressão simples (NLT-305) permite determinar a resistência ou a tensão de rotura de provetes cilíndricos, visando obter indicações acerca do endurecimento das misturas e da resistência do material estabilizado. A qualidade dos solos estabilizados com cimento é usualmente baseada nos valores obtidos nestes ensaios.

Na Figura VII-15 está representado o ensaio á compressão simples de um provete de solo-cimento:



Figura VII-15 – Ensaio de compressão simples

VII.2.12.2 - Ensaio de compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral (NLT-304) permite determinar a resistência ou tensão de rotura de tração de provetes cilíndricos quando solicitados segundo a sua geratriz.

Na Figura VII-16 está representado o ensaio á compressão diametral de um provete de solo-cimento:



Figura VII-16 – Ensaio de compressão diametral

VII.2.13 - Ensaio de determinação da Baridade “*In Situ*” pela Garrafa Areia

O método de determinação da baridade através da garrafa de areia é idealmente apropriado para ensaios em obra, ou seja, designados “*In Situ*” bem como quando não é possível ensaiar com o método do gamadensímetro ou núcleodensímetro, ou se, se pretender determinar o peso volúmico do solo.

Este método segundo a especificação LNEC E 204, consiste na colocação de uma placa no local cujo o peso volúmico se pretende determinar, após a regularização desse mesmo local procede-se à escavação e remoção de uma certa quantidade de solo, de acordo com a dimensão do orifício do tabuleiro e por forma a formar uma pequena cavidade de secção horizontal aproximadamente circular e de fundo arredondado.

O material tem que ser todo cuidadosamente recolhido e pesado, após este procedimento enche-se a cavidade com areia proveniente da garrafa de areia que havia sido previamente seca e calibrada.

Após já se saber o peso volúmico da areia que havia sido previamente determinado e o volume que foi necessário para encher a cavidade, pode-se obter o volume da cavidade com base no peso do material removido. Com o volume da cavidade conhecido, pode-se então determinar o peso volúmico do solo “*In Situ*”.

Para a determinação do peso volúmico do solo, usa-se a expressão VII-7:

$$\gamma_s = \frac{m_4}{m_1 - m_5 - m_2} \times \gamma_a ; \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (\text{VII-7})$$

em que:

m_1 – massa inicial da garrafa com areia (g)

m_2 – constante da garrafa (g)

m_4 – massa do material escavado do furo(g)

m_5 – massa da garrafa com a areia remanescente (g)

γ_a - baridade da areia

A Figura VII-17 é representativa da execução do ensaio de garrafa de areia;

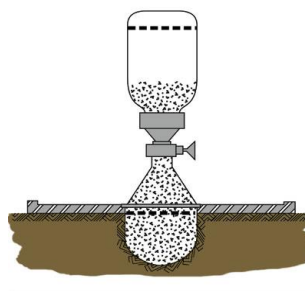


Figura VII-17 – Ensaio Garrafa de Areia

(Fonte: <http://lauwtjunnji.weebly.com/pengujian--sand-cone.html>)

VII.2.14 - Ensaio de Gamadensímetro ou Núcleodensímetro

Este ensaio é usado para a determinação “*In Situ*” do peso volúmico e do teor em água de camadas de solo acabadas de compactar sendo o equipamento mais utilizado no controlo de compactações. O equipamento usado chama-se gamadensímetro ou núcleodensímetro e basicamente este aparelho tem uma fonte radioativa e um recetor-contador. Na fonte do equipamento existem dois tipos de materiais radioativos, um para a emissão de raios gama e outro para a emissão de neutrões.

Para a execução do ensaio caso o mesmo seja feito á superfície, coloca-se o aparelho sobre a superfície do terreno cuja camada se pretende verificar o seu peso volúmico, no caso de ser em profundidade previamente realiza-se um furo e desce-se o espigão do gamadensímetro até a profundidade que se pretende ensaiar.

Para proceder a determinação do teor em água, o aparelho emite uma fonte de neutrões se esta for a partir da superfície do terreno é designada de “transmissão

indireta”, ou no caso de se desejar fazer o ensaio em profundidade este é designado de “transmissão direta”, a intensidade da resposta detetada no recetor é proporcional ao teor em água no solo.

Para proceder a determinação do peso volúmico, o aparelho emite uma fonte de raios gama, se esta for a partir da superfície do terreno é também designada de “transmissão indireta”, ou, no caso de se desejar fazer o ensaio em profundidade este é designado de “transmissão direta”. A quantidade de raios gama captados por unidade de tempo no contador situado na célula é inversamente proporcional ao peso volúmico do material atravessado.

A baridade da amostra a ensaiar em massa por unidade de volume é calculada através da comparação da taxa de radiações gama detetadas com a calibração inicialmente estabelecida. A baridade seca da amostra a ensaiar é obtida através da subtração da massa de água por unidade de volume relativamente a baridade húmida da amostra.

Basicamente este ensaio serve para determinar o grau de compactação de um solo por comparação com a baridade seca máxima determinada pelo ensaio de Proctor e com isto, de forma rápida e expedita controlar as compactações.

Na Figura VII-18 é possível ver o equipamento de gamadensímetro ou núcleodensímetro.



Figura VII-18- Ensaio de gamadensímetro ou núcleodensímetro

VII.2.15 - Ensaio de carga em placa

O ensaio carga em placa (“Plate Load Test” PLT) permite a determinação do módulo de deformação de um solo, ou seja, é uma das propriedades mais importantes em termos de engenharia principalmente no controlo e parametrização para o projeto de obras rodoviárias.

Este ensaio caracteriza-se por usar uma placa de aço com dimensões especificadas pelas normas (DIN 18134; ASTM D1194; NF P 94-117-1), onde são efetuados ciclos de carga e descarga no solo, geralmente com recurso a camiões para servirem de apoio ao macaco hidráulico do equipamento carga em placa. Neste ensaio o solo é comprimido pela placa circular pelo processo de dar carga através de um controlador de pressão com diferentes patamares de carga de acordo com a respetiva norma do ensaio.

O grande objetivo deste ensaio é a determinação da curva carga/deformação, através de três defletómetros montados numa estrutura triangular vulgarmente designada de “aranha”, com base nesta curva de deformação é possível avaliar a capacidade de carga de um solo.

Na Figura VII-19 é possível ver a execução de um ensaio de carga em placa.



Figura VII-19- Ensaio de carga em placa

VIII - Estudo Experimental

VIII.1 - Considerações Gerais

O estudo interessa-se no âmbito da aplicação em obra do solo estabilizado com cimento por parte da empresa Mota-Engil, Engenharia e Construção S.A. na subconcessão designada de “Pinhal Interior” mais propriamente no Lote 2, lanço Avelar Norte / Condeixa (IP3-IC2). Este lote tem uma extensão total de 16 111 metros, com início a norte do aglomerado de Avelar e fim após o nó de Condeixa/Coimbra (IP3 / IC 2).

A via foi projetada para uma velocidade de 120 Km/h com um perfil tipo 2 x 2 vias e com uma largura de plataforma de 23,6 metros, com separador rígido em perfil do tipo “New Jersey” com 0,6 m de largura. A obra tem duas faixas de rodagem com duas vias de 3,75 metros de largura cada, com bermas esquerdas de 1 metro e bermas do lado direito com 3 metros de largura. Neste lote estiveram envolvidos trabalhos de terraplanagem, drenagem, pavimentação, obras acessórias e instalação / colocação de equipamentos de sinalização e de segurança.

O presente trabalho apresenta o estudo da estabilização de um solo com ligante hidráulico (cimento), com vista a sua posterior utilização na camada de Leito de Pavimento. Esta estabilização tem como propósito melhorar as características físicas e mecânicas de um solo natural proveniente da escavação da obra por forma a permitir a sua aplicação nas camadas de pavimento.

O estudo visa a determinação da percentagem ótima de cimento a usar nesta estabilização relacionando a resistência mecânica obtida com a percentagem de cimento que variam entre os 3, 4,5 e 6% e teores de humidade que variam entre o Ótimo -1%, o Ótimo e o Ótimo + 2%.

VIII.2 - Materiais utilizados

A água empregue na mistura para a compactação da mesma e hidratação do cimento é doce natural, isenta de óleos, ácidos, matérias orgânicas ou outros produtos

que possam ser prejudiciais à presa e endurecimento da mistura, satisfazendo a Especificação LNEC E 372.

O cimento utilizado no tratamento deste solo é do tipo II classe 32,5 fornecido pela Cimpor, o qual satisfaz as definições, classes de resistência e características da NP 2064 e às prescrições do caderno de encargos para o fornecimento e receção dos cimentos (NP 2065) ou às prescrições em vigor.

O solo estudado é proveniente da Subconcessão do Pinhal Interior – Lote 2, IC3 - Avelar Norte/Condeixa, este solo caracteriza-se por ser um solo arenoso de cor vermelha.

VIII.3 - Preparação das amostras

VIII.3.1 - Objetivo da amostragem

O principal objetivo da amostragem, é a obtenção de uma amostra integral que seja representativa das propriedades médias de um lote de material, ou seja, os resultados dos ensaios efetuados a uma amostra com uma dimensão razoável e a qual a execução do ensaio da amostra integral em laboratório seria inconcebível. Esta amostragem vai então representar as características médias do material em questão.

VIII.3.2 - Princípios da amostragem

A integridade das amostras é garantia de qualidade e fiabilidade dos resultados obtidos, desta forma, o processo de amostragem obedece a alguns princípios, nomeadamente:

- A amostragem e o transporte de amostras devem ser efetuados de forma correta e cuidadosa, garantindo o seu correto acondicionamento, bem como, os recipientes das amostras serem suficientemente adequados para este tipo de amostras e condições de transporte garantem que as mesmas não são contaminadas contribuindo de certa forma para que um ensaio dê resultados fiáveis e representativos do material a estudar.

- As amostras devem ser identificadas de modo claro e duradouro, devem estar embaladas e transportadas de modo a preservar o estado em que foram colhidas, bem como, acompanhadas de um relatório de amostragem.
- A variação da amostragem causada pela heterogeneidade do lote o qual esta pertence, reduz-se a um nível aceitável se o número de tomas for suficiente que garantam a sua representabilidade.
- A fiabilidade dos resultados obtidos nos ensaios encontra-se intimamente associadas à representatividade das amostras ensaiadas, pelo que, a amostragem é crucial na boa condução destes processos.

VIII.3.3 - Redução de Amostras

Durante o presente trabalho foram executadas a reduções das amostras para preparação dos provetes ou amostras para a realização dos diferentes ensaios necessários ao estudo em causa. O processo de divisão da amostra para a obtenção das amostras para a realização de provetes, decorreu da seguinte forma:

- 1- Mistura de todo o material rececionado para garantir a homogeneidade do material;
- 2- Peneiração no peneiro $\frac{3}{4}$ (# 19mm);
- 3- Destorroamento do material retido no peneiro $\frac{3}{4}$ (# 19mm);
- 4- Redução das amostras do solo através do método de utilização do divisor de amostras.

Na Figura VIII-1 é possível ver a execução do processo de divisão de amostras;



Figura VIII-1- Processo de divisão de amostras

VIII.4 - Características físicas e mecânicas dos materiais

Os materiais utilizados neste tipo de tratamentos devem obedecer a determinadas características sendo estas definidas em cadernos de encargos e normas ou especificações para os quais garantem que se cumpridas estas características permitirão obter resultados espectáveis e fiáveis.

Para os materiais abordados por este trabalho e que foram utilizados no estudo em questão, o caderno de encargos para os solos impõe as características discriminadas no Quadro VIII-1:

Quadro VIII-1 - Quadro resumo da caracterização dos solos

Parâmetros	Requisito
Dimensão máxima das partículas	$D_{max} = 75 \text{ mm}$
Material retido no peneiro ASTM n.º 10	$\leq 65\%$
Material passado no peneiro ASTM n.º 200	$\leq 35 \%$
Limite de liquidez	$\leq 35 \%$
Índice de plasticidade	$\leq 12 \%$

As características definidas em projeto e para uma utilização da mistura de solo-cimento em camada de Leito de Pavimento, este estabelece os requisitos no quadro VIII-2.

Quadro VIII-2 - Quadro resumo da caracterização das misturas

Parâmetros	Requisito
Teor de ligante	$\geq 3\%$
Resistência à tração por compressão diametral - CEM I aos 28 dias	$\geq 0,425 \text{ MPa}$
Resistência à tração por compressão diametral - CEM II aos 90 dias	$\geq 0,425 \text{ MPa}$
Resistência à compressão simples - CEM I aos 28 dias	$\geq 3 \text{ MPa}$
Resistência à compressão simples - CEM II aos 90 dias	$\geq 3 \text{ MPa}$
Teor em água	$\geq W_{opt}-1\%$

VIII.5 - Metodologia do estudo

O estudo inicia-se com a realização dos ensaios laboratoriais conforme encontram-se descritos no ponto VII.1 - deste presente trabalho e que permitem efetuar tanto a caracterização do solo, bem como, determinar a percentagem de cimento mínima necessária, nomeadamente:

Ensaio para a determinação das características físicas dos solos:

- Determinação do teor de água
 - - Método de estufa (NP 84)
- Determinação da Granulometria
 - - Análise granulométrica por peneiração húmida (LNEC E 239)
- Determinação dos limites de consistência (NP 143)
- Equivalente de areia (LNEC E 199)
- Azul-de-metileno (NF P 94-068)
- Percentagem orgânica dos solos (JAE S.9-53)

Ensaio para a determinação das características mecânicas dos solos/misturas:

- - Compactações Proctor Pesada (LNEC E 197)
- - Ensaio CBR (LNEC E 198)
- - Ensaio CBR imediato (NF P 94-078)
- - Compressões Uniaxiais (Simples) (NLT 304)
- - Compressões Diametrais (NLT 305)

Após a realização dos ensaios para caracterização do solo, obtiveram-se os resultados de acordo com o Quadro VIII-3:

Quadro VIII-3 - Quadro resumo da caracterização dos solos

Ensaio	Peneiros / malha #	Resultado
Análise granulométrica por peneiração húmida (LNEC E 239) *	P# 1 1/2''	100,0%
	P# 1''	98,4%
	P# 3/4''	96,9%
	P# 3/8''	93,0%
	P# n°4	86,0%
	P# n°10	71,1%
	P# n°20	54,2%
	P# n°40	35,2%
	P# n°60	20,6%
	P# n°140	7,1%
	P# n°200	4,4%
Equivalente de areia (LNEC E 199)	17%	
Limites de consistência (NP 143)	Limite Liquidez (LL) = 24 %	
	Limite Plasticidade (LP) = 16%	
	Índice Plasticidade (IP) = 8%	
Compactações Proctor (LNEC E 197)	$\gamma_{dm\acute{a}x} = 2,135 \text{ g/cm}^3$	
	$w_{opt} = 7,3\%$	
Teor de água (NP-84)	$w = 5,3\%$	
Azul-de-metileno (NF P 94-068)	0,51 g/100g _{solo}	

* % de passados acumulados

Da análise do quadro resumo da caracterização dos solos é possível verificar que o solo em estudo cumpre os requisitos indicados pelo caderno de encargos e referenciados no Quadro VIII-1.

De acordo com os valores obtidos através dos ensaios laboratoriais realizados nomeadamente análise granulométrica e limites de consistência, o solo segundo a classificação unificada proposta pela ASTM D2487-005 designa-se por Areia mal graduada (SP) e segundo a classificação rodoviária AASHTO é um solo A-2-4 (0), cujos boletins de ensaio são apresentados em anexo.

Para avaliar a percentagem mínima de cimento necessária para a obtenção de valores de resistência exigidos pelo projeto foram adotadas três composições de misturas, com 3, 4.5 e 6 % de cimento, para as quais se determinou o teor em água ótimo com recurso ao ensaio de compactação Proctor e para uma energia de compactação pesada.

No Quadro VIII-4, são apresentados os valores encontrados no ensaio de compactação proctor e na Figura VIII-1 é possível ver as respetivas curvas de compactação Proctor das misturas de solo-cimento:

Quadro VIII-4 - Valores obtidos com realização de ensaio de compactação Proctor

Percentagem de cimento (%)	Teor em água W ótimo Inicial ** (%)	Teor em água W ótimo Final *** (%)	Baridade seca máxima * (g/cm ³)
3	7,3	7,4	2,130
4,5	7,3	7,4	2,130
6	7,3	7,3	2,128

* Calculada com o teor em água final

** Teor em água do solo antes da mistura com cimento

*** Teor em água do solo após a mistura com cimento

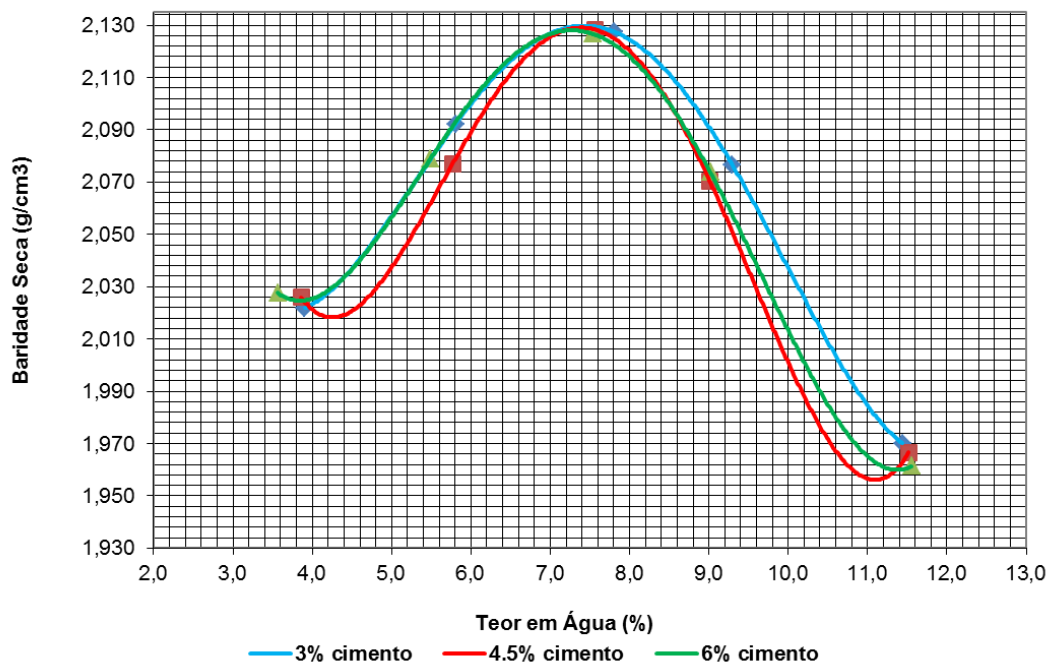


Figura VIII-1 - Curvas compactação Proctor das misturas

Após a execução de ensaios de compactação com várias dosagens em cimento a fim de se definir a baridade seca máxima e o teor ótimo em água para cada situação dá-se início a preparação de provetes para ensaios de tração por compressão diametral e de ensaios de compressão simples. Para cada uma das misturas moldaram-se provetes, fazendo-se variar o teor em água entre -1% do valor ótimo de teor em água ($\omega_{opt} - 1\%$), com o valor ótimo (ω_{opt}) e 2% acima do valor ótimo de teor em água ($\omega_{opt} + 2\%$).

Para cada percentagem de ligante (3, 4.5 e 6%) e para cada teor em água ($\omega_{opt} - 1\%$, ω_{opt} e $\omega_{opt} + 2\%$), moldaram-se os seguintes provetes; seis provetes para a compressão diametral sendo, dois para os 7 dias, dois para os 28 dias, e dois para os 90 dias e seis para a compressão simples, dois para os 7 dias, dois para os 28 dias e dois para os 90 dias, perfazendo um total de 108 provetes.

Os Provetes são moldados com 178 mm de altura e 152 mm de diâmetro, de acordo com a norma espanhola NLT 305. Para se manter uma energia de compactação equivalente à do proctor modificado, os provetes foram executados dispendo-se o solo em cinco camadas e compactando-se cada camada com 86 pancadas.

Durante a moldagem dos provetes determinou-se o teor de humidade inicial e final, segundo a norma NP-84. A Figura VIII-2 é representativa do processo de moldagem dos provetes.



Figura VIII-2 - Moldagem de provetes

Passadas pelo menos 12 horas procede-se à desmoldagem dos provetes com a ajuda de um extrator para o efeito, pesam-se os provetes e envolvem-se com película impermeável para posteriormente coloca-los numa câmara de acondicionamento com temperatura ambiente constante de 20°C, onde permaneceram até à data de ensaio, conforme se pode ver na Figura VIII-3.



Figura VIII-3 - provetes acondicionados em câmara controlada

Ao fim da cura dos provetes nomeadamente aos 7, 28 ou 90 dias, procede-se ao ensaio dos provetes à compressão simples e à compressão diametral, imediatamente após se ensaiar cada provete determina-se o teor em água do respetivo provete para cálculo da baridade seca após a cura.

A Figura VIII-4 e Figura VIII-5 são representativas dos ensaios de compressão realizados aos provetes:



Figura VIII-4 - Ensaio compressão simples



Figura VIII-5 - Ensaio de compressão Diametral

VIII.6 - Apresentação e análise dos resultados

Neste ponto faz-se a apresentação dos resultados obtidos nos ensaios realizados aos provetes de solo tratado com cimento a fim de avaliar a sua eficiência no tratamento do solo através da comparação dos resultados das composições realizadas com diferentes percentagens de cimento e diferentes teores em água.

VIII.6.1 - Análise dos limites de consistência

Com a realização dos ensaios para determinação dos limites de consistência, obtiveram-se os valores apresentados no Quadro VIII-5:

Quadro VIII-5 – Resultados dos limites de consistência

		solo natural	solo + 3% cimento	solo + 4,5% cimento	solo + 6% cimento
Limites de consistência (NP 143)	Limite Liquidez (LL) =	24	NP	NP	NP
	Limite Plasticidade (LP) =	16	NP	NP	NP
	Índice Plasticidade (IP) =	8	NP	NP	NP

NP- Solo não plástico

Através da análise ao Quadro VIII-5, é possível verificar e como seria previsível que o solo em estudo quando tratado com cimento este torna-se em solo não plástico (NP), pelo que é impossível a realização dos ensaios de limite de Atterberg ou de consistência.

A Figura VIII-6, Figura VIII-7 e Figura VIII-8, são representativas dos solos para as três percentagens em causa as quais evidenciam a ausência de plasticidade, com a passagem da espátula este fissa-se e apresenta rugosidades o que no caso de um solo plástico este apresentaria um aspeto liso e sem imperfeições.



Figura VIII-6 – Limite liquidez 3%



Figura VIII-7 - Limite liquidez 4,5%



Figura VIII-8 - Limite liquidez 6%

VIII.6.2 - Análise de resultados de ensaio azul-de-metileno

Com a execução dos ensaios de azul-de-metileno tanto ao solo natural, como á mistura de solo-cimento para as três percentagens de cimento, obtiveram-se os valores apresentados no Quadro VIII-6:

Quadro VIII-6 - Quadro resumo ensaio azul-de-metileno

	Azul-de-metileno (NF P 94-068)	g/100gsolo
% de cimento	0% (solo natural)	0,51
	3%	0,34
	4,5%	0,28
	6%	0,26

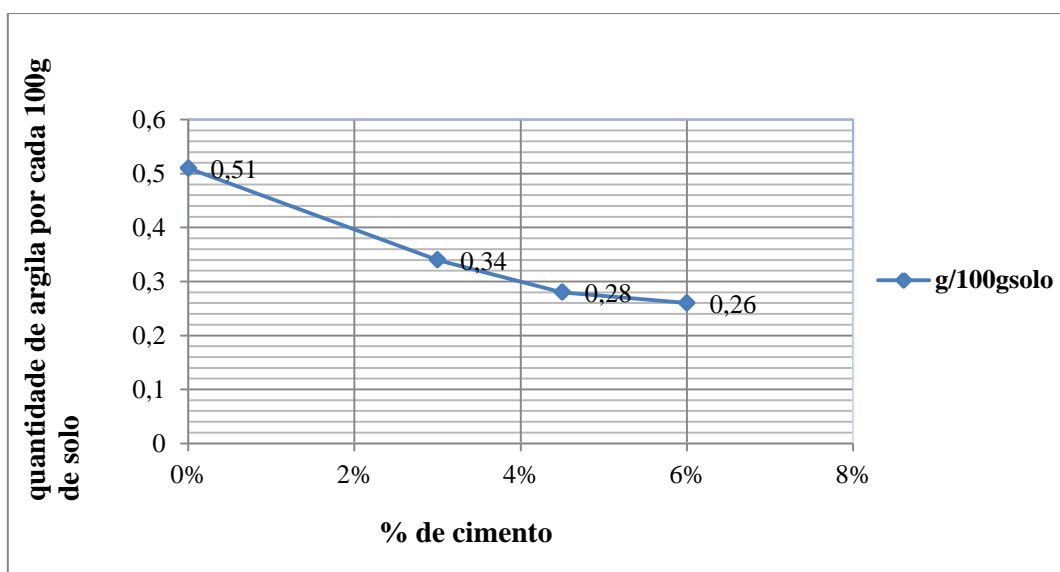


Gráfico VIII-1 – Resultado ensaio azul-de-metileno (NF P 94-068)

Com análise do Quadro VIII-5, e com ajuda do Gráfico VIII-1, pode-se verificar, que conforme aumenta o valor da percentagem de cimento da mistura, o valor da quantidade de argila por cada 100 gramas de solo varia em sentido decrescente ou seja a quantidade de argila vai diminuindo.

VIII.6.3 - Análise da baridade seca máxima (γ_{dmax}) e teor de humidade (w)

Após a realização dos ensaios de determinação das características mecânicas da mistura de solo-cimento, obtiveram-se os valores do teor em água após a cura dos provetes bem como o valor da baridade seca máxima (γ_{dmax}), conforme evidenciado no Quadro VIII-7:

Quadro VIII-7 – Resumo dos valores de teor em água e baridade seca máxima após a mistura para W_{opt} .

Percentagem de cimento	Teor em água	Teor em água antes da cura	Teor em água após cura (%)	Baridade seca máxima antes da cura (g/cm ³)	Baridade seca máxima após cura (g/cm ³)
3%	W_{opt}	7,4	6,3	2,130	2,175
4,5%	W_{opt}	7,4	6,3	2,130	2,177
6%	W_{opt}	7,3	5,8	2,128	2,193

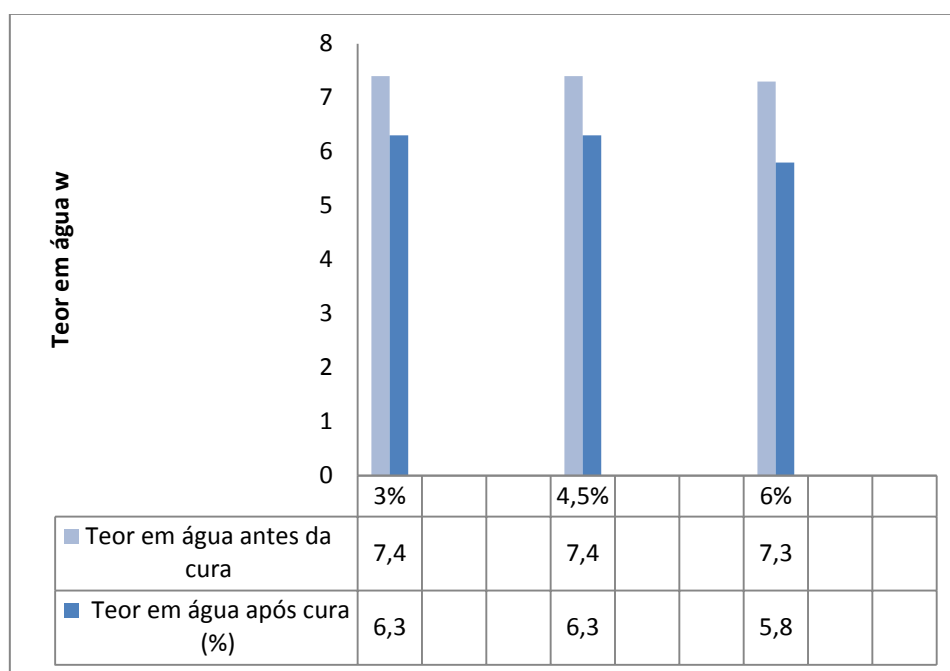


Gráfico VIII-2 - Comparação dos teores em água inicial vs. final provetes

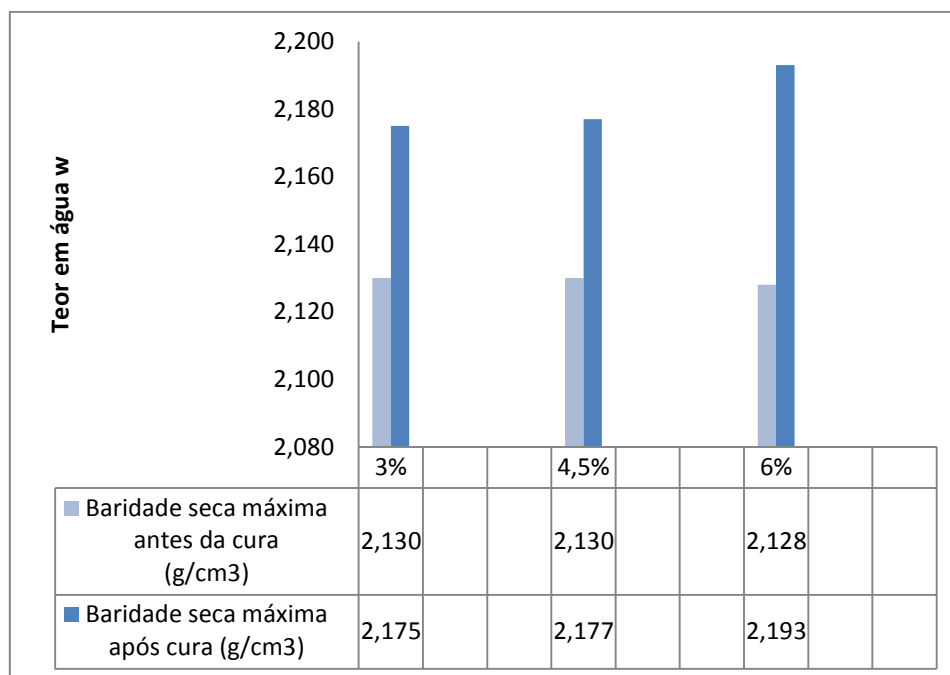


Gráfico VIII-3 - Baridade seca máxima inicial vs. Baridade seca máxima final

Na análise da comparação das composições das misturas estudadas para teores em água ótimos (w_{optm}) em relação aos valores obtidos da baridade seca máxima após a cura dos provetes evidenciados no Quadro VIII-7, pode-se constatar recorrendo ao Gráfico VIII-2, que os teores em água diminuiram após a cura dos provetes. Uma possível explicação para esta diminuição é que possivelmente ocorreu pelo facto dos provetes após a moldagem estarem em repouso durante 12 horas por forma a garantir alguma presa a fim de permitirem uma correta desmoldagem e desta forma possam perder alguma humidade.

Os valores da baridade seca máxima (γ_{dmax}) conforme análise do Gráfico VIII-3, estes variaram em sentido de aumentarem relativamente aos valores antes da cura dos provetes, este aumento pode ser explicado pelo facto do valor do teor em água após a cura ter diminuído.

VIII.6.4 - Compressão Diametral (NLT-304)

VIII.6.4.1 - Análise comparativa à compressão Diametral

No Quadro VIII-8 estão representados os valores médios obtidos pela realização dos ensaios de compressão diametral de acordo com a norma Espanhola NLT-304, a qual se encontra resumida no ponto VII.2.12.2 deste mesmo trabalho, para as três percentagens de cimento de acordo com a variação do teor em água preconizada no presente estudo.

Quadro VIII-8 - Variação de resistência mecânica para ensaios de compressão diametral

Percentagem de cimento (%)	Teor em água	Compressão Diametral					
		Teor em água (%)	7 dias (MPa)	Teor em água (%)	28 dias (MPa)	Teor em água (%)	90 dias (MPa)
3	$w_{opt} - 1\%$	7,1	0,43	7,5	0,51	7,5	0,64
	w_{opt}	8,1	0,38	8,2	0,43	8,3	0,59
	$w_{opt} + 2\%$	10,2	0,21	10,6	0,28	10	0,31
4.5	$w_{opt} - 1\%$	7	0,54	7,4	0,64	7,6	0,71
	w_{opt}	8	0,47	8,8	0,55	8,6	0,67
	$w_{opt} + 2\%$	10	0,31	10,6	0,36	10,5	0,42
6	$w_{opt} - 1\%$	7,3	0,56	7,6	0,77	7,5	1
	w_{opt}	8,1	0,5	8,5	0,74	8,5	0,98
	$w_{opt} + 2\%$	10,3	0,34	10,5	0,5	10,7	0,67

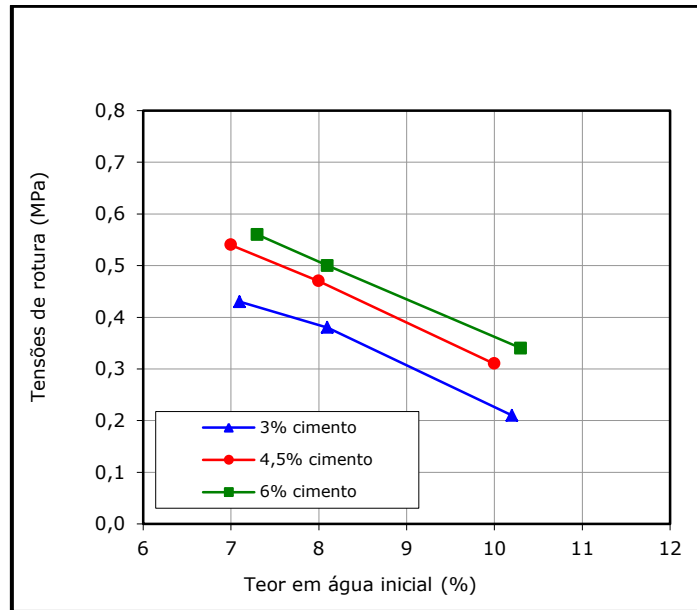


Gráfico VIII-4 - Compressão diametral 7 dias de cura.

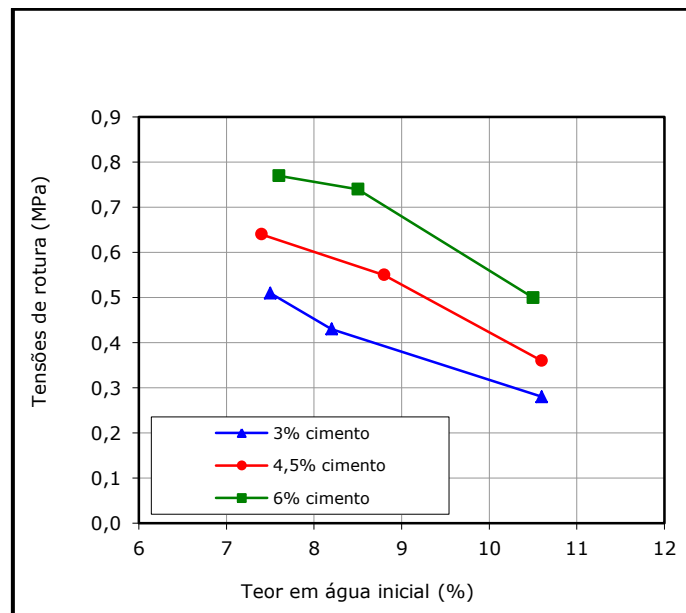


Gráfico VIII-5 - Compressão diametral 28 dias de cura.

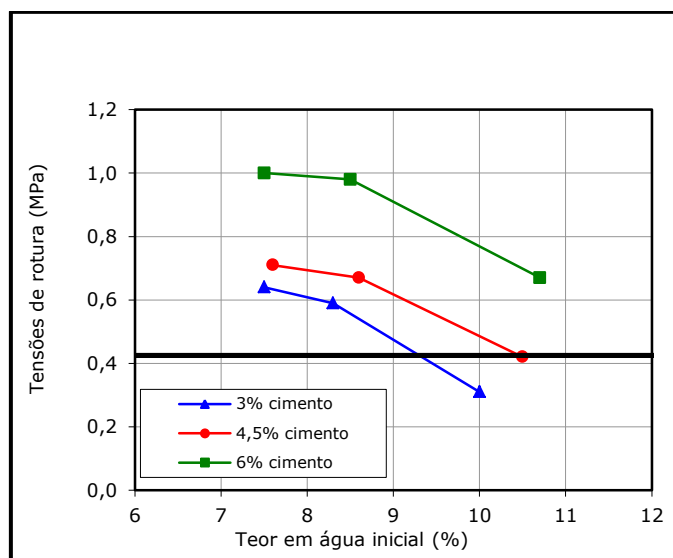


Gráfico VIII-6 - Compressão diametral 90 dias de cura.

Após a análise do Quadro VIII-8 e com recurso ao Gráfico VIII-4, Gráfico VIII-5 e Gráfico VIII-6, pode-se verificar que o valor de resistência mecânica do solo aumenta conforme aumenta a percentagem de cimento.

Os valores de resistência mecânica para cada percentagem de cimento, seguem a mesma tendência de variação, já no que respeita ao valor de teor em água verifica-se uma diminuição da resistência mecânica conforme aumenta o teor em água da mistura.

Os valores do teor em água das misturas apresentam variações relativamente ao valor obtido no ensaio Proctor, esta alteração pode ser resultante do facto do solo ter partículas de rocha ($\leq \# \frac{3}{4}$), que podem variar de quantidade nos diferentes provetes e que não absorvem imediatamente a água fazendo com que a percentagem de água destinada á mistura não seja uniformemente distribuída, originando assim as variações que se verificaram.

VIII.6.4.2 - Análise comparativa para $w_{opt}-1\%$, w_{opt} e $w_{opt}+2\%$

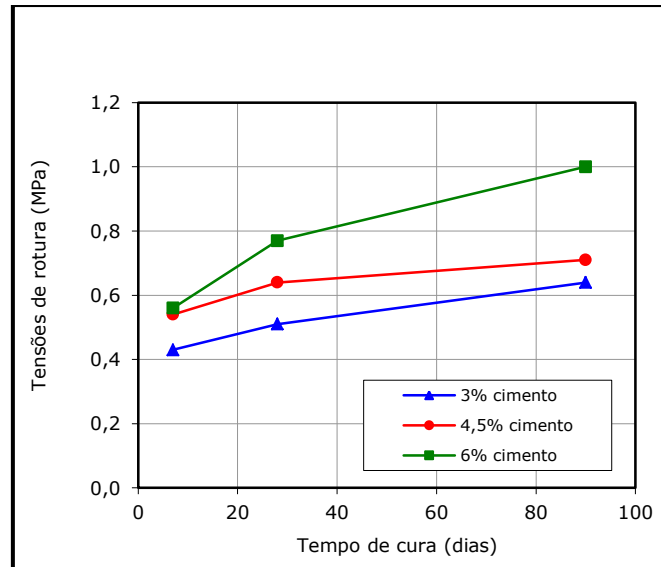


Gráfico VIII-7 - Compressão diametral para teor em água ótimo ($w_{opt} - 1\%$.)

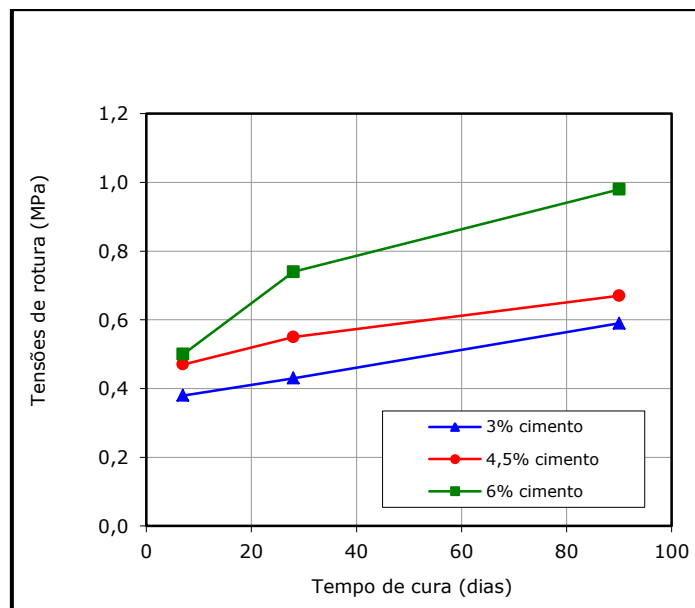


Gráfico VIII-8 - Compressão diametral para teor em água ótimo (w_{opt} .)

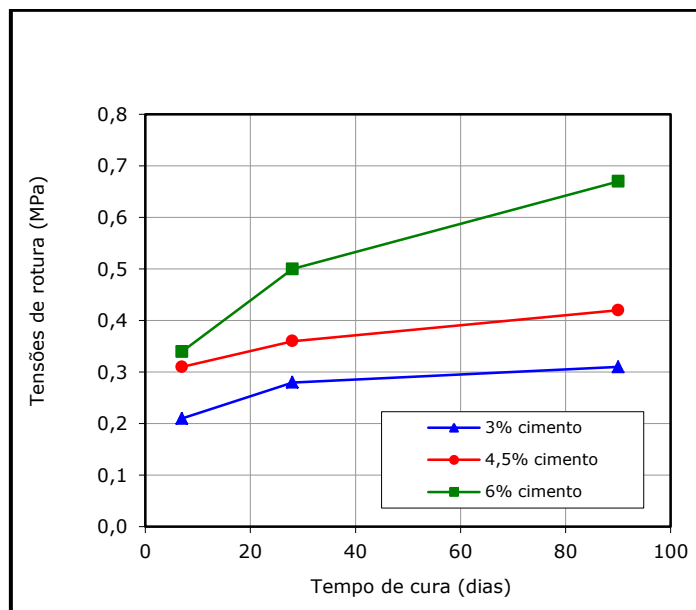


Gráfico VIII-9 - Compressão diametral para teor em água ótimo ($w_{opt} +2\%$.)

Na análise do valor da resistência mecânica da mistura para a variação do teor em água para, $w_{opt} -1\%$, w_{opt} e $w_{opt} +2\%$, pode-se verificar ao longo do tempo a tendência de aumento do valor de resistência mecânica para todas as composições estudadas.

VIII.6.5 - Compressão Simples (NLT-305)

VIII.6.5.1 - Análise comparativa à compressão simples

No quadro VIII-10 estão representados os valores médios obtidos pela realização dos ensaios de compressão simples, de acordo com a norma Espanhola NLT-305 a qual se encontra resumida no ponto VII.1.14.1 deste mesmo trabalho, para as três percentagens de cimento estudadas, de acordo com a variação do teor em água preconizada no presente estudo.

Quadro VIII-9 - Variação de resistência mecânica para ensaios de compressão Simples

Percentagem de cimento (%)	Teor em água	Compressão Simples					
		Teor em água (%)	7 dias (MPa)	Teor em água (%)	28 dias (MPa)	Teor em água (%)	90 dias (MPa)
3	$w_{opt} - 1\%$	7	3,15	7,4	3,5	7,4	4,17
	w_{opt}	8	2,48	8,1	2,65	8,2	3,66
	$w_{opt} + 2\%$	10,2	1,43	10,2	1,56	10,1	1,7
4.5	$w_{opt} - 1\%$	6,8	3,92	7,4	4,42	7,4	4,86
	w_{opt}	8	3,49	8,5	3,65	8,6	4,16
	$w_{opt} + 2\%$	10,2	1,83	10,5	1,95	10,5	2,36
6	$w_{opt} - 1\%$	7,1	4,03	7,4	5,56	7,5	6,31
	w_{opt}	8,5	3,56	8,6	5,34	8,7	6,62
	$w_{opt} + 2\%$	10,4	1,92	10,6	2,71	10,7	3,41

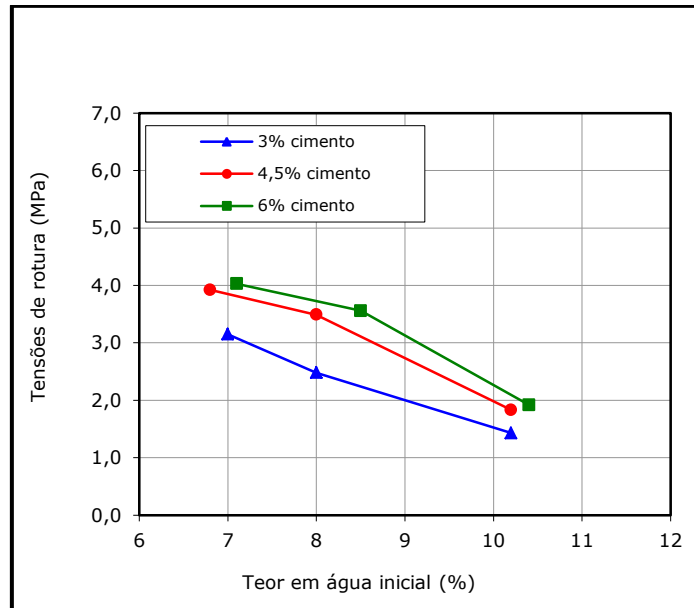


Gráfico VIII-10 - Compressão simples aos 7 dias

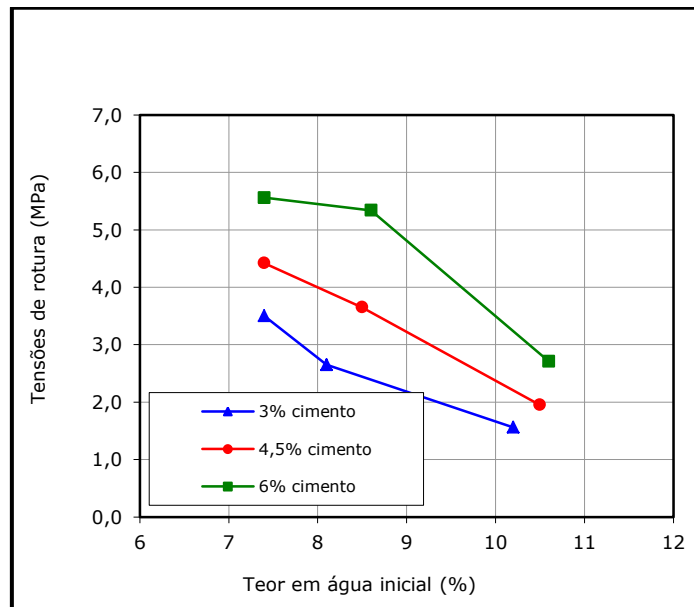


Gráfico VIII-11 - Compressão simples aos 28 dias

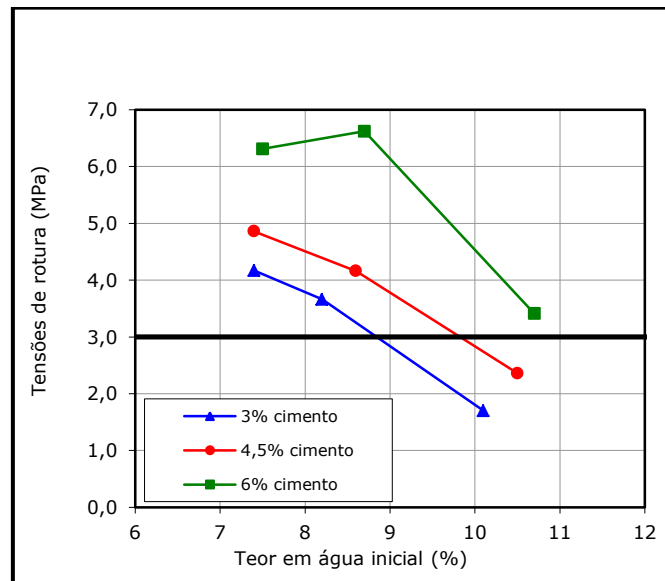


Gráfico VIII-12 - Compressão simples aos 90 dias

Após a análise do Quadro VIII-9 e com recurso ao Gráfico VIII-10, Gráfico VIII-11 e Gráfico VIII-12, pode-se verificar, que o valor de resistência mecânica do solo à compressão simples aumenta conforme aumenta a percentagem de cimento.

Para os valores de resistência mecânica para cada percentagem de cimento seguem a mesma tendência de variação, já no que respeita ao valor de teor em água, verifica-se uma diminuição da resistência mecânica conforme aumenta o teor em água da mistura.

Os valores do teor em água das misturas apresentam variações relativamente ao valor obtido no ensaio Proctor, esta alteração pode ser resultante do facto do solo ter partículas de rocha ($\leq \# \frac{3}{4}$), que podem variar de quantidade nos diferentes provetes e que não absorvem imediatamente a água fazendo com que a percentagem de água destinada á mistura não seja uniformemente distribuída, originando assim as variações que se verificaram.

VIII.6.5.2 - Análise comparativa para $w_{opt}-1\%$, w_{opt} e $w_{opt}+2\%$

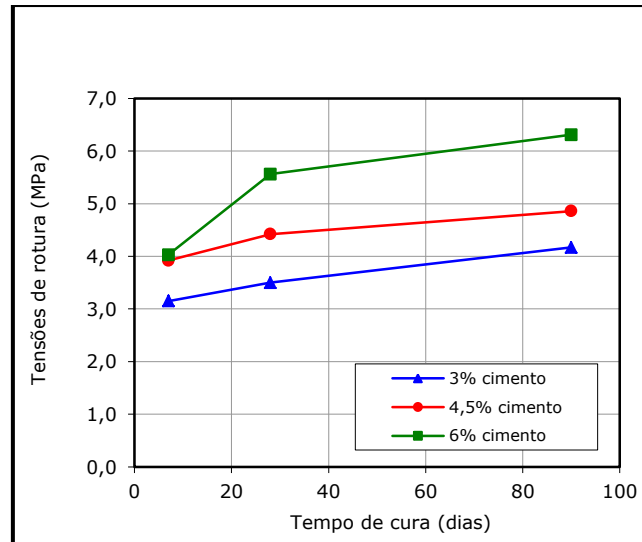


Gráfico VIII-13 - Compressão simples para teor em água ótimo ($w_{opt} - 1\%$.)

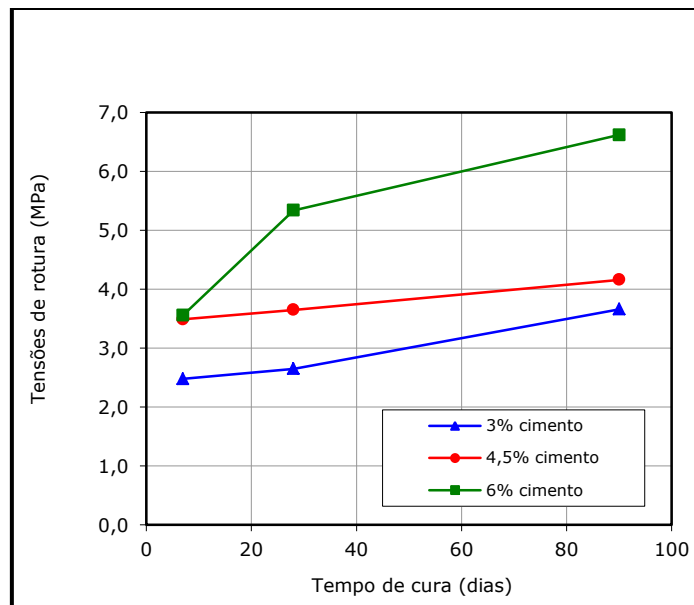


Gráfico VIII-14 - Compressão simples para teor em água ótimo (w_{opt})

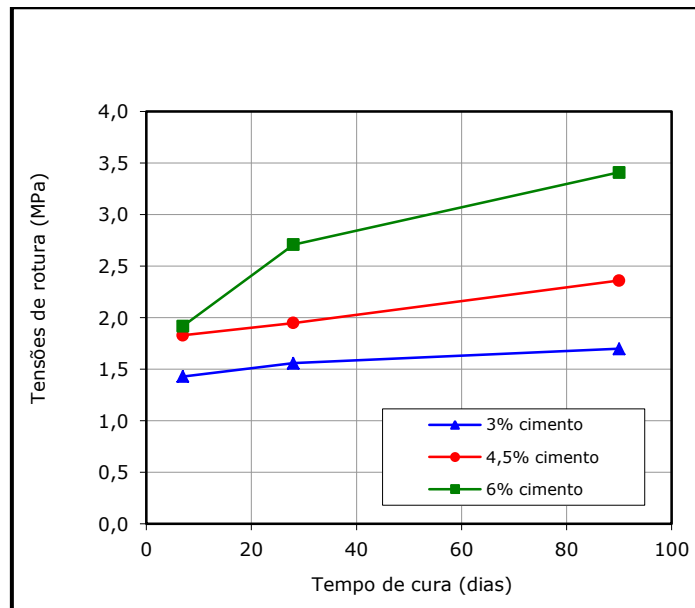


Gráfico VIII-15 - Compressão simples para teor em água ótimo ($w_{opt} + 2\%$.)

Na análise do valor da resistência mecânica da mistura para a variação do teor em água para, $w_{opt} - 1\%$, w_{opt} e $w_{opt} + 2\%$, verifica-se ao longo do tempo a tendência de aumento do valor de resistência mecânica para todas as composições estudadas.

IX - Conclusão

O presente trabalho pretende mostrar a abordagem à melhoria de um solo com a adição de um ligante hidráulico (cimento Portland), através de um estudo de formulação aplicado a um caso prático, bem como, descrever o processo construtivo em obra. Neste capítulo pretende-se também expor as principais conclusões que advieram deste mesmo estudo.

A mistura de cimento e água com o solo provoca ganhos e alterações nas propriedades físicas e químicas do solo. A resistência da mistura varia em conformidade com a quantidade de cimento usada e o tipo de solo a ser tratado.

No tipo de solo analisado neste estudo foram realizados ensaios de caracterização entre os quais, análise granulométrica, equivalente de areia, limites de consistência, compactação proctor, ensaio CBR e ensaio azul-de-metileno. O solo segundo a classificação unificada proposta pela ASTM D2487-005 designa-se por areia mal graduada (SP) e segundo a classificação rodoviária AASHTO é um solo A-2-4 (0).

Com a realização deste estudo foi possível verificar que cimento provoca modificações da plasticidade, bem como, melhora o estabelecimento das ligações entre partículas traduzindo-se em grandes aumentos da resistência mecânica.

Enquanto ligante, o cimento proporciona simultaneamente a coesão e aumento progressivo da resistência ao longo do tempo resultando na estabilidade volumétrica e mecânica da mistura quando esta se encontra na presença de água. O aumento da resistência mecânica da mistura traduz-se num aumento da sua resistência à erosão.

É de grande importância ter em consideração a quantidade de cimento usada na mistura, esta quantidade tem que aumentar à medida que o solo tem maior percentagem de finos.

Na sequência da análise dos valores dos teores em água dos provetes antes e no fim da cura dos mesmos (após a realização dos ensaios de compressão), foi possível verificar a existência de uma diminuição do valor do teor em água, relativamente ao

valor inicial e o qual esta alteração pode ser resultante do facto do solo ter partículas de rocha ($\leq \# \frac{3}{4}$), que podem variar de quantidade nos diferentes provetes e que não absorvem imediatamente a água fazendo com que a percentagem de água destinada á mistura não seja uniformemente distribuída, originando assim as variações que se verificaram.

Foram determinadas as tensões de rotura da mistura que confirmaram que a variação destes valores depende do teor em água da mistura bem como da percentagem de cimento usada.

Verificou-se que conforme aumentava o valor do teor em água (w), o valor da resistência mecânica do solo diminuía para todas as percentagens de cimento usadas, podendo-se também concluir que o valor da resistência mecânica da mistura aumenta conforme aumenta o teor em cimento utilizado.

Foi possível constatar que este aumento da resistência mecânica está relacionado com o tempo de cura dos provetes, ou seja, quanto maior o tempo de cura, maiores valores de resistência mecânica se obtêm.

O valor da baridade seca máxima (γ_{dmax}) sofreu um aumento do seu valor depois da cura para todas as percentagens de cimento estudadas relativamente ao valor da baridade seca máxima antes da cura, este acréscimo deve-se ao facto do valor do teor em água após a cura ter diminuído.

De uma forma geral foi possível também concluir que o tempo correto de cura das misturas de solo-cimento deve ser assegurado de modo a permitir a correta hidratação do cimento, evitando assim o aparecimento de fenómenos de fissuração que poderá ocorrer em obra, os quais se podem refletir nas camadas sobrejacentes do pavimento.

Após a análise dos resultados preconizados neste trabalho é possível concluir que de um modo em geral foi possível verificar as melhorias que o solo apresentou e que a quantidade de cimento a ser usada em obra por forma a serem verificadas as características mecânicas definidas pelo caderno de encargos, o solo poderá ser

estabilizado com 3% de cimento CEM II/B-L 32,5 e este antes da mistura com o cimento, deve de ter um teor em água inicial de 7,3%.

X - Bibliografia

X.1 - Referências bibliográficas

Branco, F., “*et all*” (2006). *Pavimentos Rodoviários*. Coimbra, Almedina.

Bell, F. G. (1993). *Engineering treatment of soils*. Londres, E & FN SPON.

Canelas, D. (2010). *Metodologias no Controlo de Compactação em Aterros*. Departamento de Engenharia Geotécnica e Geoambiente, Tese de Mestrado. Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

CE EP (2011). *Caderno de Encargos Tipo Obra.14.03 – Pavimentação*. Lisboa, Estradas de Portugal S.A..

CE EP, (2009), *15.03 – Pavimentação, Métodos construtivos, Vol. V*. Almada, Caderno de encargos tipo obra.

CE EP, (2009), *14.01 – Terraplenagem, Características dos materiais, Vol. III*. Almada, Caderno de encargos tipo obra.

Correia A. (1990) Ensaios Laboratoriais da mistura de solos com ligantes, Lisboa, Seminário sobre aplicação de cimento em Pavimentos.

Cruz, M. Lurdes S. (2010). *Melhoramento do desempenho de misturas de Solo-Cimento*. Tese de Mestrado. Bragança, Instituto Politécnico de Bragança.

Departamento de Materiais e Construção. (2012). *Classificação de Solos*. [Em Linha]. Disponível em <www.dmc.furg.br/geotecnia/>. [Consultado em 09/09/2012].

Fernandes, M. (1994). *Mecânica dos Solos – Vol. I*. Porto, Departamentos de Engenharia Civil da Universidade do Porto.

LNEC, (1962). *Vocabulário de Estradas e Aeródromos*, 4a Edição, Especificação E1-1962. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Mineiro, C. (1978). *Mecânica dos Solos e Fundações*, Vol. 2 – *Origem e Classificação dos Solos*. Universidade Nova de Lisboa.

PCA, (1971). *Soil-Cement Construction Handbook*, E.U.A., Portland Cement Association.

Pinto, N. (2009). *Contribuição para o estudo da combinação de cal com cimento no tratamento de solos*. Departamento de Engenharia Geotécnica e Geoambiente, Tese de Mestrado. Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Santos, J. (2008). *Estudos de formulação de Solo-Cimento e Solo-Cal e Respectivas Aplicações*. Departamento de Engenharia Geotécnica e Geoambiente, Tese de Mestrado. Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Secil. (2012). *Classes de resistência e requisitos físicos e mecânicos dos cimentos*. [Em Linha]. Disponível em <<http://www.secil.pt/default.asp?pag=catalog>>. [Consultado em 12/09/2012].

X.2 - Normas e especificações

AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials (1986). AASHTO M145-82: Specifications for Highway Materials.

ASTM – American Society for Testing and Materials, (2003). D560. Standard Test Methods for Freezing and Thawing Compacted Soil-Cement Mixtures.

ASTM – American Society for Testing and Materials, (2006). D1194. Standard for Bearing Capacity of soil Static Load and Spread Footings, (Unified Soil Classification System).

ASTM – American Society for Testing and Materials, (2006). D2487. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).

ASTM – American Society for Testing and Materials, (2010). D6938. Standard Test Method for In-Place Density and water Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth).

BSI – British Standards Institution, (1990). BS 1377: Parte 7. Shear strength tests (total stress), British Standard Methods of test for soils for civil engineering purposes.

BSI – British Standards Institution, (1990). BS 1377: Parte 6. Methods of test for soils for civil engineering purposes, Consolidation and permeability tests in hydraulic cells and with pore pressure measurement, British Standard Methods of test for soils for civil engineering purposes.

CEDEX – Centro de Estudios y Experimentacion de Obras Publicas, (1990). NLT 305. Resistencia a compresion simple de materiales tratados com conglomerantes hidraulicos.

CEDEX – Centro de Estudios y Experimentacion de Obras Publicas, (1989). NLT 304. Resistencia a compresion diametral de materiales tratados com conglomerantes hidraulicos.

CEN - European Committee for Standardization, (2003). EN 13286-41. Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 41: Test method for the determination of the compressive strength of hydraulically bound mixtures

CEN - European Committee for Standardization, (2004). EN 13286-47. Unbound and hydraulically bound mixtures. Test method for the determination of California bearing ratio, immediate bearing index and linear swelling.

DIN – Deutsches Institut Fur Normung, (1993). DIN 18 134. Determination of deformation and strength characteristics of soil by the plate loading test.

IPQ – Instituto Português da Qualidade, (1965). NP 84. Solos: Determinação do teor em água.

IPQ – Instituto Português da Qualidade, (1969). NP 143. Solos: Determinação de limites de consistência.

IPQ – Instituto Português da Qualidade, (2001). NP EN 197-1. Cimento parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade.

JAE – Junta Autónoma de Estradas, (1954). JAE S. 9-53. Norma para a determinação da percentagem orgânica de solos.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (1966). E 196. Solos- Análise granulométrica.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (1966). E 197. Ensaio de compactação Proctor.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (1967). E 198. Solos- Determinação CBR.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (1967). E 199. Ensaio de equivalente de areia.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (1967). E 204. Determinação da baridade seca “*In Situ*” pelo método da garrafa de areia.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (1970). E 239. Solos. Análise granulométrica por peneiração húmida.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, (1970). E 240. Solos. Classificação para fins rodoviários.

AFNOR – Association française de Normalisation, (2000). NF P 94 – 117-1 .
Module sous chargement statique à la plaque (EV2).

XI - Anexos

XI.1 - Boletins de ensaio das características físicas do solo

**01.01 - Análise granulométrica por peneiração húmida
LNEC E 239:1970**

Massa total da amostra, m_t (0,1 g) = **7271,4**

Massa retida no peneiro n.º10, m_{10} (0,1 g) = **2099,1**

Massa passada no peneiro n.º10, m_{10}' (0,1 g) = **5172,3**

Amostra seca ao ar

Amostra seca na estufa a 105 - 110 °C

Fracção retida no peneiro n.º10

Percentagem de material grosso, N_{10}' (0,1 %) = **28,9**

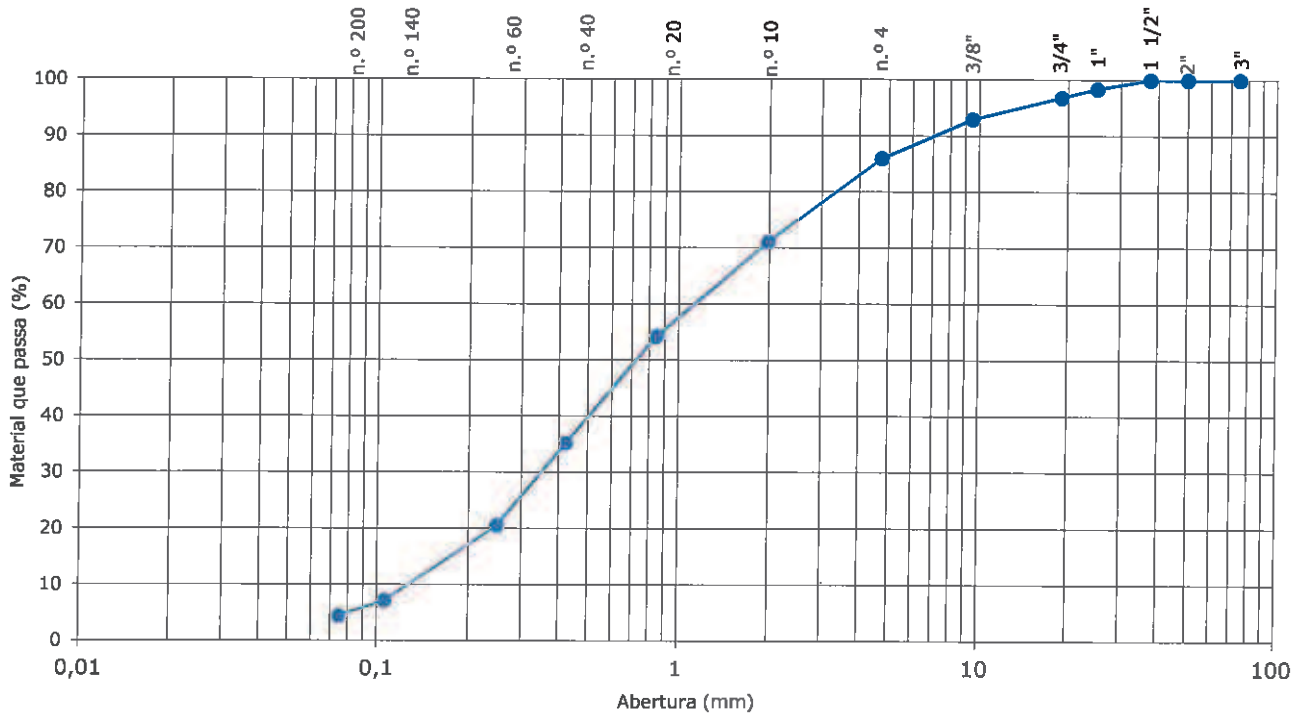
Peneiro abert.	malha (mm)	Retidos		Retidos acumul.	Passados acumul.
		m_x (0,1 g)	n_x (0,1 %)	n_x' (0,1 %)	n_x'' (%)
3"	75	0,0	0,0	0,0	100,0
2"	50	0,0	0,0	0,0	100,0
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	25	116,2	1,6	1,6	98,4
3/4"	19	112,2	1,5	3,1	96,9
3/8"	9,5	278,7	3,8	7,0	93,0
n.º4	4,75	510,0	7,0	14,0	86,0
n.º10	2	1082,0	14,9	28,9	71,1

Fracção passada no peneiro n.º10

Percentagem de material fino, N_{10}'' (0,1 %) = **71,1**

Massa a ensaiar, m_a (0,01 g) = **115,42**

Peneiro abert.	malha (mm)	Retidos		Retidos acumul.	Passados acumul.
		m_x (0,01 g)	n_x (0,1 %)	n_x' (0,1 %)	n_x'' (%)
n.º20	0,85	27,40	16,9	45,8	54,2
n.º40	0,425	30,90	19,0	64,8	35,2
n.º60	0,250	23,74	14,6	79,4	20,6
n.º140	0,106	21,81	13,4	92,9	7,1
n.º200	0,075	4,42	2,7	95,6	4,4



Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

LABC.001.5 Observações:

Ensaiou

António Ferreira
António Ferreira

Aprovado

Nuno Pinto
Nuno Pinto

01.02 - Equivalente de Areia
LNEC E 199:1967

Cápsula n.º			108
Massa da cápsula	m_1	(0,01g)	108,07
Massa da cápsula contendo solo húmido	m_2	(0,01g)	210,91
Massa da cápsula contendo solo seco	m_3	(0,01g)	208,41
Teor de humidade do solo	$\omega_s = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$	(%)	2,5
Massa correspondente a 120g de solo seco	$M = \frac{120 \times (100 + \omega_s)}{100}$	(0,01g)	122,99

Proveta n.º			5	6
Constante do aparelho	k	(mm)	61	60
Distância entre a face superior da peça guia e a face inferior do peso do pistão	A	(mm)	122	119
Distância do nível superior da suspensão à referência superior	B	(mm)	30	35
Distância do nível superior da suspensão à base da proveta	$h_1 = 380 - B$	(mm)	350	345
Altura de sedimento	$h_2 = A - k$	(mm)	61	59
Equivalente de areia do provete	$EA = \frac{h_2}{h_1} \times 100$	(%)	17,4	17,1
Equivalente de areia		(%)	17	

01.03 - Determinação dos limites de consistência
NP 143:1969

Preparação da amostra: Amostra seca na estufa a 105 - 110 °C

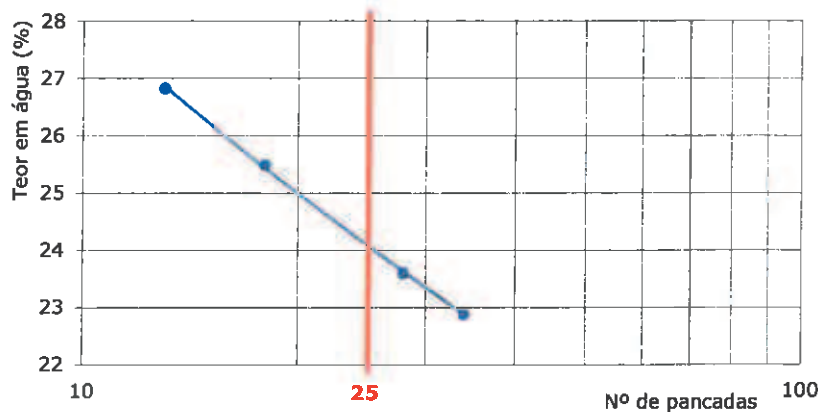


Amostra seca ao ar



Limite de Liquidez

Número da cápsula			2	54	5	49
Massa da cápsula	m_1	(0,01g)	7,60	10,17	10,14	8,16
Massa da cápsula contendo solo húmido	m_2	(0,01g)	16,57	16,98	18,51	16,01
Massa da cápsula contendo solo seco	m_3	(0,01g)	14,90	15,68	16,81	14,35
Massa do solo seco	$w_s = m_3 - m_1$	(0,01g)	7,30	5,51	6,67	6,19
Massa da água	$w_w = m_2 - m_3$	(0,01g)	1,67	1,30	1,70	1,66
Teor em água	$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$	(0,1%)	22,9	23,6	25,5	26,8
Número de pancadas			34	28	18	13
Limite de liquidez	(%)		24			



Limite de Plasticidade

Número da cápsula			4	73	17	45
Massa da cápsula	m_1	(0,01g)	7,60	8,13	7,97	7,79
Massa da cápsula contendo solo húmido	m_2	(0,01g)	8,49	9,16	9,08	9,19
Massa da cápsula contendo solo seco	m_3	(0,01g)	8,37	9,02	8,93	8,99
Massa do solo seco	$w_s = m_3 - m_1$	(0,01g)	0,77	0,89	0,96	1,20
Massa da água	$w_w = m_2 - m_3$	(0,01g)	0,12	0,14	0,15	0,20
Teor em água	$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$	(0,1%)	15,6	15,7	15,6	16,7
Limite de plasticidade	(%)		16			
Índice de Plasticidade	(%)		8			

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

01.10 - Teor em Água
NP 84:1965

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

Número do recipiente			101	77
Massa do recipiente	M_1	g	352	345
Massa do recipiente + solo húmido	M_2	g	5984	8863
Massa do recipiente + solo seco	M_3	g	5698	8442
Massa da água	$A = M_2 - M_3$	0.1g	286,0	421,0
Massa do solo seco	$B = M_3 - M_1$	0.1g	5346,0	8097,0
Teor em água	$W = \frac{A}{B} \times 100$	0,1%	5,3	5,2
Teor em água		0,1%	5,3	

ENSAIO			1	2	3
P_1	Peso do copo vazio	0,01g	194,38	185,19	202,78
P_2	Peso do copo contendo a amostra inicial	0,01g	235,47	227,42	246,13
$P'_s = P_2 - P_1$	Peso do solo inicial	0,01g	41,09	42,23	43,35
P_3	Peso do copo contendo o solo seco depois de tratado	0,01g	235,39	227,37	246,10
$P''_s = P_3 - P_1$	Peso do solo depois de tratado	0,01g	41,01	42,18	43,32
$P_s = P'_s - P''_s$	Perda de peso do solo depois de tratado	0,01g	0,08	0,05	0,03
$P_o = \frac{P_s}{P'_s} \times 100$	Percentagem orgânica do solo	0,01%	0,19	0,12	0,07
PERCENTAGEM ORGÂNICA		0,1%		0,1	

Observações:

Ensaiou:



António Ferreira

Aprovado:



Nuno Pinto

01.15 - Azul de metileno
NF P 94-068:1998

Toma de ensaio 2	N.º da cápsula			111
	Massa da cápsula	P	(0,01g)	108,28
	Massa da cápsula contendo o solo húmido	P ₁	(0,01g)	220,56
	Massa do solo húmido	m _{h2}	(0,01g)	112,28
	Massa da cápsula contendo o solo seco	P ₂	(0,01g)	217,91
	Massa do solo seco	m _{s2}	(0,01g)	109,63
	Teor em água da amostra	$\omega = \frac{m_{h2} - m_{s2}}{m_{s2}}$	(0,001)	0,024

Toma de ensaio 1	Massa húmida da toma de ensaio	m _{h1}	(0,01g)	51,69
	Massa seca da toma de ensaio	$m_0 = \frac{m_{h1}}{1 + \omega}$	(0,01g)	50,47
	Volume de azul para teste positivo	V	(cm ³)	30
	Massa de azul introduzida	B = V × 0,01	(0,01g)	0,30
	Proporção da fracção 0/5 na fracção 0/50 (P#4)	C	(0,01)	0,86
	Valor de azul de metileno	$VBS = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$	(g/100g _{solo})	0,51

Toma de ensaio 3	Massa húmida da toma de ensaio	m _{h3}	(0,01g)	---
	Massa seca da toma de ensaio	$m_0 = \frac{m_{h3}}{1 + \omega}$	(0,01g)	---
	Volume de azul para teste positivo	V	(cm ³)	---
	Massa de azul introduzida	B = V × 0,01	(0,01g)	---
	Proporção da fracção 0/5 na fracção 0/50 (P#4)	C	(0,01)	---
	Valor de azul de metileno	$VBS = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$	(g/100g _{solo})	---

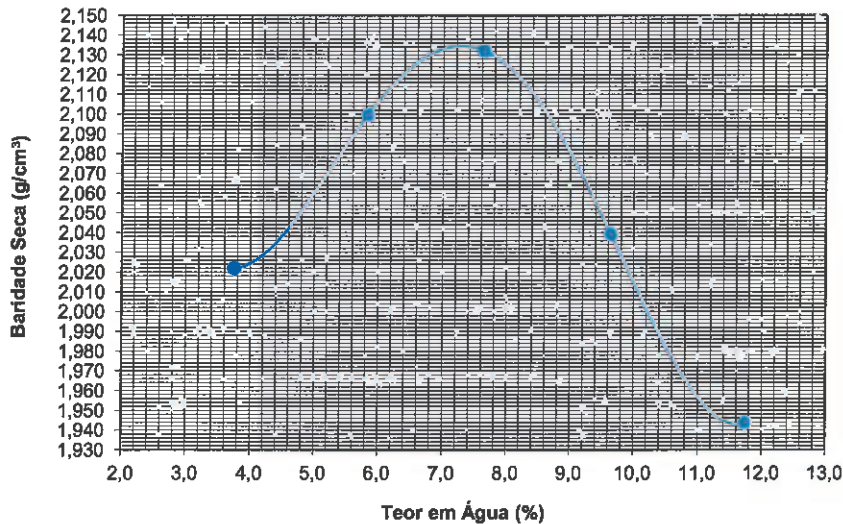
Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

XI.2 - Boletins de ensaio das características mecânicas do solo

**01.06 - Compactação Proctor
LNEC E 197**

Tipo de compactação Pesada em molde grande	Peso do Pilão (g) Pesado: 4540	Altura de queda (mm) Pilão pesado: 457	Volume do molde-V (cm³) 2133
N.º de Camadas 5	Nº de Pancadas/Camada 55	Peso do molde-P_m (g) 2579	

Peso do molde + solo humido	P ₁	g	7053	7318	7474	7348	7212	---						
Peso do solo humido	P=P ₁ -P _m	g	4474	4739	4895	4769	4633	---						
Baridade Húmida	$\gamma_w = \frac{P}{V}$	0,001g/cm³	2,098	2,222	2,295	2,236	2,172	---						
N.º da cápsula			58	3	30	100	40	27	118	34	60	41	---	---
Peso da cápsula	m ₁	0,01g	100,14	101,50	106,27	99,01	107,70	108,87	108,85	109,16	109,19	100,69	---	---
Peso da cápsula + solo humido	m ₂	0,01g	508,09	512,75	479,02	466,73	466,51	529,85	441,32	483,61	498,92	526,81	---	---
Peso da cápsula + solo seco	m ₃	0,01g	493,08	498,17	458,33	446,60	440,99	500,00	412,14	450,57	458,05	481,90	---	---
Peso do solo seco	P _s =m ₃ -m ₁	0,01g	392,94	396,67	352,06	347,59	333,29	391,13	303,29	341,41	348,86	381,21	---	---
Peso da água	P _w =m ₂ -m ₃	0,01g	15,01	14,58	20,69	20,13	25,52	29,85	29,18	33,04	40,87	44,91	---	---
Teor em água	$\frac{P_w}{P_s} \times 100$	0,1%	3,8	3,7	5,9	5,8	7,7	7,6	9,6	9,7	11,7	11,8	---	---
Teor médio	w	0,1%	3,7		5,8		7,6		9,6		11,7		---	
Baridade Seca	$\gamma_s = \frac{\gamma_w \times 100}{w + 100}$	0,001g/cm³	2,022	2,099	2,132	2,039	1,944	---						



Baridade Seca Máxima
(0,001g/cm³)

2,135

Teor em Água Ótimo
(0,1%)

7,3

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

LABC.007.4 Observações:

Ensaio

António Ferreira
António Ferreira

Aprovado

Nuno Pinto
Nuno Pinto

01.07 - Índice Californiano de Capacidade de Carga
LNEC E 198

N.º de Pancadas por camada			55	25	12
N.º do Molde			12	27	13
Peso do molde	P_m	g	4321	4934	4069
Volume do molde	V_m	cm ³	2054	2072	2062
Altura do molde	H_m	mm	113	114	114
Peso do molde + solo húmido	P_t	g	9016	9538	8456
Peso do solo húmido	$P = P_t - P_m$	g	4695	4604	4387
Baridade Húmida Inicial	$\gamma_w = \frac{P}{V}$	0,001g/cm ³	2,286	2,222	2,128

			Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
			Embebição	Embebição	Embebição	Embebição	Embebição	Embebição
Número da cápsula			108	108	38	38	77	65
Peso da cápsula	m_1	0,01g	107,98	107,98	107,91	107,91	97,01	112,48
Peso da cápsula + solo húmido	m_2	0,01g	423,10	467,65	522,72	473,19	476,10	577,82
Peso da cápsula + solo seco	m_3	0,01g	402,01	441,00	494,34	442,25	450,04	533,58
Peso do solo seco	$P_s = m_3 - m_1$	0,01g	294,03	333,02	386,43	334,34	353,03	421,1
Peso da água	$P_w = m_2 - m_3$	0,01g	21,09	26,65	28,38	30,94	26,06	44,24
Teor em água	$\frac{P_w}{P_s} \times 100$	0,1%	7,2	8,0	7,3	9,3	7,4	10,5
Baridade Seca	$\gamma_s = \frac{\gamma_w \times 100}{W + 100}$	0,1%	2,133	2,134	2,070	2,073	1,981	1,985
Baridade Seca Máxima	$\gamma_{s \text{ máx}}$	0,1%	2,135					
Grau de Compactação	$\frac{\gamma_s}{\gamma_{s \text{ máx}}} \times 100$	%	100	100	97	97	93	93

EMBEBIÇÃO

Data de embebição	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
	23-Mar-12	27-Mar-12	23-Mar-12	27-Mar-12	23-Mar-12	27-Mar-12
Leituras no comparador	0,01mm	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00

CARACTERÍSTICAS APÓS A EMBEBIÇÃO

Peso do molde + solo húmido	P'_t	g	9055	9626	8593
Peso da água absorvida	$P'_t - P_t$	g	39	88	137
Baridade Húmida Final	$\frac{P'_t - P_m}{V_m}$	0,001g/cm ³	2,305	2,264	2,194
Expansão	$\frac{L}{H_m} \times 100$	0,1%	0,04	0,03	0,04
Expansão (95% CR)		%	0		

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

LABC.008.4 Observações:

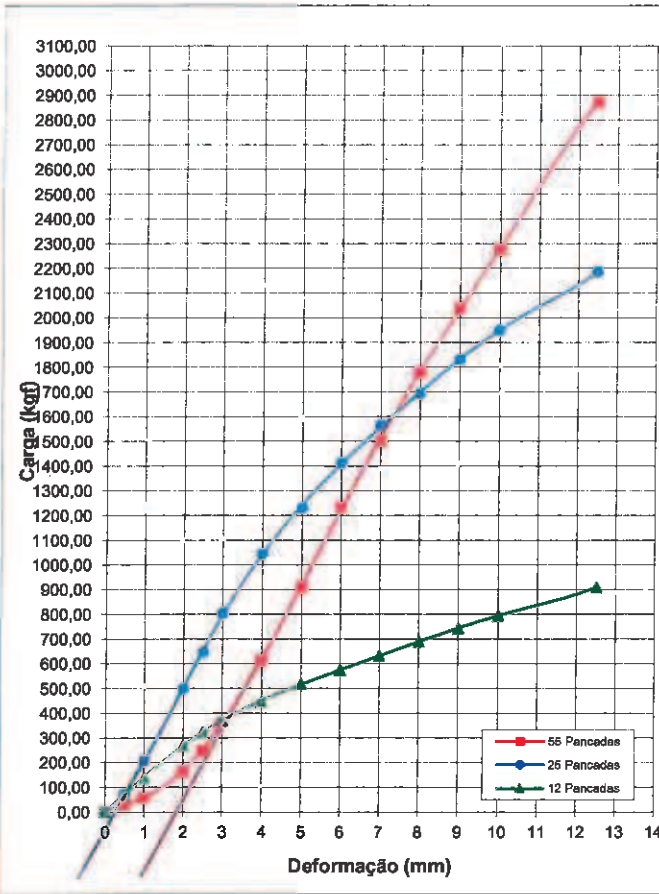
Ensaiou


António Ferreira

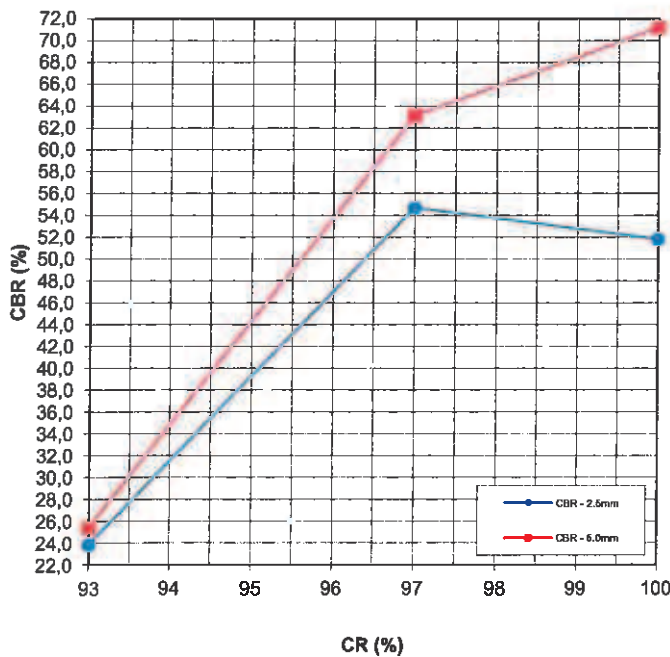
Aprovado


Nuno Pinto

**01.07 - Índice Californiano de Capacidade de Carga
LNEC E 198**



Deformação (mm)	Nº Pancadas			Nº Pancadas		
	55	25	12	55	25	12
Penetração	Leituras (KN)			Cargas (kgf)		
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,27	0,70	0,69	27,53	71,37	70,35
1,0	0,57	2,05	1,34	58,12	209,02	136,63
2,0	1,60	4,89	2,64	163,14	498,58	269,17
2,5	2,42	6,35	3,17	246,74	647,45	323,21
3,0	3,54	7,88	3,61	360,94	803,44	368,08
4,0	6,01	10,25	4,37	612,78	1045,09	445,57
5,0	8,93	12,05	5,07	910,50	1228,62	516,94
6,0	12,12	13,85	5,62	1235,76	1412,15	573,02
7,0	14,71	15,35	6,18	1499,83	1565,09	630,11
8,0	17,45	16,60	6,74	1779,20	1692,54	687,21
9,0	20,01	17,95	7,26	2040,22	1830,18	740,23
10,0	22,32	19,12	7,77	2275,75	1949,48	792,23
12,5	28,17	21,43	8,89	2872,21	2185,00	906,42



Nº Pancadas		55	25	12
Compactação Relativa-CR (%)		100	97	93
Pen=2.5 mm	F (kgf)	702,1	741,0	323,2
	$CBR = \frac{F}{1355} \times 100$ (0,1%)	51,8	54,7	23,9
Pen=5.0 mm	F (kgf)	1447,0	1283,7	516,9
	$CBR = \frac{F}{2033} \times 100$ (0,1%)	71,2	63,1	25,4
CBR % (95% CR)		39	(2,5 mm)	
CBR % (95% CR)		44	(5,0 mm)	

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

Observações:

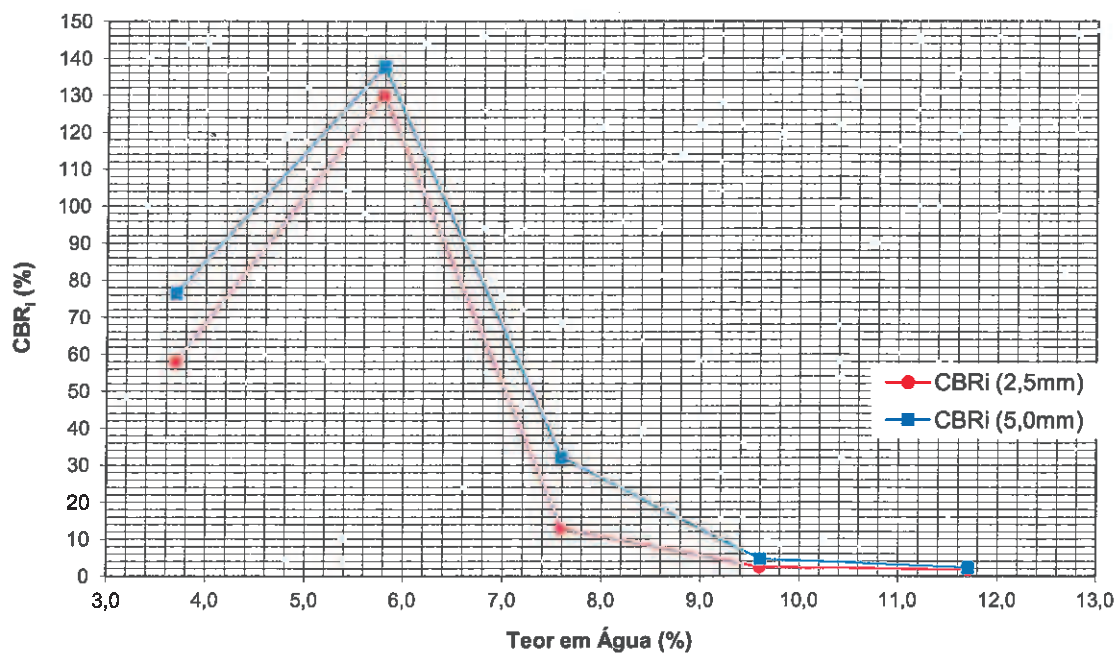
Ensaio
António Ferreira
António Ferreira

Aprovado
Nuno Pinto
Nuno Pinto

01.11 - CBR Imediato
NF P 94-078

Teor em água	0,1%	3,7	5,8	7,6	9,6	11,7	—
Baridade Seca	0,001g/cm ³	2,022	2,099	2,132	2,039	1,944	—
Penetração	0,1mm	2.5	5.0	2.5	5.0	2.5	5.0
Carga	0,01kN	7,72	15,26	17,29	27,48	1,72	6,43
Força	0,1kgf	787,1	1555,9	1762,9	2801,9	175,4	655,6
$CBR_i(2,5mm) = \frac{F}{1355} \times 100$	%	58	130	13	3	2	---
$CBR_i(5,0mm) = \frac{F}{2033} \times 100$	%	77	138	32	5	2	---

CBR Imediato



Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

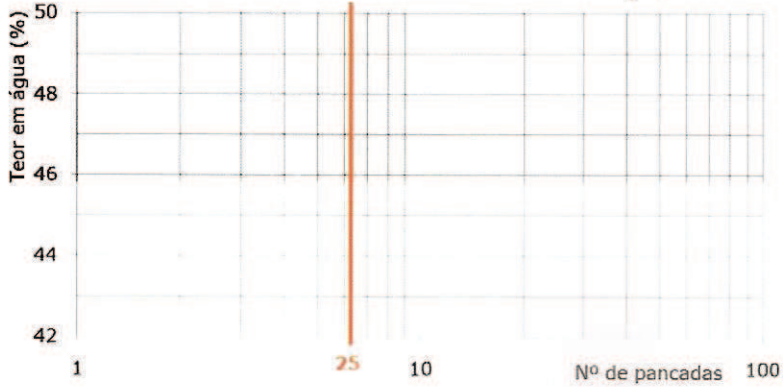
XI.3 - Boletins de ensaio das características do cimento e da mistura

**01.03 - Determinação dos limites de consistência
NP 143:1969**

Preparação da amostra: Amostra seca na estufa a 105 - 110 °C Amostra seca ao ar

Límite de Liquidez

Número da cápsula					
Massa da cápsula	m_1	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo húmido	m_2	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo seco	m_3	(0,01g)			
Massa do solo seco	$w_s = m_3 - m_1$	(0,01g)			
Massa da água	$w_w = m_2 - m_3$	(0,01g)			
Teor em água	$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$	(0,1%)			
Número de pancadas					
Límite de liquidez		(%)			



Límite de Plasticidade

Número da cápsula					
Massa da cápsula	m_1	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo húmido	m_2	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo seco	m_3	(0,01g)			
Massa do solo seco	$w_s = m_3 - m_1$	(0,01g)			
Massa da água	$w_w = m_2 - m_3$	(0,01g)			
Teor em água	$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$	(0,1%)			
Límite de plasticidade		(%)			
Índice de Plasticidade		(%)			

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

LABC.003.5 Observações:
3% cimento

Ensaiou
Podro

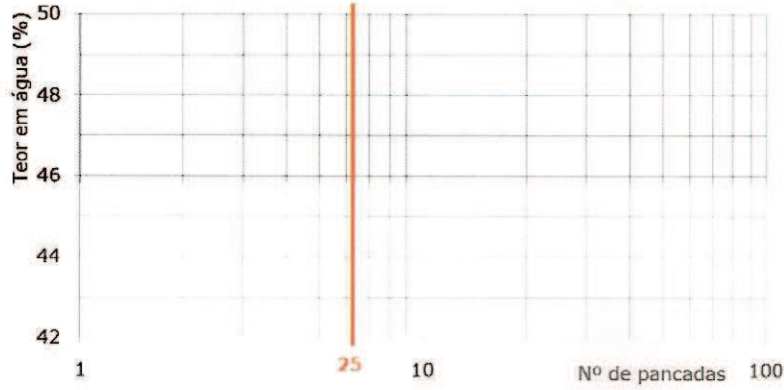
Aprovado
AR

**01.03 - Determinação dos limites de consistência
NP 143:1969**

Preparação da amostra: Amostra seca na estufa a 105 - 110 °C Amostra seca ao ar

Limite de Liquidez

Número da cápsula					
Massa da cápsula	m_1	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo húmido	m_2	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo seco	m_3	(0,01g)			
Massa do solo seco	$w_s = m_3 - m_1$	(0,01g)			
Massa da água	$w_w = m_2 - m_3$	(0,01g)			
Teor em água	$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$	(0,1%)			
Número de pancadas					
Limite de liquidez		(%)			NP



Limite de Plasticidade

Número da cápsula					
Massa da cápsula	m_1	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo húmido	m_2	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo seco	m_3	(0,01g)			
Massa do solo seco	$w_s = m_3 - m_1$	(0,01g)			
Massa da água	$w_w = m_2 - m_3$	(0,01g)			
Teor em água	$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$	(0,1%)			
Limite de plasticidade		(%)			
Índice de Plasticidade		(%)			NP

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A

LABC.003.5 Observações:
4,5% cimento

Ensaiou:  Aprovado: 

01.03 - Determinação dos limites de consistência
NP 143:1969

Preparação da amostra: Amostra seca na estufa a 105 - 110 °C

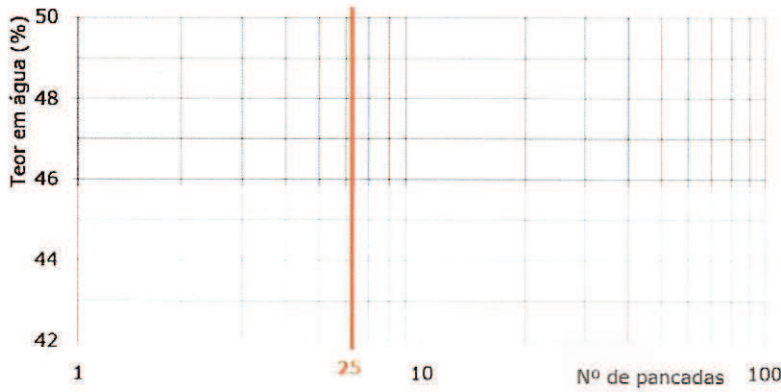


Amostra seca ao ar



Limite de Liquidez

Número da cápsula					
Massa da cápsula	m_1	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo húmido	m_2	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo seco	m_3	(0,01g)			
Massa do solo seco	$w_s = m_3 - m_1$	(0,01g)			
Massa da água	$w_w = m_2 - m_3$	(0,01g)			
Teor em água	$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$	(0,1%)			
Número de pancadas					
Limite de liquidez		(%)			NP



Limite de Plasticidade

Número da cápsula					
Massa da cápsula	m_1	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo húmido	m_2	(0,01g)			
Massa da cápsula contendo solo seco	m_3	(0,01g)			
Massa do solo seco	$w_s = m_3 - m_1$	(0,01g)			
Massa da água	$w_w = m_2 - m_3$	(0,01g)			
Teor em água	$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100$	(0,1%)			
Limite de plasticidade		(%)			
Índice de Plasticidade		(%)			NP

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

LABC.003.5 Observações:

6% cimento

Ensaiou

Aprovado

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

01.15 - Azul de metileno
NF P 94-068:1998

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

Toma de ensaio 2	N.º da cápsula			44
	Massa da cápsula	P	(0,01g)	116,21
	Massa da cápsula contendo o solo húmido	P ₁	(0,01g)	215,32
	Massa do solo húmido	m _{h2}	(0,01g)	
	Massa da cápsula contendo o solo seco	P ₂	(0,01g)	211,26
	Massa do solo seco	m _{s2}	(0,01g)	
	Teor em água da amostra	$\omega = \frac{m_{h2} - m_{s2}}{m_{s2}}$		(0,001)

Toma de ensaio 1	Massa húmida da toma de ensaio	m _{h1}	(0,01g)	65,10
	Massa seca da toma de ensaio	$m_0 = \frac{m_{h1}}{1 + \omega}$	(0,01g)	
	Volume de azul para teste positivo	V	(cm³)	25
	Massa de azul introduzida	B = V × 0,01	(0,01g)	
	Proporção da fracção 0/5 na fracção 0/50 (P#4)	C	(0,01)	0,86
	Valor de azul de metileno	$VBS = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$	(g/100g _{solo})	

Toma de ensaio 3	Massa húmida da toma de ensaio	m _{h3}	(0,01g)	
	Massa seca da toma de ensaio	$m_0 = \frac{m_{h3}}{1 + \omega}$	(0,01g)	
	Volume de azul para teste positivo	V	(cm³)	
	Massa de azul introduzida	B = V × 0,01	(0,01g)	
	Proporção da fracção 0/5 na fracção 0/50 (P#4)	C	(0,01)	
	Valor de azul de metileno	$VBS = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$	(g/100g _{solo})	



LABC.005.2 Observações:

3% cimento

Ensaiou

Pedro

Aprovado



01.15 - Azul de metileno
NF P 94-068:1998

Toma de ensaio 2	N.º da cápsula			56
	Massa da cápsula	P	(0,01g)	108,31
	Massa da cápsula contendo o solo húmido	P ₁	(0,01g)	204,11
	Massa do solo húmido	m _{h2}	(0,01g)	
	Massa da cápsula contendo o solo seco	P ₂	(0,01g)	199,10
	Massa do solo seco	m _{s2}	(0,01g)	
	Teor em água da amostra	$\omega = \frac{m_{h2} - m_{s2}}{m_{s2}}$		(0,001)

Toma de ensaio 1	Massa húmida da toma de ensaio	m _{h1}	(0,01g)	65,41
	Massa seca da toma de ensaio	$m_0 = \frac{m_{h1}}{1 + \omega}$	(0,01g)	
	Volume de azul para teste positivo	V	(cm³)	20
	Massa de azul introduzida	B = V × 0,01	(0,01g)	
	Proporção da fracção 0/5 na fracção 0/50 (P#4)	C	(0,01)	0,86
	Valor de azul de metileno	$VBS = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$	(g/100g _{solo})	

Toma de ensaio 3	Massa húmida da toma de ensaio	m _{h3}	(0,01g)	
	Massa seca da toma de ensaio	$m_0 = \frac{m_{h3}}{1 + \omega}$	(0,01g)	
	Volume de azul para teste positivo	V	(cm³)	
	Massa de azul introduzida	B = V × 0,01	(0,01g)	
	Proporção da fracção 0/5 na fracção 0/50 (P#4)	C	(0,01)	
	Valor de azul de metileno	$VBS = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$	(g/100g _{solo})	

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

LABC.005.E Observações:

4,5% cimento

Ensaiou

Podio

Aprovado



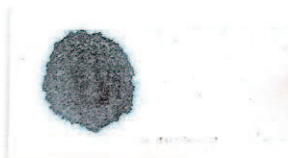
01.15 - Azul de metileno
NF P 94-068:1998

Toma de ensaio 2	N.º da cápsula			1
	Massa da cápsula	P	(0,01g)	110,23
	Massa da cápsula contendo o solo húmido	P ₁	(0,01g)	210,73
	Massa do solo húmido	m _{h2}	(0,01g)	
	Massa da cápsula contendo o solo seco	P ₂	(0,01g)	206,94
	Massa do solo seco	m _{s2}	(0,01g)	
	Teor em água da amostra	$\omega = \frac{m_{h2} - m_{s2}}{m_{s2}}$		(0,001)

Toma de ensaio 1	Massa húmida da toma de ensaio	m _{h1}	(0,01g)	69,40
	Massa seca da toma de ensaio	$m_0 = \frac{m_{h1}}{1 + \omega}$	(0,01g)	
	Volume de azul para teste positivo	V	(cm³)	20
	Massa de azul introduzida	B = V × 0,01	(0,01g)	
	Proporção da fracção 0/5 na fracção 0/50 (P#4)	C	(0,01)	0,86
	Valor de azul de metileno	$VBS = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$	(g/100g _{solo})	0,26

Toma de ensaio 3	Massa húmida da toma de ensaio	m _{h3}	(0,01g)	
	Massa seca da toma de ensaio	$m_0 = \frac{m_{h3}}{1 + \omega}$	(0,01g)	
	Volume de azul para teste positivo	V	(cm³)	
	Massa de azul introduzida	B = V × 0,01	(0,01g)	
	Proporção da fracção 0/5 na fracção 0/50 (P#4)	C	(0,01)	
	Valor de azul de metileno	$VBS = \frac{B}{m_0} \times C \times 100$	(g/100g _{solo})	

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.



61. Cimento

Podro

[Signature]



MOTA-ENGIL, ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO, SA

LABORATÓRIO CENTRAL

AMOSTRA A3483/11

BOLETIM 13856.11

DATA 03-Set-11

04.11 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

ENSAIOU António Ferreira

LNEC E 234

VISTO

P_1	Peso inicial	gr	53,52
-------	--------------	----	-------

Peneiros		Material Retido		Percentagem acumulada do material que passa
#	mm	gr	%	
				0,1%
1/2"	12,70			100,0
3/8"	9,52			100,0
1/4"	6,80			100,0
4	4,76			100,0
8	2,36			100,0
10	2,00	0,02	0,04	100,0
12	1,60	0,02	0,04	100,0
16	1,18	0,09	0,17	99,8
20	0,85	0,85	1,6	98,4
30	0,63	3,93	7,3	92,7
40	0,42	8,19	15,3	84,7
50	0,30	13,94	26,0	74,0
60	0,25	16,08	30,0	70,0
80	0,177	20,29	37,9	62,1
100	0,15	23,56	44,0	56,0
140	0,106	27,37	51,1	48,9
200	0,074	31,28	58,4	41,6
Retido no fundo		22,24	41,6	



MOTA-ENGIL, ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO, SA

LABORATÓRIO CENTRAL

AMOSTRA A3483/11

BOLETIM 13856.11

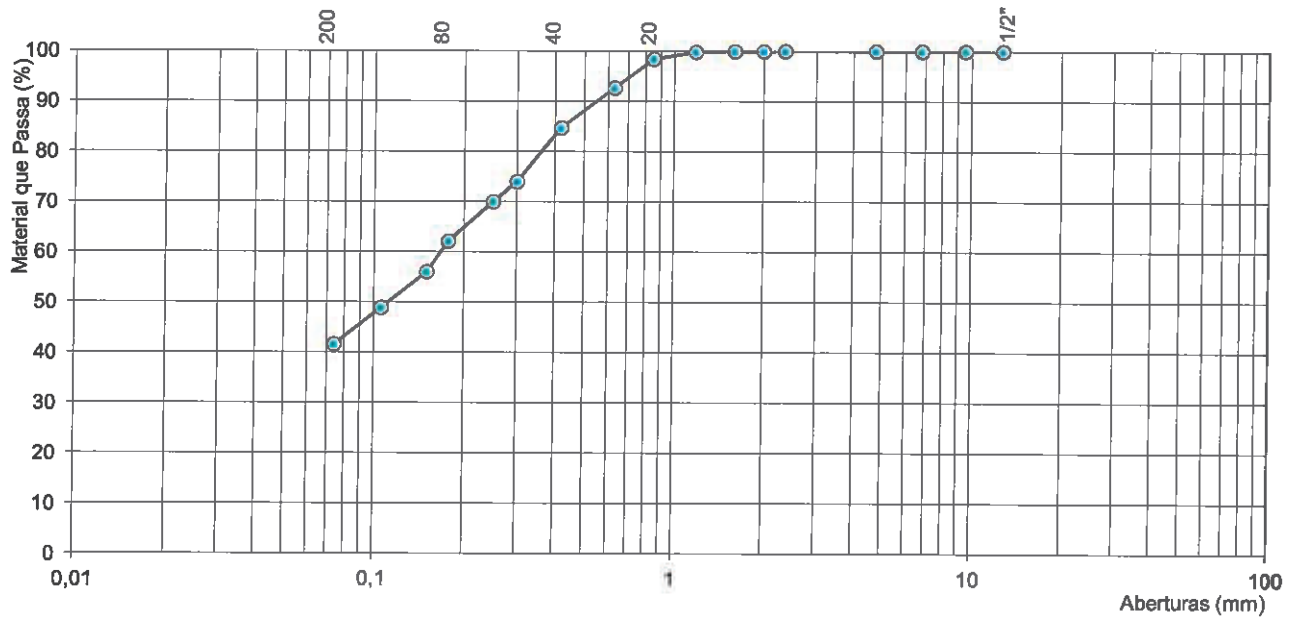
DATA 03-Set-11

ENSAIOU António Ferreira

VISTO *António*

04.11 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

LNEC E 234





MOTA-ENGIL, ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO, SA

LABORATÓRIO CENTRAL

AMOSTRA	A0432/12
BOLETIM	1798.12
DATA	23-Nov-12
ENSAIOU	António Ferreira
VISTO	<i>J. Pinto</i>

04.02 - DETERMINAÇÃO DA MASSA VOLÚMICA

LNEC E 64

ENSAIO			1	2
T	Temperatura de ensaio	°C	20	20
m	massa do provete	g	65	65
V_1	Valor lido no voluminimetro contendo somente liquido auxiliar	cm ³	0,1	0,0
V_2	Valor lido no voluminimetro contendo o liquido auxiliar e o provete	cm ³	22,0	21,8
$\frac{m}{V_2 - V_1}$	Massa volúmica	0,01g/cm ³	2,97	2,98
MASSA VOLÚMICA		0,01g/cm ³	2,97	



Cimento Portland de Calcário

CEM II/B-L 32,5N



NP EN 197-1 0856

▶ Constituintes

$65\% \leq \text{Clínquer} \leq 79\%$
 $21\% \leq \text{Calcário} \leq 35\%$
Sulfato de cálcio regulador de presa



▶ Características

▶ Químicas

Sulfatos (SO_3) $\leq 3,5\%$
Cloretos (Cl) $\leq 0,10\%$

▶ Físicas

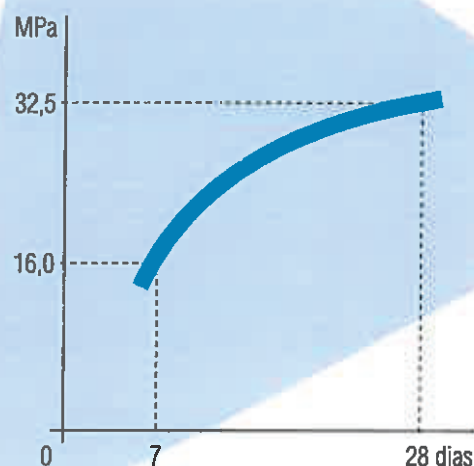
Início de presa (min) ≥ 75
Expansibilidade (mm) ≤ 10

▶ Mecânicas

Resistência à compressão
Valores mínimos
7 dias: 16,0 MPa
28 dias: 32,5 MPa

Resistência mecânica à compressão

Curva de crescimento mínimo



▶ Propriedades especiais do betão fabricado com este cimento

- ▶ Desenvolvimento lento das resistências iniciais
- ▶ Progressão muito sensível das resistências até 28 dias
- ▶ Elevada trabalhabilidade em argamassas e em betões mesmo com baixa relação água/cimento



▶ Utilizações recomendadas

- ▶ **Betão armado**
Indicado principalmente para as classes de resistência C12/15 a C20/25
- ▶ **Pré-fabricação**
Artefactos e outros elementos em betão simples
Elementos estruturais em betão armado sem exigências mecânicas significativas
- ▶ **Betonagem em grandes massas**
- ▶ **Argamassas industriais e feitas em obra para várias aplicações**
- ▶ **Betão simples de uso geral, em fundações e elevações**
- ▶ **Solo cimento**

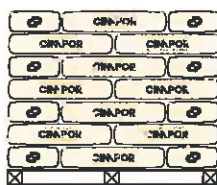
▶ Precauções na aplicação

- ▶ Respeitar as dosagens de cimento mínimas e as relações água/cimento máximas normativas
- ▶ Assegurar uma cura e protecção cuidadosas de duração conveniente, principalmente em situações climáticas mais adversas
- ▶ Não retirar cofragem nem remover escoramento antes de o betão ter a resistência suficiente

▶ Contra-indicações

- ▶ Em ambientes agressivos seguir estritamente as recomendações normativas e os textos técnicos sobre o assunto
- ▶ Betonagem sob temperaturas baixas

▶ Acondicionamento



Palete

49 Sacos de 35 kg - 1715 kg



Pacotão

55 Sacos de 35kg - 1925 kg

Camião de 25 toneladas com meios de descarga próprios devidamente selado



Granel
25 toneladas

▶ Ambiente e Segurança

- ▶ Usar vestuário de protecção, luvas e equipamento protector para a vista/face adequado
- ▶ Quando ensacado contém redutor de crómio (VI) cujo período de eficácia é de dois meses após a data de ensacagem
- ▶ A produção deste cimento representa uma diminuição das emissões de CO₂ para a atmosfera
- ▶ Para mais informações, consulte a Ficha de Dados de Segurança



ÁREA COMERCIAL

Av. Severiano Falcão, 8 - Edifício CIMPOR - 2689-524 PRIOR VELHO
Tel.: 21 940 86 43 - Fax: 21 940 87 60

ÁREA TÉCNICO-COMERCIAL

Av. Severiano Falcão, 8 - Edifício CIMPOR - 2689-524 PRIOR VELHO
Tel.: 21 940 86 43 - Fax: 21 940 87 54

ENCOMENDAS, CONTROLO DE VENDAS E CRÉDITO

S. Pedro Fins - Maia - Apartado 1023 - 4449-909 ERMESINDE
Tel.: 22 968 80 00 - Fax: 22 967 18 38

www.cimpor-portugal.pt
Dcomercial@cimpor.com

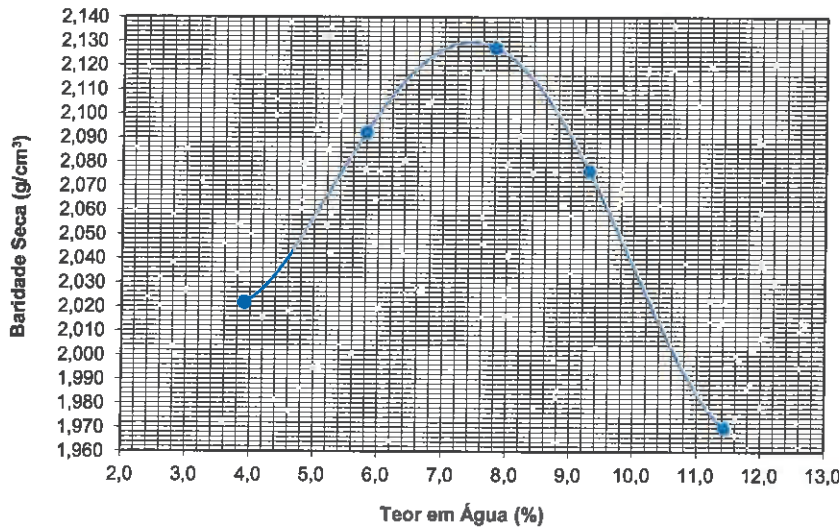
XI.4 - Boletins de ensaio dos provetes de solo-cimento

**01.06 - Compactação Proctor
LNEC E 197**

Tipo de compactação: **Pesada em molde grande** Peso do Pilão (g): **Pesado: 4540** Altura de queda (mm): **Pilão pesado: 457** Volume do molde-V (cm³): **2133**

N.º de Camadas: **5** N.º de Pancadas/Camada: **55** Peso do molde-P_m (g): **2579**

Peso do molde + solo humido	P _t	g	7060	7301	7471	7420	7262	---
Peso do solo humido	P-P _m	g	4481	4722	4892	4841	4683	---
Baridade Húmida	$\gamma_w = \frac{P}{V}$	0,001g/cm³	2,101	2,214	2,293	2,270	2,195	---
N.º da cápsula			34	229	312	19	35	---
Peso da cápsula	m ₁	0,01g	109,14	108,89	100,99	103,12	109,38	---
Peso da cápsula + solo humido	m ₂	0,01g	357,13	348,67	328,71	338,52	399,05	---
Peso da cápsula + solo seco	m ₃	0,01g	347,81	335,51	312,23	318,50	369,31	---
Peso do solo seco	P _s =m ₃ -m ₁	0,01g	238,67	226,62	211,24	215,38	259,93	---
Peso da água	P _w =m ₂ -m ₃	0,01g	9,32	13,16	16,48	20,02	29,74	---
Teor em água	$\frac{P_w}{P_s} \times 100$	0,1%	3,9	5,8	7,8	9,3	11,4	---
Teor médio	w	0,1%	3,9	5,8	7,8	9,3	11,4	---
Baridade Seca	$\gamma_s = \frac{\gamma_w \times 100}{w + 100}$	0,001g/cm³	2,022	2,092	2,128	2,077	1,970	---



Baridade Seca Máxima
(0,001g/cm³)

2,130

Teor em Água Optimo
(0,1%)

7,4

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

LABC.007.4 Observações:

Ensaio

António Ferreira
António Ferreira

Aprovado

Nuno Pinto
Nuno Pinto

Amostra
A0577/12

Boletim
2568.12

Página
1/2

Data
20-03-2012

06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento NLT 304 / NLT 305

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

	3%		3%		3%		3%		3%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Porcentagem de Cimento (%)										
Nº do Molde	29	3%	5amarelo	3%	6amarelo	3%	26	3%	13	3%
Diâmetro Molde (mm)	151		151		151		152		152	
Volume do Molde (cm³)	3175		3194		3175		3230		3190	
Área do molde (cm²)	178,8		179,7		179,5		181,7		180,3	
Nº do Provede	612		613		614		615		616	
Data de fabrico	28-03-2012		28-03-2012		28-03-2012		28-03-2012		02-04-2012	
Idade (dias)	7		7		7		7		28	
Data de ensaio	04-04-2012		04-04-2012		04-04-2012		04-04-2012		30-04-2012	

	7382		7244		7240		7394		7229		7226	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Peso inicial (g)	2,325		2,268		2,280		2,289		2,246		2,265	
Baridade Húmida (g/cm³)												
Mistura												
Nº da cápsula	109	17	93	123	131	102	29	393	56	94	27	22
Peso da cápsula (g)	107,85	106,13	108,61	108,73	100,62	107,80	106,24	110,25	106,25	110,13	109,06	103,53
Peso cápsula+solo húmido (g)	417,94	503,86	460,26	551,94	468,95	543,17	486,67	555,13	385,47	518,48	475,59	451,74
Peso cápsula+solo seco (g)	397,29	478,59	436,50	523,20	444,99	515,98	462,10	527,22	366,10	492,40	450,76	429,22
Teor de humidade (%)	7,1	6,8	7,2	6,9	7,0	6,7	6,9	6,7	7,5	6,8	7,3	6,9
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,177		2,121		2,138		2,146		2,102		2,119	

MOLDAGEM

	C. Diâmetral		C. Diâmetral		C. Simples		C. Simples		C. Simples		C. Simples	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
ENSAIO (APÓS CURA)												
Tipo de ensaio	C. Diâmetral		C. Diâmetral		C. Simples		C. Simples		C. Simples		C. Simples	
Peso final (g)	7380		7242		7238		7393		7228		7226	
Carga de rotura (kN)	19,0		17,9		56,6		57,7		62,1		64,9	
Tensão de Rotura (MPa)	0,45		0,42		3,12		3,18		3,42		3,58	
Baridade Húmida (g/cm³)	2,324		2,267		2,280		2,289		2,245		2,265	
Nº da cápsula	20		77		46		n16		13		337	
Peso da cápsula (g)	372,00		345,00		372,00		186,00		229,00		363,00	
Peso cápsula+solo húmido (g)	3942,00		3886,00		3415,00		3135,00		2990,00		4441,00	
Peso cápsula+solo seco (g)	3758,00		3701,00		3257,00		2983,00		2836,00		4228,00	
Teor de humidade (%)	5,4		5,5		5,5		5,4		5,9		5,5	
Baridade Seca (g/cm³)	2,205		2,149		2,161		2,171		2,120		2,147	

Observações: Wopt -1 %

Ensaio

Aprovado



Ricardo Cunha

Amostra
A0577/12

Boletim
2568.12

Página
2/2

Data
20-03-2012

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

Percentagem de Cimento (%)	3%		3%		3%		3%		3%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Nº do Molde	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Dímetro Molde (mm)	151	152	152	152	152	152	152	152	152	152
Volume do Molde (cm³)	3175	3205	3205	3218	3218	3207	3218	3207	3219	3219
Área do molde (cm²)	179,5	181,1	181,1	180,9	180,9	180,8	180,9	180,8	182,0	182,0
Nº do Provede	618	619	619	608	609	610	609	610	611	611
Data de fabrico	02-04-2012	02-04-2012	20-03-2012	21-03-2012	21-03-2012	21-03-2012	21-03-2012	21-03-2012	21-03-2012	21-03-2012
Idade (dias)	28	28	90	90	90	90	90	90	90	90
Data de ensaio	30-04-2012	30-04-2012	18-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012

MOLDAGEM	7320		7353		2,294		2,285		7335		2,279		7397		2,312	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Peso inicial (g)	103	11	16	32	284	35	103	58	145	126	145	126	145	126	145	126
Baridade Húmida (g/cm³)	108,50	110,02	109,57	108,94	107,12	108,30	109,91	109,47	109,13	108,68	109,13	108,68	109,13	108,68	109,13	108,68
Peso da cápsula (g)	451,93	483,80	492,37	559,14	423,13	480,69	357,65	491,03	409,66	507,59	431,30	458,44	507,59	431,30	458,44	507,59
Peso cápsula+solo húmido (g)	428,44	459,67	465,30	529,58	401,20	456,20	340,60	466,20	388,50	481,20	409,10	435,10	388,50	481,20	409,10	435,10
Peso cápsula+solo seco (g)	7,4	6,9	7,6	7,0	7,5	7,0	7,4	7,0	7,6	6,9	7,4	7,0	7,6	6,9	7,4	7,0
Teor de humidade (%)	2,157	2,144	2,134	2,131	2,157	2,161	2,157	2,131	2,157	2,161	2,157	2,161	2,157	2,161	2,157	2,161
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	7318	7353	7320	7353	7320	7353	7320	7353	7320	7353	7320	7353	7320	7353	7320	7353

ENSAIO (APÓS CURA)	C. Diâmetral		C. Simples		C. Diâmetral		C. Simples		C. Diâmetral		C. Simples		C. Diâmetral	
	C. Diâmetral	C. Simples	C. Diâmetral	C. Simples	C. Diâmetral	C. Simples	C. Diâmetral	C. Simples	C. Diâmetral	C. Simples	C. Diâmetral	C. Simples	C. Diâmetral	C. Simples
Peso final (g)	22,4	20,9	76,7	74,7	26,4	27,9	76,7	74,7	26,4	27,9	76,7	74,7	26,4	27,9
Carga de rotura (kN)	0,53	0,49	4,23	4,12	0,62	0,66	4,23	4,12	0,62	0,66	4,23	4,12	0,62	0,66
Tensão de Rotura (MPa)	2,305	2,294	2,284	2,278	2,306	2,311	2,284	2,278	2,306	2,311	2,284	2,278	2,306	2,311
Baridade Húmida (g/cm³)	102	12	36	46	16	16	36	46	16	16	36	46	16	16
Nº da cápsula	263,00	308,00	367,00	338,00	372,00	471,00	367,00	338,00	372,00	471,00	367,00	338,00	372,00	471,00
Peso da cápsula (g)	3245,00	3797,00	4938,00	3345,00	3759,00	4137,00	4938,00	3345,00	3759,00	4137,00	4938,00	3345,00	3759,00	4137,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	3083,00	3607,00	4694,00	3179,00	3570,00	3938,00	4694,00	3179,00	3570,00	3938,00	4694,00	3179,00	3570,00	3938,00
Peso cápsula+solo seco (g)	5,7	5,8	5,6	5,8	5,9	5,7	5,6	5,8	5,9	5,7	5,6	5,8	5,9	5,7
Teor de humidade (%)	2,180	2,169	2,162	2,152	2,178	2,186	2,162	2,152	2,178	2,186	2,162	2,152	2,178	2,186
Baridade Seca (g/cm³)														

Observações: Wopt -1 %

Ensalou


Aprovado


Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

	3%		3%		3%		3%		3%		3%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Porcentagem de Cimento (%)												
Nº do Molde	31	17	17	4amarelo	63	5amarelo	63	5amarelo	63	5amarelo	63	5amarelo
Diâmetro Molde (mm)	152	152	152	152	152	151	152	151	152	151	152	153
Volumen do Molde (cm³)	3221	3200	3200	3215	3218	3194	3218	3194	3218	3194	3241	3241
Área do molde (cm²)	181,6	180,9	180,9	180,7	180,9	179,7	180,9	179,7	180,9	179,7	182,8	182,8
Nº do Provede	624	621	621	626	627	628	627	628	627	628	629	629
Data de fabrico	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	02-04-2012	02-04-2012
Idade (dias)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	28	28
Data de ensaio	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	30-04-2012	30-04-2012
Peso inicial (g)	7490	7462	7462	7471	7400	7412	7400	7412	7400	7412	7409	7409
Baridade Húmida (g/cm³)	2,325	2,332	2,332	2,324	2,300	2,321	2,300	2,321	2,300	2,321	2,286	2,286
MOLDAGEM												
Nº da cápsula	16	30	27	284	51	108	35	108	44	93	136	2
Peso da cápsula (g)	109,51	106,42	108,91	108,57	110,05	107,96	109,63	107,96	110,31	108,59	109,60	110,83
Peso cápsula+solo húmido (g)	448,44	520,50	470,13	483,71	457,55	488,70	480,62	550,07	484,58	539,06	428,90	492,62
Peso cápsula+solo seco (g)	423,41	491,12	442,87	457,29	432,32	462,44	452,84	518,34	456,54	508,30	405,08	465,43
Teor de humidade (%)	8,0	7,6	8,2	7,6	7,8	7,4	8,1	7,7	8,1	7,7	8,1	7,7
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,160	2,168	2,168	2,163	2,135	2,155	2,135	2,155	2,135	2,155	2,123	2,123
ENSAIO (APÓS CURA)												
Tipo de ensaio	C. Diametral	C. Diametral	C. Diametral	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples
Peso final (g)	7489	7461	7461	7469	7396	7411	7396	7411	7396	7411	7406	7406
Carga de rotura (kN)	16,8	15,1	15,1	45,8	44,3	48,0	44,3	48,0	44,3	48,0	48,2	48,2
Tensão de Rotura (MPa)	0,40	0,36	0,36	2,52	2,44	2,65	2,44	2,65	2,44	2,65	2,66	2,66
Baridade Húmida (g/cm³)	2,325	2,332	2,332	2,323	2,298	2,320	2,298	2,320	2,298	2,320	2,285	2,285
Nº da cápsula	657	349	349	2	9	7	9	7	9	7	276	276
Peso da cápsula (g)	363,00	494,00	494,00	489,00	311,00	359,00	311,00	359,00	311,00	359,00	364,00	364,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	4066,00	4033,00	4033,00	4037,00	4888,00	4706,00	4888,00	4706,00	4888,00	4706,00	4609,00	4609,00
Peso cápsula+solo seco (g)	3852,00	3829,00	3829,00	3833,00	4603,00	4435,00	4603,00	4435,00	4603,00	4435,00	4349,00	4349,00
Teor de humidade (%)	6,1	6,1	6,1	6,1	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,5	6,5
Baridade Seca (g/cm³)	2,191	2,197	2,197	2,190	2,155	2,176	2,155	2,176	2,155	2,176	2,145	2,145

Observações: Wopt

Ensaio

Aprovado

Ricardo Cunha
Ricardo Cunha

BOLETIM DE ENSAIO

Amostra
A0577/12

Boletim
2569.12

Página
2/2

Data
20-03-2012

06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

Percentagem de Cimento (%)	3%		3%		3%		3%		3%		3%	
	Nº do Molde	4amarelo	17	12	31	13	27	31	13	27	31	27
Diâmetro Molde (mm)	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152
Volume do Molde (cm ³)	3215	3200	3200	3190	3221	3219	3217	3221	3219	3217	3217	3217
Área do molde (cm ²)	180,7	180,9	180,9	180,3	181,6	181,0	181,9	181,6	181,0	181,9	181,9	181,9
Nº do Provede	630	631	631	620	621	622	623	621	622	623	623	623
Data de fabrico	02-04-2012	02-04-2012	02-04-2012	20-03-2012	20-03-2012	20-03-2012	20-03-2012	20-03-2012	20-03-2012	20-03-2012	20-03-2012	20-03-2012
Idade (dias)	28	28	28	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Data de ensaio	30-04-2012	30-04-2012	30-04-2012	18-06-2012	18-06-2012	18-06-2012	18-06-2012	18-06-2012	18-06-2012	18-06-2012	18-06-2012	18-06-2012

MOLDAGEM	7455		7411		7435		7395		7385		7433	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Peso inicial (g)	2,319	2,316	2,316	2,331	2,296	2,294	2,294	2,294	2,294	2,294	2,311	2,311
Baridade Húmida (g/cm ³)	88	28	393	26	58	10	44	2	44	2	122	108
Nº da cápsula	107,85	111,80	110,38	112,51	109,14	110,69	110,24	110,72	109,85	109,85	107,94	107,94
Peso da cápsula (g)	463,13	518,79	532,61	544,85	455,45	480,60	424,84	547,84	441,43	441,43	470,92	470,92
Peso cápsula+solo húmido (g)	436,20	488,90	500,80	513,60	401,46	453,80	400,89	516,30	415,58	415,58	445,70	445,70
Peso cápsula+solo seco (g)	8,2	7,9	8,1	7,8	8,3	7,8	8,2	7,8	8,5	8,5	7,5	7,5
Teor de humidade (%)	2,149	2,149	2,149	2,164	2,130	2,130	2,129	2,129	2,150	2,150	2,150	2,150
Baridade seca antes da cura (g/cm ³)												

ENSAIO (APÓS CURA)	C. Diâmetral		C. Diâmetral		C. Simples		C. Simples		C. Diâmetral		C. Diâmetral	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Tipo de ensaio	7454	7411	7431	7395	7383	7431	7395	7383	7431	7383	7431	7431
Peso final (g)	18,5	18,1	67,8	65,0	24,5	24,5	24,5	24,5	25,6	25,6	25,6	25,6
Carga de rotura (kN)	0,44	0,43	3,74	3,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,60	0,60	0,60	0,60
Tensão de Rotura (MPa)	2,319	2,316	2,329	2,296	2,294	2,294	2,294	2,294	2,310	2,310	2,310	2,310
Baridade Húmida (g/cm ³)	82	2	349	60	7	7	7	7	219	219	219	219
Nº da cápsula	366,00	368,00	494,00	479,00	360,00	360,00	360,00	360,00	365,00	365,00	365,00	365,00
Peso da cápsula (g)	3907,00	3803,00	4446,00	5354,00	4064,00	4064,00	4064,00	4064,00	4024,00	4024,00	4024,00	4024,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	3684,00	3587,00	4222,00	5069,00	3852,00	3852,00	3852,00	3852,00	3809,00	3809,00	3809,00	3809,00
Peso cápsula+solo seco (g)	6,7	6,7	6,0	6,2	6,1	6,1	6,1	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2
Teor de humidade (%)	2,172	2,170	2,197	2,162	2,162	2,162	2,162	2,162	2,174	2,174	2,174	2,174
Baridade Seca (g/cm ³)												

Observações: Wopt

Ensalhou

Ricardo Cunha

Aprovado

Nuno Pinto

BOLETIM DE ENSAIO

Amostra
A0577/12

Boletim
2570.12

Página
1/2

Data
20-03-2012

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

	3%		3%		3%		3%		3%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Porcentagem de Cimento (%)										
Nº do Molde	11	21	14	30	14	30	14	30	14	30
Diâmetro Molde (mm)	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152
Volume do Molde (cm³)	3205	3219	3203	3207	3203	3207	3203	3207	3203	3230
Área do molde (cm²)	181,1	182,0	181,1	180,8	181,1	180,8	181,1	182,0	181,1	181,7
Nº do Provede	636	637	638	639	638	639	638	640	641	641
Data de fabrico	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	28-03-2012	02-04-2012	02-04-2012	02-04-2012
Idade (dias)	7	7	7	7	7	7	7	28	28	28
Data de ensaio	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	30-04-2012	30-04-2012	30-04-2012

	7340		2274		7900		2276		7297		2254	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
MOLDAGEM												
Peso inicial (g)	7261	7340	7283	7283	7300	7283	7276	7297	7280	7280	2,254	2,254
Baridade Humida (g/cm³)	2,266	2,280	2,274	2,274	2,276	2,274	2,276	2,267	2,267	2,267	2,254	2,254
Mistura												
Nº da cápsula	65	38	28	103	60	2	44	28	10	145	60	60
Peso da cápsula (g)	112,51	107,90	111,97	109,48	109,45	110,98	110,35	101,37	110,55	108,66	109,27	109,27
Peso cápsula+solo húmido (g)	443,11	506,81	496,26	457,49	510,99	483,81	465,37	515,01	529,77	460,03	483,74	483,74
Peso cápsula+solo seco (g)	412,42	471,25	461,00	427,16	473,59	450,71	455,48	477,50	492,60	426,90	450,52	450,52
Teor de humidade (%)	10,2	9,8	10,1	9,5	10,2	9,7	10,1	10,0	9,7	10,4	9,7	9,7
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,064	2,081	2,073	2,081	2,083	2,073	2,083	2,066	2,066	2,054	2,054	2,054

	7339		25,8		7299		26,2		7297		27,6	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
ENSAIO (APÓS CURA)												
Tipo de ensaio	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples
Peso final (g)	7261	7339	7282	7282	7299	7299	7299	7297	7297	7279	7279	7279
Carga de rotura (kN)	9,0	8,6	25,8	25,8	26,2	26,2	26,2	28,9	28,9	27,6	27,6	27,6
Tensão de Rotura (MPa)	0,21	0,20	1,42	1,42	1,44	1,44	1,44	1,59	1,59	1,52	1,52	1,52
Baridade Húmida (g/cm³)	2,266	2,280	2,273	2,273	2,276	2,276	2,276	2,267	2,267	2,254	2,254	2,254
Nº da cápsula	200	7	337	7	977	21	977	21	977	119	119	119
Peso da cápsula (g)	502,00	359,00	363,00	363,00	306,00	306,00	306,00	408,00	408,00	365,00	365,00	365,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	4471,00	4050,00	3717,00	3717,00	4777,00	4777,00	4777,00	5151,00	5151,00	3743,00	3743,00	3743,00
Peso cápsula+solo seco (g)	4184,00	3778,00	3479,00	3479,00	4457,00	4457,00	4457,00	4779,00	4779,00	3478,00	3478,00	3478,00
Teor de humidade (%)	7,8	8,0	7,6	7,6	7,7	7,7	7,7	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Baridade Seca (g/cm³)	2,102	2,112	2,112	2,112	2,113	2,113	2,113	2,089	2,089	2,077	2,077	2,077

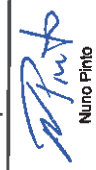
Observações: Wopt +2 %

Ensalou

Aprovado



Ricardo Cunha



Nuno Pinto

BOLETIM DE ENSAIO

Amostra
A0577/12

Boletim
2570.12

Página
2/2

Data
20-03-2012

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	88 pancadas

	3%		3%		3%		3%		3%	
	Nº do Molde	31	17	14	14	29	26	152	151	152
Dímetro Molde (mm)	152	152	152	152	152	151	152	3203	3175	3230
Volume do Molde (cm³)	181,1	181,6	180,9	181,1	181,1	178,8	181,7	642	634	635
Área do molde (cm²)	02-04-2012	02-04-2012	21-03-2012	21-03-2012	21-03-2012	21-03-2012	21-03-2012	30-04-2012	19-06-2012	19-06-2012
Nº do Provede	28	28	90	90	90	90	90	7269	7269	7301
Data de fabrico	2,269	2,261	2,283	2,263	2,263	2,289	2,260	213	284	122
Idade (dias)	101,74	109,50	110,26	111,72	108,46	108,09	108,30	101,74	108,09	109,87
Data de ensaio	533,44	465,65	492,80	458,94	446,89	440,20	454,79	491,92	398,77	446,96
Peso inicial (g)	491,92	433,60	456,14	427,42	333,71	416,68	380,67	10,6	372,87	422,97
Baridade Humida (g/cm³)	10,6	9,9	10,5	9,8	10,3	9,9	9,9	2,065	9,8	10,2
Mistura	2,065	2,058	2,078	2,067	2,067	2,091	2,062	2,065	2,091	2,062
Nº da cápsula	213	35	44	2	44	2	28	213	108	119
Peso da cápsula (g)	101,74	109,50	110,26	111,72	108,46	108,09	108,30	101,74	108,09	109,87
Peso cápsula+solo húmido (g)	533,44	465,65	492,80	458,94	446,89	440,20	454,79	491,92	398,77	446,96
Peso cápsula+solo seco (g)	491,92	433,60	456,14	427,42	333,71	416,68	380,67	491,92	372,87	422,97
Teor de humidade (%)	10,6	9,9	10,3	9,9	10,3	9,9	9,9	10,6	9,8	10,2
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,065	2,058	2,078	2,067	2,067	2,091	2,062	2,065	2,091	2,062

MOLDAGEM

	C. Diâmetral		C. Simples		C. Diâmetral		C. Simples		C. Diâmetral	
	C. Diâmetral	C. Simples	C. Diâmetral	C. Simples	C. Diâmetral	C. Simples	C. Diâmetral	C. Simples	C. Diâmetral	C. Simples
Tipo de ensaio	7268	7281	7307	7249	7269	7301	7269	7301	7269	7301
Peso final (g)	11,9	12,0	30,4	31,2	13,5	12,6	13,5	12,6	13,5	12,6
Carga de rotura (kN)	0,28	0,28	1,68	1,72	0,32	0,30	0,32	0,30	0,32	0,30
Tensão de Rotura (MPa)	2,269	2,260	2,283	2,263	2,289	2,280	2,289	2,280	2,289	2,280
Baridade Humida (g/cm³)	222	101	77	337	3	219	3	219	3	219
Nº da cápsula	320,00	352,00	344,00	363,00	357,00	365,00	357,00	365,00	357,00	365,00
Peso da cápsula (g)	3613,00	3853,00	4159,00	3697,00	3789,00	4024,00	3789,00	4024,00	3789,00	4024,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	3352,00	3578,00	3869,00	3431,00	3514,00	3729,00	3514,00	3729,00	3514,00	3729,00
Peso cápsula+solo seco (g)	8,6	8,5	8,2	8,7	8,7	8,8	8,7	8,8	8,7	8,8
Teor de humidade (%)	2,089	2,083	2,110	2,083	2,106	2,078	2,106	2,078	2,106	2,078
Baridade Seca (g/cm³)	2,089	2,083	2,110	2,083	2,106	2,078	2,106	2,078	2,106	2,078

Observações: Wopt +2 %

Ensalou

Ricardo Cunha

Aprovado

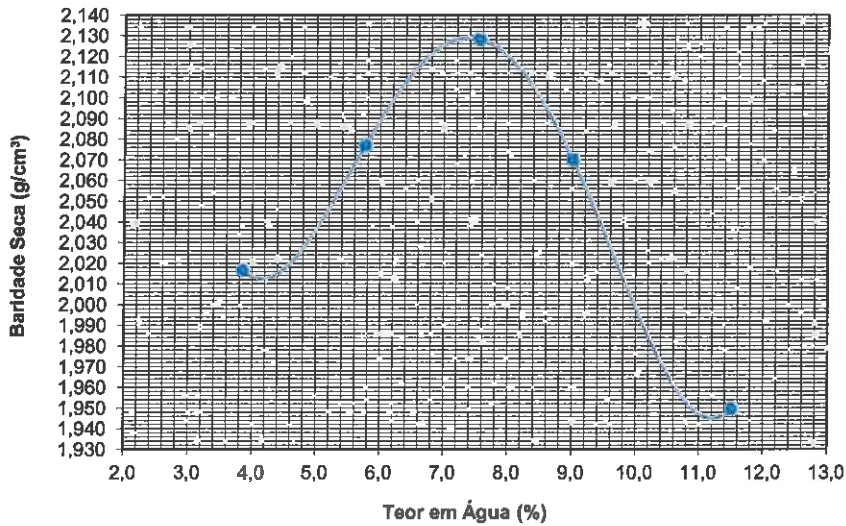
Nuno Pinto

01.06 - Compactação Proctor
LNEC E 197

Tipo de compactação **Peso do Pilião (g)** **Altura de queda (mm)** **Volume do molde-V (cm³)**
 Pesada em molde grande Pesado: 4540 Pilião pesado: 457 2133

N.º de Camadas **Nº de Pancadas/Camada** **Peso do molde-P_m (g)**
 5 55 2579

Peso do molde + solo humido	P _t	g	7047	7265	7462	7393	7217	---
Peso do solo humido	P=P _t -P _m	g	4468	4686	4883	4814	4638	---
Baridade Húmida	$\gamma_w = \frac{P}{V}$	0,001g/cm³	2,095	2,197	2,289	2,257	2,174	---
N.º da cápsula			44	---	229	---	10	---
Peso da cápsula	m ₁	0,01g	110,26	---	108,80	---	110,62	---
Peso da cápsula + solo humido	m ₂	0,01g	404,82	---	345,30	---	380,50	---
Peso da cápsula + solo seco	m ₃	0,01g	393,88	---	332,40	---	361,53	---
Peso do solo seco	P _s =m ₃ -m ₁	0,01g	283,62	---	223,60	---	250,91	---
Peso da água	P _w =m ₂ -m ₃	0,01g	10,94	---	12,90	---	18,97	---
Teor em água	$\frac{P_w}{P_s} \times 100$	0,1%	3,9	---	5,8	---	7,6	---
Teor médio	w	0,1%	3,9	---	5,8	---	7,6	---
Baridade Seca	$\gamma_s = \frac{\gamma_w \times 100}{w + 100}$	0,001g/cm³	2,017	2,077	2,128	2,070	1,950	---



Baridade Seca Máxima
(0,001g/cm³)

2,130

Teor em Água Ótimo
(0,1%)

7,4

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

BOLETIM DE ENSAIO

Amostra
A0578/12

Boletim
2572.12

Página
2/2

Data
20-03-2012

06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento NLT 304 / NLT 305

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

	4,5%		4,5%		4,5%		4,5%		4,5%		4,5%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Porcentagem de Cimento (%)												
Nº do Molde	12	63	27	11	13	12	152	152	3205	181,1	181,0	647
Diâmetro Molde (mm)	152	152	3217	181,9	644	90	28	28	7378	7497	7389	7544
Volume do Molde (cm³)	3190	3218	180,9	655	21-03-2012	21-03-2012	03-04-2012	03-04-2012	01-05-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012
Área do molde (cm²)	654	655	28	28	2,145	2,145	2,149	2,149	2,145	2,182	2,157	2,165
Nº do Provede	7332	26,9	0,63	2,298	112	16	302,00	3868,00	3671,00	5,8	2,171	2,168
Data de fabrico	03-04-2012	03-04-2012	01-05-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012
Idade (dias)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Data de ensaio	01-05-2012	01-05-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012	19-06-2012
MOLDAGEM												
Peso inicial (g)	7334	7378	2,293	7497	2,330	7389	7544	2,299	2,293	2,330	2,305	2,317
Baridade Húmida (g/cm³)	26	393	28	88	26	122	108,18	107,72	106,78	109,49	118	41
Mistura	111,57	110,35	112,08	107,77	111,76	108,33	108,18	107,72	106,78	109,49	108,85	100,66
Nº da cápsula	428,79	506,94	424,41	550,64	417,64	519,29	385,20	540,17	388,17	487,07	498,42	500,55
Peso da cápsula (g)	406,89	481,13	402,70	522,02	396,50	493,04	366,10	512,30	368,20	462,30	470,80	474,50
Peso cápsula+solo húmido (g)	7,4	7,0	7,5	6,9	7,4	6,8	7,4	6,9	7,6	7,0	7,6	7,0
Peso cápsula+solo seco (g)	2,149	2,145	2,145	2,145	2,182	2,157	2,157	2,157	2,165	2,165	2,165	2,211
Teor de humidade (%)												
Baridade seca antes da cura (g/cm³)												
ENSAIO (APÓS CURA)												
Tipo de ensaio	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Diâmetral
Peso final (g)	7332	7378	7497	7389	7453	7541	7332	7378	7497	7389	7453	7541
Carga de rotura (kN)	26,9	27,2	87,9	88,4	30,8	29,5	26,9	27,2	87,9	88,4	30,8	29,5
Tensão de Rotura (MPa)	0,63	0,64	4,84	4,87	0,72	0,69	0,63	0,64	4,84	4,87	0,72	0,69
Baridade Húmida (g/cm3)	2,298	2,293	2,330	2,305	2,315	2,364	2,298	2,293	2,330	2,305	2,315	2,364
Nº da cápsula	112	16	499	19	17	977	112	16	499	19	17	977
Peso da cápsula (g)	302,00	487,00	494,00	309,00	315,00	305,00	302,00	487,00	494,00	309,00	315,00	305,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	3868,00	4177,00	3804,00	3515,00	3725,00	4050,00	3868,00	4177,00	3804,00	3515,00	3725,00	4050,00
Peso cápsula+solo seco (g)	3671,00	3977,00	3623,00	3338,00	3541,00	3845,00	3671,00	3977,00	3623,00	3338,00	3541,00	3845,00
Teor de humidade (%)	5,8	5,7	5,8	5,8	5,7	5,8	5,8	5,7	5,8	5,8	5,7	5,8
Baridade Seca (g/cm3)	2,171	2,168	2,203	2,178	2,190	2,235	2,171	2,168	2,203	2,178	2,190	2,235

Observações: Wopt -1 %

Ensaio

Aprovado

Ricardo Cunha

Nuno Pinto

BOLETIM DE ENSAIO

Amostra
A0578/12

Boletim
2573.12

Página
1/2

Data
20-03-2012

06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento NLT 304 / NLT 305

Tipo de compactação:		Pesada
Nº de camadas:		5
Pancadas ou Vibração por camada:		86 pancadas

Percentagem de Cimento (%)	4,5%		4,5%		4,5%		4,5%		4,5%		
	Nº do Molde	17	21	5amarelo	12	152	151	3190	182,0	664	665
Dímetro Molde (mm)	152	152	152	151	152	152	152	3190	182,0	664	665
Volume do Molde (cm³)	3200	3219	3219	3194	3219	3219	3190	3219	182,0	664	665
Área do molde (cm²)	180,9	182,0	182,0	179,7	180,3	180,3	180,3	180,3	182,0	664	665
Nº do Provede	680	681	681	682	683	683	683	683	684	684	685
Data de fabrico	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	03-04-2012	03-04-2012	03-04-2012
Idade (dias)	7	7	7	7	7	7	7	7	28	28	28
Data de ensaio	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	01-05-2012	01-05-2012	01-05-2012

MOLDAGEM	7470		7473		7400		7392		7460		7421	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Peso inicial (g)	27	16	35	284	108	93	11	94	10	28	27	16
Baridade Húmida (g/cm³)	108,90	109,49	109,42	108,46	108,01	108,54	109,99	110,04	110,65	101,38	109,19	109,49
Peso da cápsula (g)	526,32	493,85	504,56	540,26	490,39	514,48	506,79	554,96	433,12	463,24	431,53	535,36
Peso cápsula+solo húmido (g)	494,99	486,35	475,72	510,45	462,50	485,30	471,27	524,02	407,80	436,20	406,13	504,05
Peso cápsula+solo seco (g)	8,1	7,7	7,9	7,4	7,9	7,7	8,0	7,5	8,5	8,1	8,6	7,9
Teor de humidade (%)	2,167	2,161	2,150	2,156	2,144	2,144	2,156	2,144	2,144	2,156	2,165	2,165
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,167	2,161	2,150	2,156	2,144	2,144	2,156	2,144	2,144	2,156	2,165	2,165

ENSAIO (APÓS CURA)	C. Diâmetral		C. Diâmetral		C. Simples		C. Simples		C. Simples		C. Simples	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Tipo de ensaio	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples
Peso final (g)	7468	7470	7470	7393	7393	7389	7389	7458	7458	7420	7420	7420
Carga de rotura (kN)	20,2	19,6	19,6	63,4	63,4	63,1	63,1	65,0	65,0	67,5	67,5	67,5
Tensão de Rotura (MPa)	0,48	0,46	0,46	3,49	3,49	3,48	3,48	3,58	3,58	3,72	3,72	3,72
Baridade Húmida (g/cm³)	2,334	2,321	2,321	2,315	2,315	2,316	2,316	2,317	2,317	2,337	2,337	2,337
Nº da cápsula	211	8	8	46	46	337	337	200	200	343	343	343
Peso da cápsula (g)	244,00	338,00	338,00	371,00	371,00	364,00	364,00	501,00	501,00	493,00	493,00	493,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	3923,00	4284,00	4284,00	3882,00	3882,00	3881,00	3881,00	5335,00	5335,00	5187,00	5187,00	5187,00
Peso cápsula+solo seco (g)	3715,00	4061,00	4061,00	3695,00	3695,00	3691,00	3691,00	5027,00	5027,00	4894,00	4894,00	4894,00
Teor de humidade (%)	6,0	6,0	6,0	5,6	5,6	5,7	5,7	6,8	6,8	6,7	6,7	6,7
Baridade Seca (g/cm³)	2,202	2,189	2,189	2,191	2,191	2,191	2,191	2,169	2,169	2,191	2,191	2,191

Observações: Wopt

Ensaio

Aprovado

Ricardo Cunha

Ricardo Cunha

Nuno Pinto

Nuno Pinto

Amostra
A0578/12

Boletim
2573.12

Página
2/2

Data
20-03-2012

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação: Nº de camadas: Pancadas ou Vibração por camada:	Pesada 5 86 pancadas
--	----------------------------

	4,5%		4,5%		4,5%		4,5%		4,5%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Porcentagem de Cimento (%)	4,5%		4,5%		4,5%		4,5%		4,5%	
Nº do Molde	13	11	31	30	11	30	11	30	11	30
Diâmetro Molde (mm)	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152
Volume do Molde (cm³)	3219	3205	3221	3207	3205	3205	3205	3205	3218	3218
Área do molde (cm²)	181,0	181,1	181,6	180,8	181,1	180,8	181,1	180,8	180,9	180,9
Nº do Provede	666	667	656	657	658	657	658	657	659	659
Data de fabrico	03-04-2012	03-04-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012
Idade (dias)	28	28	90	90	90	90	90	90	90	90
Data de ensaio	01-05-2012	01-05-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012

	7411		7424		7433		7423		7406		7464	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
MOLDAGEM												
Peso inicial (g)	2,302	2,316	2,308	2,315	2,311	2,311	2,315	2,311	2,311	2,311	2,319	2,319
Baridade Húmida (g/cm³)												
Mistura												
Nº da cápsula	93	44	2	136	40	40	27	100	442	65	213	140
Peso da cápsula (g)	108,62	110,27	110,96	109,61	106,30	107,71	108,85	98,97	109,05	112,48	101,70	107,77
Peso cápsula+solo húmido (g)	441,33	552,77	441,01	531,66	428,06	491,66	415,33	509,46	484,67	504,95	421,75	525,95
Peso cápsula+solo seco (g)	414,50	520,00	414,50	500,84	402,47	463,65	391,40	479,10	455,10	475,80	396,30	495,20
Teor de humidade (%)	8,8	8,0	8,7	7,9	8,6	7,9	8,5	8,0	8,5	8,0	8,6	7,9
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,132	2,147	2,139	2,143	2,139	2,143	2,143	2,139	2,139	2,139	2,149	2,149

	C. Diâmetral		C. Diâmetral		C. Simples		C. Diâmetral		C. Diâmetral		C. Diâmetral	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
ENSAIO (APÓS CURA)												
Tipo de ensaio												
Peso final (g)	7409	7420	7430	7420	7430	7420	7420	7403	7403	7463	7463	7463
Carga de rotura (kN)	24,5	22,6	77,1	73,9	77,1	73,9	73,9	28,1	28,1	27,9	27,9	27,9
Tensão de Rotura (MPa)	0,58	0,53	4,25	4,07	4,25	4,07	4,07	0,68	0,68	0,66	0,66	0,66
Baridade Húmida (g/cm³)	2,302	2,315	2,307	2,314	2,307	2,314	2,314	2,310	2,310	2,319	2,319	2,319
Nº da cápsula	7	115	206	100	206	100	100	2	2	32	32	32
Peso da cápsula (g)	489,00	339,00	505,00	302,00	505,00	302,00	302,00	311,00	311,00	409,00	409,00	409,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	4445,00	3804,00	4519,00	4429,00	4519,00	4429,00	4429,00	4008,00	4008,00	4280,00	4280,00	4280,00
Peso cápsula+solo seco (g)	4197,00	3585,00	4293,00	4179,00	4293,00	4179,00	4179,00	3777,00	3777,00	4035,00	4035,00	4035,00
Teor de humidade (%)	6,7	6,7	6,0	6,4	6,0	6,4	6,4	6,7	6,7	6,8	6,8	6,8
Baridade Seca (g/cm³)	2,157	2,169	2,177	2,174	2,177	2,174	2,174	2,166	2,166	2,172	2,172	2,172

Observações: Wopt

Ensaio

Aprovado



LABC 464.3

Ricardo Cunha

Nuno Pinto



Amostra
A0578/12

Boletim
2574.12

Página
1/2

Data
20-03-2012

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

	4,5%		4,5%		4,5%		4,5%		4,5%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Percentagem de Cimento (%)	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%
Nº do Molde	27	11	11	4amarelo	14	31	31	4amarelo	152	4,5%
Diâmetro Molde (mm)	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152
Volume do Molde (cm³)	3217	3205	3205	3215	3203	3221	3221	3203	3215	3215
Área do molde (cm²)	181,9	181,1	181,1	180,7	181,1	181,6	181,6	181,1	180,7	180,7
Nº do Provede	672	673	673	674	675	676	676	675	677	677
Data de fabrico	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	29-03-2012	03-04-2012	03-04-2012
Idade (dias)	7	7	7	7	7	28	28	7	28	28
Data de ensaio	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	05-04-2012	01-05-2012	01-05-2012

	7352		7347		7350		7292		7343		7337	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Peso inicial (g)	2,285	2,292	2,292	2,286	2,286	2,277	2,277	2,277	2,280	2,280	2,282	2,282
Baridade Humida (g/cm³)	107,93	107,85	107,86	108,20	109,48	108,42	111,78	108,35	110,13	106,05	103,50	109,01
Mistura	438,67	541,85	488,23	477,44	466,65	484,69	509,37	461,57	467,65	462,62	489,26	491,43
Nº da cápsula	407,92	505,62	454,22	446,94	434,39	452,32	471,96	431,08	433,80	430,40	452,40	457,10
Peso da cápsula (g)	10,3	9,1	9,8	9,0	9,9	9,4	10,4	9,4	10,5	9,9	10,6	9,9
Peso cápsula+solo húmido (g)	2,095	2,104	2,104	2,089	2,089	2,080	2,080	2,074	2,074	2,074	2,077	2,077
Peso cápsula+solo seco (g)	2,095	2,104	2,104	2,089	2,089	2,080	2,080	2,074	2,074	2,074	2,077	2,077
Teor de humidade (%)	10,3	9,1	9,8	9,0	9,9	9,4	10,4	9,4	10,5	9,9	10,6	9,9
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,095	2,104	2,104	2,089	2,089	2,080	2,080	2,074	2,074	2,074	2,077	2,077

	C. Diâmetral		C. Diâmetral		C. Simples		C. Simples		C. Simples		C. Simples	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Tipo de ensaio	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples
Peso final (g)	7350	7342	7342	7350	7350	7285	7285	7342	7342	7336	7336	7336
Carga de rotura (kN)	13,2	13,1	13,1	33,4	33,4	33,1	33,1	34,6	34,6	36,3	36,3	36,3
Tensão de Rotura (MPa)	0,31	0,31	0,31	1,84	1,84	1,82	1,82	1,91	1,91	2,00	2,00	2,00
Baridade Humida (g/cm³)	2,285	2,291	2,291	2,286	2,286	2,274	2,274	2,279	2,279	2,282	2,282	2,282
Nº da cápsula	1	329	329	25	25	2	2	3	3	125	125	125
Peso da cápsula (g)	313,00	277,00	277,00	311,00	311,00	488,00	488,00	359,00	359,00	349,00	349,00	349,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	4060,00	3879,00	3879,00	3952,00	3952,00	4586,00	4586,00	4336,00	4336,00	4405,00	4405,00	4405,00
Peso cápsula+solo seco (g)	3787,00	3623,00	3623,00	3700,00	3700,00	4301,00	4301,00	4030,00	4030,00	4089,00	4089,00	4089,00
Teor de humidade (%)	7,5	7,7	7,7	7,4	7,4	7,5	7,5	8,3	8,3	8,4	8,4	8,4
Baridade Seca (g/cm³)	2,124	2,128	2,128	2,128	2,128	2,116	2,116	2,104	2,104	2,104	2,104	2,104

Observações: Wopt +2 %

Ensalou

Aprovado



Ricardo Cunha



Nuno Pinto

Amostra
A0578/12

Boletim
2574.12

Página
2/2

Data
20-03-2012

**06.46 - Compressão de Proveites de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

	4,5%		4,5%		4,5%		4,5%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Percentagem de Cimento (%)	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%
Nº do Molde	14	27	13	27	27	26	27	17
Diâmetro Molde (mm)	152	152	152	152	152	152	152	152
Volume do Molde (cm³)	3203	3217	3219	3217	3217	3230	3217	3200
Área do molde (cm²)	181,1	181,9	181,0	181,9	181,9	181,7	181,9	180,9
Nº do Proveite	678	679	668	670	670	671	671	672
Data de fabrico	03-04-2012	03-04-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012
Idade (dias)	28	28	90	90	90	90	90	90
Data de ensaio	01-05-2012	01-05-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012

	7340		7270		7253		7258	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Peso inicial (g)	7317	7340	7270	7253	7253	7258	7277	7277
Baridade Humida (g/cm³)	2,284	2,282	2,258	2,255	2,255	2,247	2,274	2,274
Mistura								
Nº da cápsula	11	103	16	118	58	34	41	119
Peso da cápsula (g)	110,02	109,47	109,52	108,85	100,28	109,15	100,70	108,98
Peso cápsula+solo húmido (g)	525,35	511,22	493,75	507,40	447,43	505,06	464,13	566,14
Peso cápsula+solo seco (g)	485,60	474,20	456,90	471,20	414,50	470,58	429,78	526,17
Teor de humidade (%)	10,6	10,1	10,6	9,6	10,5	9,5	10,4	9,6
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,074	2,074	2,060	2,058	2,058	2,051	2,071	2,071

	C. Diametral		C. Simples		C. Simples		C. Diametral	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Tipo de ensaio	C. Diametral	C. Diametral	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Diametral	C. Diametral	C. Diametral
Peso final (g)	7315	7339	7269	7251	7251	7243	7276	7276
Carga de rotura (kN)	14,6	16,4	42,1	43,6	43,6	18,1	17,7	17,7
Tensão de Rotura (MPa)	0,34	0,39	2,32	2,40	2,40	0,43	0,42	0,42
Baridade Humida (g/cm³)	2,284	2,281	2,258	2,254	2,254	2,242	2,274	2,274
Nº da cápsula	106	32	101	19	19	337	3	3
Peso da cápsula (g)	358,00	410,00	352,00	308,00	308,00	362,00	359,00	359,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	4076,00	4404,00	3582,00	3647,00	3647,00	4106,00	3602,00	3602,00
Peso cápsula+solo seco (g)	3787,00	4090,00	3347,00	3400,00	3400,00	3823,00	3346,00	3346,00
Teor de humidade (%)	8,4	8,5	7,8	8,0	8,0	8,2	8,6	8,6
Baridade Seca (g/cm³)	2,106	2,102	2,094	2,087	2,087	2,073	2,094	2,094

Observações: Wopt +2 %

Ensalou
Ricardo Cunha
Ricardo Cunha

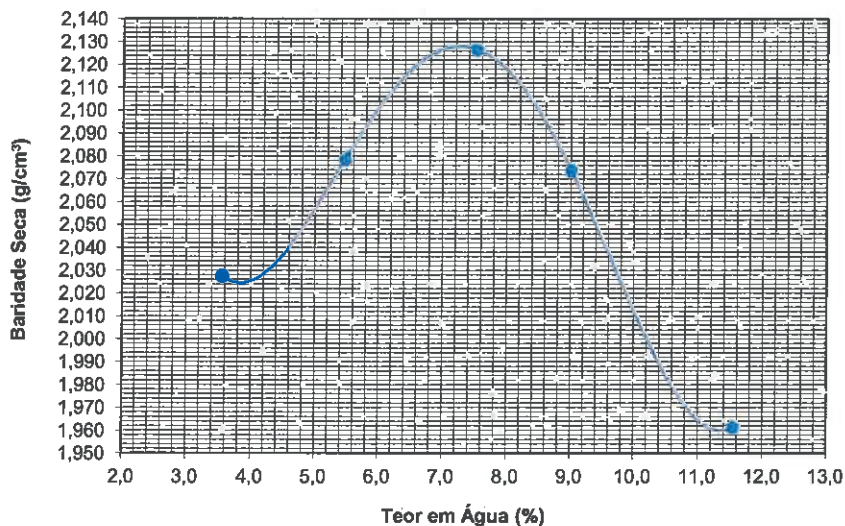
Aprovado
Nuno Pinto
Nuno Pinto

**01.06 - Compactação Proctor
LNEC E 197**

Tipo de compactação **Peso do Pilião (g)** **Altura de queda (mm)** **Volume do molde-V (cm³)**
 Pesada em molde grande Pesado: 4540 Pilião pesado: 457 2133

N.º de Camadas **N.º de Pancadas/Camada** **Peso do molde-P_m (g)**
 5 55 2579

Peso do molde + solo humido	P ₁	g	7058	7256	7457	7401	7246	---
Peso do solo humido	P=P ₁ -P _m	g	4479	4677	4878	4822	4667	---
Baridade Húmida	$\gamma_w = \frac{P}{V}$	0,001g/cm ³	2,100	2,193	2,287	2,261	2,188	---
N.º da cápsula			137	126	94	26	68	---
Peso da cápsula	m ₁	0,01g	108,87	101,25	109,98	111,21	106,01	---
Peso da cápsula + solo humido	m ₂	0,01g	394,86	389,21	372,34	381,46	342,50	---
Peso da cápsula + solo seco	m ₃	0,01g	385,02	374,24	353,95	359,10	318,00	---
Peso do solo seco	P _s =m ₃ -m ₁	0,01g	276,15	272,99	243,97	247,89	211,99	---
Peso da água	P _w =m ₂ -m ₃	0,01g	9,84	14,97	18,39	22,36	24,50	---
Teor em água	$\frac{P_w}{P_s} \times 100$	0,1%	3,6	5,5	7,5	9,0	11,6	---
Teor médio	w	0,1%	3,6	5,5	7,5	9,0	11,6	---
Baridade Seca	$\gamma_s = \frac{\gamma_w \times 100}{w + 100}$	0,001g/cm ³	2,028	2,079	2,127	2,074	1,961	---



Baridade Seca Máxima
(0,001g/cm³)

2,128

Teor em Água Ótimo
(0,1%)

7,3

Este boletim de ensaio só tem validade quando parte integrante de um relatório de ensaio emitido pelo Laboratório Central da Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A.

Amostra
A0579/12

Boletim
2576.12

Página
1/2

Data
20-03-2012

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:		Pesada
Nº de camadas:		5
Pancadas ou Vibração por camada:		86 pancadas

	6%		6%		6%		6%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Porcentagem de Cimento (%)	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
Nº do Molde	5Amaro	26	30	6Amaro	6Amaro	12		
Diâmetro Molde (mm)	151	152	152	151	151	152		
Volumen do Molde (cm³)	3194	3230	3207	3175	3175	3190		
Área do molde (cm²)	179,7	181,7	180,8	179,5	179,5	180,3		
Nº do Provede	688	689	690	691	684	685		
Data de fabrico	03-04-2012	03-04-2012	03-04-2012	04-04-2012	30-03-2012	30-03-2012		
Idade (dias)	7	7	7	7	28	28		
Data de ensaio	10-04-2012	10-04-2012	10-04-2012	11-04-2012	27-04-2012	27-04-2012		

	7353		7432		7260		7300	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Peso inicial (g)	2,302	2,271	2,317	2,287	2,274	2,288		
Baridade húmida (g/cm³)								
Mistura								
Nº da cápsula	35	213	8	109	140	101	29	44
Peso da cápsula (g)	109,47	101,76	107,01	108,00	107,76	107,87	108,19	110,26
Peso cápsula+solo húmido (g)	536,50	481,45	480,33	571,85	528,76	569,76	504,23	497,58
Peso cápsula+solo seco (g)	508,46	457,07	455,65	543,40	500,11	541,54	477,30	472,42
Teor de humidade (%)	7,0	6,9	7,1	6,5	7,3	6,5	7,3	6,9
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,154	2,132	2,176	2,139	2,126	2,137	2,126	2,137

	7351		743		735		7259		7221		7297	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
ENSALVO (APÓS CURA)												
Tipo de ensaio	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Diâmetro	C. Diâmetro	C. Diâmetro	C. Diâmetro	C. Diâmetro	C. Diâmetro	C. Diâmetro	C. Diâmetro	C. Diâmetro
Peso final (g)	74,3	71,9	71,9	23,9	23,9	23,9	23,9	23,9	32,3	32,3	33,1	33,1
Carga de rotura (kN)	4,09	3,96	3,96	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,76	0,76	0,78	0,78
Baridade húmida (g/cm³)	2,302	2,271	2,271	2,317	2,286	2,286	2,286	2,286	2,274	2,274	2,287	2,287
Nº da cápsula	349	2	2	316	2	2	2	2	102	102	200	200
Peso da cápsula (g)	495,00	185,00	185,00	277,00	489,00	489,00	489,00	489,00	263,00	263,00	501,00	501,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	5428,00	3415,00	3415,00	3540,00	3839,00	3839,00	3839,00	3839,00	3115,00	3115,00	3950,00	3950,00
Peso cápsula+solo seco (g)	5147,00	3236,00	3236,00	3355,00	3645,00	3645,00	3645,00	3645,00	2975,00	2975,00	3777,00	3777,00
Teor de humidade (%)	6,0	5,9	5,9	6,0	6,1	6,1	6,1	6,1	5,2	5,2	5,3	5,3
Baridade Seca (g/cm³)	2,170	2,145	2,145	2,186	2,154	2,154	2,154	2,154	2,163	2,163	2,173	2,173

Observações: Wopt -1 %

Ensalvou

Aprovado



LABC 4543

Ricardo Cunha



Nuno Pinto

Amostra
A0579/12

Boletim
2576.12

Página
2/2

Data
20-03-2012

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

Percentagem de Cimento (%)	6%		6%		6%		6%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Nº do Molde	31	27	14	12	12	21	12	6%
Diâmetro Molde (mm)	152	153	152	152	152	152	151	29
Volume do Molde (cm ³)	3221	3241	3203	3190	3190	3219	3175	151
Área do molde (cm ²)	181,6	182,8	181,1	180,3	180,3	182,0	178,8	178,8
Nº do Provede	686	687	680	681	681	682	683	683
Data de fabrico	30-03-2012	30-03-2012	22-03-2012	22-03-2012	22-03-2012	23-03-2012	23-03-2012	23-03-2012
Idade (dias)	28	28	90	90	90	90	90	90
Data de ensaio	27-04-2012	27-04-2012	20-06-2012	20-06-2012	20-06-2012	21-06-2012	21-06-2012	21-06-2012

MOLDAGEM	7395		7328		7339		7387		7390		7344	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Peso inicial (g)	2,286	2,261	2,291	2,316	2,291	2,316	2,296	2,313	2,296	2,313	2,313	2,313
Baridade Húmida (g/cm ³)	2,145	2,113	2,144	2,167	2,144	2,167	2,147	2,167	2,147	2,167	2,167	2,167
Mistura	26	88	25	435	11	108	144	8	60	38	26	122
Nº da cápsula	105,44	107,92	102,78	106,38	108,23	107,98	107,30	107,04	109,19	107,91	111,68	108,33
Peso da cápsula (g)	535,70	637,13	462,32	477,18	461,11	544,13	412,59	515,24	478,38	496,87	494,50	492,59
Peso cápsula+solo húmido (g)	506,10	602,30	437,20	452,90	436,20	516,10	391,47	489,10	452,09	471,60	468,20	468,28
Teor de humidade (%)	7,4	7,0	7,5	7,0	7,6	6,9	7,4	6,8	7,7	6,9	7,4	6,8
Baridade seca antes da cura (g/cm ³)	2,145	2,113	2,144	2,167	2,144	2,167	2,147	2,167	2,147	2,167	2,167	2,167

ENSAIO (APÓS CURA)	C. Simples		C. Simples		C. Simples		C. Simples		C. Diâmetral		C. Diâmetral	
	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Diâmetral	C. Diâmetral
Tipo de ensaio	7390	7327	7339	7387	7339	7387	7387	7344	7387	7344	7344	7344
Peso final (g)	102,4	99,3	116,4	112,5	116,4	112,5	112,5	43,4	42,0	43,4	43,4	43,4
Carga de rotura (kN)	5,64	5,47	6,41	6,20	6,41	6,20	6,20	1,02	0,99	1,02	1,02	1,02
Tensão de Rotura (MPa)	2,294	2,261	2,291	2,316	2,291	2,316	2,295	2,313	2,295	2,313	2,313	2,313
Baridade Húmida (g/cm ³)	2	16	46	16	46	16	7	16	7	16	16	16
Nº da cápsula	366,00	306,00	372,00	471,00	372,00	471,00	489,00	352,00	489,00	352,00	352,00	352,00
Peso da cápsula (g)	4411,00	4638,00	4613,00	4489,00	4613,00	4489,00	4237,00	3992,00	4237,00	3992,00	3992,00	3992,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	4233,00	4438,00	4386,00	4276,00	4386,00	4276,00	4040,00	3811,00	4040,00	3811,00	3811,00	3811,00
Teor de humidade (%)	4,6	4,8	5,7	5,6	5,7	5,6	5,5	5,2	5,5	5,2	5,2	5,2
Baridade Seca (g/cm ³)	2,193	2,156	2,169	2,193	2,169	2,193	2,174	2,198	2,174	2,198	2,198	2,198

Observações: Wopt -1 %

Ensalou

Aprovado



Ricardo Cunha

Nuno Pinto

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

MOLDAGEM	6%		6%		6%		6%		6%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Nº do Molde	21	17	14	11	13	13	13	13	13	26
Diâmetro Molde (mm)	152	152	152	152	152	152	152	152	152	152
Volume do Molde (cm³)	3219	3200	3203	3205	3219	3205	3219	3205	3219	3230
Área do molde (cm²)	182,0	180,9	181,1	181,1	181,0	181,0	181,0	181,0	181,7	181,7
Nº do Provede	700	701	702	703	696	696	696	696	697	697
Data de fabrico	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	04-04-2012	30-03-2012	30-03-2012	30-03-2012	30-03-2012	30-03-2012	30-03-2012
Idade (dias)	7	7	7	7	28	28	28	28	28	28
Data de ensaio	11-04-2012	11-04-2012	11-04-2012	11-04-2012	27-04-2012	27-04-2012	27-04-2012	27-04-2012	27-04-2012	27-04-2012
Peso inicial (g)	7446	7475	7408	7412	7403	7403	7403	7403	7500	7500
Baridade Húmida (g/cm³)	2,313	2,336	2,313	2,313	2,300	2,300	2,300	2,300	2,322	2,322
Mistura										
Nº da cápsula	13	51	7	114	4	128	13	136	27	56
Peso da cápsula (g)	108,17	108,52	110,94	106,63	108,24	106,82	104,70	109,61	109,04	110,61
Peso cápsula+solo húmido (g)	513,01	488,39	515,81	487,95	461,44	593,75	538,37	561,53	503,32	542,51
Peso cápsula+solo seco (g)	480,33	460,92	484,18	461,39	435,18	559,44	505,64	440,90	474,20	508,94
Teor de humidade (%)	8,8	7,8	8,5	7,5	8,0	7,6	8,2	7,5	8,0	8,4
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,146	2,173	2,150	2,152	2,130	2,130	2,130	2,130	2,151	2,151

ENSAIO (APÓS CURA)	C. Simples		C. Simples		C. Diâmetro		C. Diâmetro		C. Diâmetro	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Tipo de ensaio										
Peso final (g)	7444	7474	7407	7406	7400	7400	7400	7400	7499	7499
Carga de rotura (kN)	64,4	64,7	21,0	21,7	31,4	31,4	31,4	31,4	31,7	31,7
Tensão de Rotura (MPa)	3,55	3,57	0,49	0,51	0,74	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75
Baridade Húmida (g/cm³)	2,313	2,336	2,313	2,311	2,299	2,299	2,299	2,299	2,322	2,322
Nº da cápsula	2	349	46	1	312	312	312	312	316	316
Peso da cápsula (g)	185,00	495,00	372,00	313,00	247,00	247,00	247,00	247,00	277,00	277,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	2815,00	4925,00	4113,00	4106,00	3779,00	3779,00	3779,00	3779,00	3298,00	3298,00
Peso cápsula+solo seco (g)	2652,00	4656,00	3882,00	3872,00	3600,00	3600,00	3600,00	3600,00	3143,00	3143,00
Teor de humidade (%)	6,6	6,5	6,6	6,6	5,3	5,3	5,3	5,3	5,4	5,4
Baridade Seca (g/cm³)	2,169	2,194	2,170	2,168	2,182	2,182	2,182	2,182	2,203	2,203

Observações: Wopt

Ensaio

Aprovado



Ricardo Cunha



Nuno Pinto

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:		Pesada
Nº de camadas:		5
Pancadas ou Vibração por camada:		86 pancadas

MOLDAGEM	6%		6%		6%		6%		6%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Nº do Molde	17	4Amarelo	4Amarelo	4Amarelo	5Amarelo	6Amarelo	6Amarelo	6Amarelo	6Amarelo	6Amarelo
Diâmetro Molde (mm)	152	152	151	151	151	151	151	151	151	152
Volume do Molde (cm³)	3200	3215	3175	3175	3194	3175	3175	3175	3175	3221
Área do molde (cm²)	180,9	180,7	179,5	179,5	179,7	179,5	179,5	179,5	179,5	181,6
Nº do Proвете	698	699	692	692	693	694	694	694	694	695
Data de fabrico	30-03-2012	30-03-2012	23-03-2012	23-03-2012	23-03-2012	23-03-2012	23-03-2012	23-03-2012	23-03-2012	23-03-2012
Idade (dias)	28	28	90	90	90	90	90	90	90	90
Data de ensaio	27-04-2012	27-04-2012	21-06-2012	21-06-2012	21-06-2012	21-06-2012	21-06-2012	21-06-2012	21-06-2012	21-06-2012
Peso inicial (g)	7499	7551	7451	7451	7423	7327	7327	7327	7327	7386
Baridade Húmida (g/cm³)	2,343	2,349	2,347	2,347	2,324	2,308	2,308	2,308	2,308	2,293
Mistura										
Nº da cápsula	28	22	26	145	126	44	2	28	284	103
Peso da cápsula (g)	101,36	103,48	112,70	108,18	101,15	110,27	110,92	111,76	108,35	109,48
Peso cápsula+solo húmido (g)	430,33	470,78	468,77	486,91	463,72	555,06	491,53	573,95	452,71	504,03
Peso cápsula+solo seco (g)	404,80	443,60	440,20	458,90	435,20	521,20	461,03	540,10	426,20	473,20
Teor de humidade (%)	8,4	8,0	8,7	8,0	8,1	8,7	7,9	8,4	8,1	8,5
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,170	2,175	2,172	2,172	2,154	2,135	2,135	2,135	2,135	2,125

ENSAIO (APÓS CURA)	C. Simples		C. Simples		C. Simples		C. Diametral		C. Diametral	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Tipo de ensaio	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Simples	C. Diametral	C. Diametral	C. Diametral
Peso final (g)	7497	7551	7450	7450	7415	7415	7415	7327	7327	7385
Carga de rotura (kN)	97,1	98,8	119,1	119,1	121,1	121,1	121,1	41,3	41,3	42,3
Tensão de Rotura (MPa)	5,35	5,33	6,56	6,56	6,67	6,67	6,67	0,97	0,97	1,00
Baridade Húmida (g/cm³)	2,343	2,349	2,346	2,346	2,322	2,322	2,322	2,308	2,308	2,293
Nº da cápsula	16	222	3	3	7	7	7	100	100	16
Peso da cápsula (g)	489,00	322,00	358,00	358,00	489,00	489,00	489,00	301,00	301,00	252,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	4762,00	4741,00	4448,00	4448,00	4903,00	4903,00	4903,00	4122,00	4122,00	3911,00
Peso cápsula+solo seco (g)	4544,00	4512,00	4231,00	4231,00	4678,00	4678,00	4678,00	3927,00	3927,00	3720,00
Teor de humidade (%)	5,4	5,5	5,6	5,6	5,4	5,4	5,4	5,4	5,4	5,5
Baridade Seca (g/cm³)	2,223	2,227	2,222	2,222	2,203	2,203	2,203	2,190	2,190	2,173

Observações: Wopt

Ensaio

Aprovado



Ricardo Cunha



Nuno Pinto

BOLETIM DE ENSAIO

Amostra
A0579/12

Boletim
2578.12

Página
1/2

Data
20-03-2012

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

MOLDAGEM	6%		6%		6%		6%		6%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Peso inicial (g)	7347	7333	7345	7357	7355	7357	7357	7375	7375	7375
Baridade Húmida (g/cm³)	2,282	2,296	2,274	2,288	2,288	2,295	2,295	2,309	2,309	2,309
Mistura	10, 67, 110, 110		10, 15, 110, 65		10, 15, 110, 65		10, 15, 110, 65		10, 15, 110, 65	
Nº da cápsula	4	67	10	110	10	110	10	110	10	110
Peso da cápsula (g)	116,65	109,85	104,75	106,43	101,16	110,65	108,39	111,55	108,63	110,03
Peso cápsula+solo húmido (g)	502,51	591,18	509,01	573,62	497,01	577,27	500,99	523,34	475,26	529,80
Peso cápsula+solo seco (g)	465,12	550,22	470,20	532,93	459,66	537,09	463,67	487,85	440,20	491,60
Teor de humidade (%)	10,7	9,3	10,6	9,5	10,4	9,4	10,5	9,4	10,6	10,0
Baridade seca antes da cura (g/cm³)	2,088	2,096	2,078	2,091	2,091	2,087	2,087	2,099	2,087	2,099

ENSAIO (APÓS CURA)	C. Simples		C. Simples		C. Diâmetro		C. Diâmetro		C. Diâmetro	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Tipo de ensaio	C. Simples		C. Simples		C. Diâmetro		C. Diâmetro		C. Diâmetro	
Peso final (g)	7345	7330	7344	7354	7354	7356	7354	7374	7374	7374
Carga de rotura (kN)	35,7	33,9	15,4	13,2	13,2	20,0	20,0	22,1	22,1	22,1
Tensão de Rotura (MPa)	1,97	1,87	0,36	0,31	0,31	0,47	0,31	0,52	0,52	0,52
Baridade Húmida (g/cm³)	2,282	2,295	2,274	2,287	2,287	2,295	2,287	2,309	2,295	2,309
Nº da cápsula	7	337	77	8	8	2	2	343	2	343
Peso da cápsula (g)	360,00	364,00	345,00	339,00	339,00	311,00	311,00	492,00	311,00	492,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	3953,00	4860,00	4078,00	4022,00	4022,00	3970,00	3970,00	4246,00	3970,00	4246,00
Peso cápsula+solo seco (g)	3684,00	4525,00	3799,00	3742,00	3742,00	3723,00	3723,00	3996,00	3723,00	3996,00
Teor de humidade (%)	8,1	8,1	8,1	8,2	8,1	7,2	7,2	7,1	7,2	7,1
Baridade Seca (g/cm³)	2,111	2,124	2,104	2,114	2,114	2,140	2,140	2,155	2,140	2,155

Observações: Wopt +2 %

Ensalou



Ricardo Cunha

Aprovado



Nuno Pinto

Amostra
A0579/12

Boletim
2578.12

Página
2/2

Data
20-03-2012

**06.46 - Compressão de Provetes de Solo-Cimento
NLT 304 / NLT 305**

Tipo de compactação:	Pesada
Nº de camadas:	5
Pancadas ou Vibração por camada:	86 pancadas

MOLDAGEM	6%		6%		6%		6%		6%		6%	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Peso inicial (g)	7380	7376	7304	7304	7304	7314	7304	7314	7304	7314	7375	7375
Baridade Húmida (g/cm ³)	2,304	2,291	2,279	2,270	2,270	2,272	2,270	2,272	2,270	2,268	2,305	2,305
Mistura												
Nº da cápsula	16	27	28	393	8	60	16	30	111	51	27	100
Peso da cápsula (g)	109,57	108,90	111,78	110,20	106,03	109,21	109,50	106,29	108,19	108,33	108,88	99,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	456,56	472,99	455,19	490,03	527,59	525,76	443,24	540,23	484,50	503,53	480,11	501,71
Peso cápsula+solo seco (g)	423,39	441,89	422,20	456,20	487,10	489,10	411,02	501,27	448,20	468,02	444,20	465,20
Teor de humidade (%)	10,6	9,3	10,6	9,8	10,6	9,7	10,7	9,9	10,7	9,9	10,7	10,0
Baridade seca antes da cura (g/cm ³)	2,107	2,087	2,078	2,066	2,078	2,066	2,066	2,068	2,068	2,068	2,096	2,096

ENSAIO (APÓS CURA)	C. Simples		C. Simples		C. Simples		C. Diâmetral		C. Diâmetral		C. Diâmetral	
	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento	S/Cimento	C/Cimento
Tipo de ensaio												
Peso final (g)	7380	7376	7303	7299	7303	7299	7314	7314	7314	7374	7374	7374
Carga de rotura (kN)	50,2	48,1	62,3	61,5	62,3	61,5	29,1	29,1	29,1	28,2	28,2	28,2
Tensão de Rotura (MPa)	2,77	2,65	3,43	3,39	3,43	3,39	0,68	0,68	0,68	0,66	0,66	0,66
Baridade Húmida (g/cm ³)	2,304	2,291	2,279	2,268	2,279	2,268	2,272	2,272	2,272	2,304	2,304	2,304
Nº da cápsula	106	115	101	19	101	19	2	2	2	32	32	32
Peso da cápsula (g)	356,00	340,00	353,00	308,00	353,00	308,00	311,00	311,00	311,00	410,00	410,00	410,00
Peso cápsula+solo húmido (g)	4222,00	4251,00	3875,00	4822,00	3875,00	4822,00	3953,00	3953,00	3953,00	4074,00	4074,00	4074,00
Peso cápsula+solo seco (g)	3966,00	3977,00	3650,00	4512,00	3650,00	4512,00	3705,00	3705,00	3705,00	3840,00	3840,00	3840,00
Teor de humidade (%)	7,1	7,5	6,8	7,4	6,8	7,4	7,3	7,3	7,3	6,8	6,8	6,8
Baridade Seca (g/cm ³)	2,152	2,131	2,133	2,112	2,133	2,112	2,117	2,117	2,117	2,157	2,157	2,157

Observações: Wopt +2 %

Ensalou

Ricardo Cunha

Ricardo Cunha

Aprovado

Nuno Pinto

Nuno Pinto

