

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

RELACTÓRIO DE ESTAGIO DO PRODEP

Nome: Cláudia Vaniza Matias Mendes de Jesus

Curso: Eng^a Civil

Especialidade: Vias de Comunicação

Data: 23/07/03

624(047.3)
LEC 2002/JESc



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu



Mais Educação

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

RELACTÓRIO DE ESTAGIO DO PRODEP

Nome: Cláudia Vaniza Matias Mendes de Jesus
Curso: Eng^a Civil
Especialidade: Vias de Comunicação
Data: 23/07/03



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu



Mind Educação

ÍNDICE

1- INTRODUÇÃO	1
2-OBJECTIVOS DO TRABALHO DE ESTÁGIO	1
3- ORIENTADORES	1
4- DESCRIÇÃO GERAL DO ESTAGIO.....	1
4.1- Trabalho de Laboratório.....	1
4.1.1- Importância dos ensaios laboratoriais na pavimentação.....	2
4.1.1.1- Ensaios em Inertes	2
4.1.1.1.1- Análise granulométrica	2
4.1.1.1.2- Índices de lamelação e alongamento	2
4.1.1.2- Ensaio Marshall	3
4.2- Trabalho de investigação.....	3
5- TRABALHO DE LABORATÓRIO.....	3
5. 1- Análise granulométrica.....	3
5.1.1- Material	3
5.1.2 – Procedimentos	4
5.1.3- Resultados	4
5.2- Índices de lamelação e alongamento.....	4
5.2.1- Material	4
5.2.2- Procedimento	4
5.2.3- Resultados	4
5.2.4 - Análise dos Resultados	11
5.3- Ensaio Marshall	11
5.3.1- Objectivos	11
5.3.2- Força de rotura	11
5.3.2.1- Material	11
5.3.2.2- Procedimentos.....	12
5.3.2.2.1- Moldagem do Provet	12
5.3.2.2.2- Aplicação da carga	13
5.3.3- Densidade aparente	13
5.3.3.1- Material	13
5.3.3.2- Procedimento	13
5.3.4- Curvas características da mistura	18
5.3.5- Cálculo da percentagem óptima de betume	19
5.3.6- Análise dos resultados	20
6- TRABALHO DE INVESTIGAÇÃO	21
6.1- Características do pavimento	21
6.2- Modelos considerando	22
6.2.1- Acções	22
6.2.2- Criação da estrutura	23
6.3- Estrutura final	23
6.3.1- Modelo axissimétrico	23
6.3.2- Modelo 3D.....	24
6.4- Resultados e sua análise	25

7- CONCLUSÃO26

8- BIBLIOGRAFIA27

9-ANEXOS28

RELATÓRIO FINAL DE ESTÁGIO DO PROGRAMA PRODEP

1- INTRODUÇÃO

O estágio foi efectuado na empresa Jaime Queirós Ribeiro,Lda, sita na rua Francisco Carqueja 179, 2º - 4350 Porto, que executa empreitadas em vias de comunicação e outras obras públicas. O mesmo teve a duração de 6 meses e foi dividido em duas partes:

- *Trabalho de Laboratório*
- *Trabalho de Investigação*

2-OBJECTIVOS DO TRABALHO DE ESTÁGIO

- Conhecer documentação normativa referente aos ensaios laboratoriais a realizar sobre materiais de pavimentação.
- Realizar ensaios laboratoriais comuns sobre materiais de pavimentação.
- Conhecer o programa comercial de elementos finitos – Robot Millenium v.15.0
- Aplicar o programa de elementos finitos ao cálculo de uma estrutura de pavimento, considerando análise axissimétrica e análise tridimensional.
- Analisar resultados numéricos obtidos com Robot Millenium v.15.0.

3- ORIENTADORES

Orientador na FEUP: Prof. Dr. Adalberto Quelhas da Silva França

Orientador na empresa: Engº Rui Carlos da Rocha Alvares Quintela

4- DESCRIÇÃO GERAL DO ESTÁGIO

4.1- Trabalho de Laboratório

Ensaios realizados:

- Análise granulométrica de inertes para betão betuminoso com características de desgaste.
- Índices de lamelação e de alongamento de inertes para betão betuminoso com características de desgaste.
- Ensaios de compressão Marshall
- Força de rotura
- Densidade aparente

4.1.1- Importância dos ensaios laboratoriais na pavimentação

4.1.1.1- Ensaios em Inertes

Os materiais granulares são largamente utilizados na construção rodoviária, praticamente em todas as categorias de estradas, desde as estradas locais, onde as camadas granulares desempenham um papel importante no comportamento dos pavimentos, até à rede de Itinerários Principais e Complementares e a rede de Auto-Estradas, onde os agregados são aplicados em camadas de base e de sub-base.

4.1.1.1.1- Análise granulométrica

Por granulometria ou composição granulométrica entende-se a distribuição percentual das diversas dimensões que constituem um solo ou agregado. Determina-se por peneiração para partículas grossas e, por sedimentação para partículas de diâmetro inferior a 74 microns (peneiro nº200 da série ASTM).

Ao engenheiro civil interessam principalmente as classificações que se correlacionam com a resistência dos solos, como quem diz, aquelas que permitem dar resposta em termos de tensões e deformações. Outros parâmetros tais como a permeabilidade, estabilidade na presença da água, evolutividade face à presença de matéria orgânica ajudam a prever comportamentos que, mais cedo ou mais tarde, influenciarão nas tensões e deformações instaladas. A análise granulométrica vai conjuntamente com outros parâmetros ligados à plasticidade do solo permitir a sua classificação (Classificação Rodoviária ou Classificação Unificada). Estas classificações que vão permitir uma primeira aproximação ao comportamento do solo sob a acção de cargas permanentes ou rolantes, na presença ou ausência de água, são em si, um primeiro elemento para verificar a capacidade de utilização dos solos e agregados em aterros ou camadas de fundação dos pavimentos.

4.1.1.1.2- Índices de lamelação e alongamento

Um aspecto muito importante quando se avalia a aptidão de um inerte para diversas técnicas rodoviárias é a sua forma. Efectivamente, uma forma poliédrica próxima da cúbica é a que conduz a resultados mais satisfatórios do ponto de vista de estabilidade construtiva; ao invés, a existência de elementos alongados e/ou lamelares é sempre indesejável. A presença mais ou menos abundante destas partículas em determinado inerte pode ser quantificada através de índices de lamelação e de alongamento, os quais nunca deveriam apontar para uma incorporação de elementos lamelares ou alongados superior a 35%. Porque partículas com essas características tendem a fraccionar durante o processo de compactação ou em épocas posteriores por meteorização dos agregados face aos elementos climáticos.

Nestas características o material adensaria por fraccionamento das partículas o que tenderia a provocar, muitas vezes apenas durante a vida da obra, assentamentos de consequências gravosas para as camadas sobrepostas que são mais rígidas.

4.1.1.2- Ensaio Marshall

O ensaio Marshall destina-se a fornecer indicações sobre o comportamento (resistência mecânica e deformabilidade) de uma mistura betuminosa sob acção de cargas. É utilizado no estudo de argamassas e betões betuminosos fabricados a quente com betume asfáltico e com agregado de dimensão inferiores a 25,4 mm.

4.2- Trabalho de investigação

A finalidade deste trabalho é analisar o estado de tensão/deformação de um pavimento flexível.

Uma hipótese simplificada para consideração do comportamento não linear é a adopção de um sistema multicamada em que se dividem as camadas granulares e betuminosas em várias subcamadas considerando para todas elas um comportamento elástico linear. Este procedimento simplificado é o utilizado no dimensionamento de pavimentos, recorrendo ao método de elementos finitos, é possível obter em cada subcamada características de deformação correspondentes ao estado de tensão instalado nessa subcamada.

5- TRABALHO DE LABORATÓRIO

Nesta fase foi em primeiro lugar, feita a recolha bibliográfica das normas referentes aos ensaios de materiais de pavimentação. Seguidamente foram estudadas essas normas e elaborados diversos ensaios a materiais constituintes dos pavimentos (nomeadamente, solos, agregados e misturas betuminosas).

Os ensaios realizados respeitam as instruções das normas que se encontram em anexo.

5. 1- Analise granulométrica

5.1.1- Material

- Quantidade de material usado: 3060,4g
- Série de peneiros: 19,0; 12,5; 9,5; 6,3; 4,75; 2,36; 1,18; 0,6; 0,3; 0,150; 0,075.
- Balança
- Estufa a temperatura de 110°C
- Tabuleiro para pesagem

5.1.2 – Procedimentos

Para determinação da análise granulométrica foi utilizada a especificação E 196-1966. Foi feita apenas a análise granulométrica por peneiração, porque esta especificação não se destina aos agregados recuperados de misturas betuminosas nem ao filer. A peneiração foi feita manualmente, a brita usada para o ensaio foi a 8/15, tendo como dimensão máxima do inerte 19mm.

5.1.3- Resultados

Encontram-se nas páginas 5 e 6.

5.2- Índices de lamelação e alongamento

5.2.1- Material

- Balança
- Tabuleiro para pesagem
- Medidor de espessura
- Medidor de comprimentos

5.2.2- Procedimento

Para o índice de lamelação e de alongamento foi usada a norma British Standard (BS812).

Usou-se a mesma brita da análise granulométrica.

De acordo com esta especificação o agregado ensaiado é considerado lamelar quando apresenta uma espessura (menor dimensão) inferior a 0,6 vezes o diâmetro nominal de partículas.

Igualmente é considerado alongado quando o agregado apresenta um comprimento (maior dimensão) superior a 1,8 vezes o diâmetro nominal.

5.2.3- Resultados

Encontram-se nas páginas 7, 8, 9 e 10.

Análise granulométrica de inertes
Norma seguida NP-1379 (1976)

OBRA

Referência da amostra: Bouta 8/15

Ensaio nº: 1

Data do ensaio: 12/02/03

Máxima dimensão do inerte (mm)	19
--------------------------------	----

Massa do provete - correspondente à máxima dimensão do inerte (kg)	3,0
--	-----

m ₁ - Peso do provete (g)	3023,0
--------------------------------------	--------

Peneiros (mm)	m ₂ Massa retida (g)	N _x Percentagem retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)	Percentagem passada acumulada (%)
50,00	0	0	0	100
37,50	0	0	0	100
25,00	0	0	0	100
19,00	0	0	0	100
12,50	1377,7	45,57	45,57	54,43
9,50	1198,2	39,64	85,21	14,79
6,30	407,9	13,49	98,70	1,30
4,75	16,4	0,54	99,24	0,76
2,36	6,3	0,21	99,45	0,55
1,18	2,5	0,08	99,53	0,47
0,600	1,6	0,05	99,58	0,42
0,300	1,7	0,06	99,64	0,36
0,150	1,9	0,06	99,70	0,30
0,075	2,4	0,08	99,78	0,22
Resto	5,1	0,17	99,95	0,05

Observações

Ensalado por: Claudia de Jesus

Análise granulométrica de inertes
Norma seguida NP-1379 (1976)

OBRA

Referência da amostra: Brita 8/15

Ensaio nº: 2

Data do ensaio: 18/02/03

Máxima dimensão do inerte (mm)	19
--------------------------------	----

Massa do provete - correspondente à máxima dimensão do inerte (kg)	3,0
--	-----

m ₁ - Peso do provete (g)	3060,4
--------------------------------------	--------

Peneiros (mm)	m ₂ Massa retida (g)	N _x Percentagem retida (%)	Percentagem retida acumulada (%)	Percentagem passada acumulada (%)
50,00	0	0	0	100
37,50	0	0	0	100
25,00	0	0	0	100
19,00	0	0	0	100
12,50	1366,3	44,64	44,64	55,36
9,50	1150,6	37,6	82,24	17,76
6,30	491,0	16,04	98,28	1,72
4,75	25,1	0,82	99,1	0,9
2,36	7,2	0,24	99,34	0,66
1,18	0,9	0,029	99,37	0,631
0,600	1,1	0,036	99,405	0,595
0,300	1,0	0,033	99,438	0,562
0,150	1,3	0,042	99,48	0,52
0,075	2,0	0,065	99,545	0,455
Resto	4,0	0,13	99,675	0,325

Observações

Ensalado por: Colúndia de Jesus

Determinação do índice de lamelação
Norma da JAE

OBRA

Referência da amostra: Brita 8/15

Ensaio nº: 1

Data do ensaio: 6/03/03

Massa mínima para ensaio (g)	3500
------------------------------	------

Massa inicial da amostra (g)	4838,4
------------------------------	--------

Peneiros (mm)	m _x - massa retida (g)	N _x Percentagem retida (%)	m _e - massa ensaiada (g)	m _p - massa que passa no calibre (g)	Correcção de massas passadas no calibre (m _p *m _x)/m _e
50,0	0	0	—	—	—
37,5	0	0	—	—	—
25,0	0	0	—	—	—
19,0	0	0	—	—	—
12,5	2336,0	48,3	2018,5	403,0	466,4
9,5	1646,8	34,0	1002,6	108,8	178,7
6,3	778,3	16,1	503,5	271,4	42,4

m ₃ - Massa considerada no ensaio (g)	4761,1
Índice de lamelação =(massas passadas no calibre/m _x)*100	14

Observações

Ensaio por: Eláudia de Jesus

Determinação do índice de alongamento
Norma da JAE

OBRA

Referência da amostra: Banta 8/15

Ensaio nº: 1

Data do ensaio: 6/03/03

Massa mínima para ensaio (g)	3500
------------------------------	------

Massa inicial da amostra (g)	4838,8
------------------------------	--------

Peneiros (mm)	m _x - massa retida (g)	N _x Percentagem retida (%)	m _e - massa ensaiada (g)	m _p - massa retida no calibre (g)	Correcção de massas retidas no calibre (m _p *m _x)/m _e
50,0	0	0	—	—	—
37,5	0	0	—	—	—
25,0	0	0	—	—	—
19,0	0	0	—	—	—
12,5	2336,0	48,3	2018,5	247,0	285,9
9,5	1646,8	34,0	1002,6	341,4	560,8
6,3	778,3	16,1	503,5	342,6	529,6

m ₃ - Massa considerada no ensaio (g)	4761,1
Índice de alongamento =(massas retidas no calibre/m _x)*100	29

Observações

Ensaiado por: Gláucia de Jesus

Determinação do índice de lamelação
Norma da JAE

OBRA

Referência da amostra: Bruta 8/15

Ensaio nº: 2

Data do ensaio: 13/03/03

Massa mínima para ensaio (g)	3500
------------------------------	------

Massa inicial da amostra (g)	5105,9
------------------------------	--------

Peneiros (mm)	m _x - massa retida (g)	N _x Percentagem retida (%)	m _e - massa ensaiada (g)	m _p - massa que passa no calibre (g)	Correcção de massas passadas no calibre (m _p *m _x)/m _e
50,0	0	0	—	—	—
37,5	0	0	—	—	—
25,0	0	0	—	—	—
19,0	22,7	0,44	—	—	—
12,5	2193,6	42,96	2017,1	504,0	551,36
9,5	2043,3	40,02	1042,8	120,4	235,92
6,3	795,0	15,57	510,7	59,7	92,93

m ₃ - Massa considerada no ensaio (g)	5031,9
Índice de lamelação =(massas passadas no calibre/m _x)*100	17

Observações

Ensaiado por: Gláucia de Jesus

Determinação do índice de alongamento
Norma da JAE

OBRA

Referência da amostra: Brita 8/15

Ensaio nº: 2

Data do ensaio: 13/03/03

Massa mínima para ensaio (g)	3500
------------------------------	------

Massa inicial da amostra (g)	5105,9
------------------------------	--------

Peneiros (mm)	m _x - massa retida (g)	N _x Percentagem retida (%)	m _e - massa ensaiada (g)	m _p - massa retida no calibre (g)	Correcção de massas retidas no calibre (m _p *m _x)/m _e
50,0	0	0	—	—	—
37,5	0	0	—	—	—
25,0	0	0	—	—	—
19,0	22,7	0,44	—	—	—
12,5	2193,6	42,96	2017,1	196,8	214,02
9,5	2043,3	40,02	1042,8	418,1	819,24
6,3	795,0	15,57	510,7	341,8	532,08

m ₃ - Massa considerada no ensaio (g)	5031,9
Índice de alongamento =(massas retidas no calibre/m _x)*100	31

Observações

Ensaiado por: Zolanda de Jesus

5.2.4- Analise dos Resultados

Os resultados encontrados (pag. 7 a 10) para os índices de lamelação e alongamento são aceitáveis, visto que estão dentro do limite aceitável, isto é, são inferiores a 35%.

5.3- Ensaio Marshall

5.3.1- Objectivos

O ensaio Marshall visa obter a melhor percentagem de betume asfáltica a usar na formulação de uma mistura betuminosa. Pode ainda ser utilizada para verificação, durante a produção de uma mistura em central se a composição da mistura betuminosa se encontra dentro dos limites de tolerância indicados no projecto, e, caso contrario quais os ajustamentos a executar de forma a melhorar as características das massas betuminosas. Chama-se percentagem de betume à razão entre o peso deste ligante e o peso total da mistura. Teor em betume seria a relação entre o peso do ligante e o peso dos inertes a utilizar.

Com estes objectivos, preparam-se os provetes com diferentes percentagens de betume, usando, para cada uma, pelo menos três provetes, dos quais se determinam as seguintes características:

- Densidade aparente (Baridade) dos provetes
- Força de rotura
- Deformação
- Porosidade dos provetes
- Grau de saturação

5.3.2- Força de rotura

5.3.2.1- Material

- Molde de aço
- Martelo de compactação
- Estabililómetro Marshall
- Banho-maria

- Estufa
- Balança
- Termómetro
- Luvras de amianto
- Espátulas
- Papel de filtro

5.3.2.2- *Procedimentos*

Foi usada a norma NP-142 (1968)

5.3.2.2.1- *Moldagem do Provete*

Referencia da amostra: Desgaste

Massa total: 4050g

Referencia do betume: 50/70

Compactação: Mecânica

Conhecidas as percentagens ponderais em que serão misturados os agregados, calcula-se a quantidade de cada um deles para moldar um provete com uma altura de $63,5 \pm 1,5$ mm.

Foram usadas as seguintes composições:

- 31,525% de brita 8/15 → 1276,76g	- 31,14% de brita 8/15 → 1271,7g
- 17,425% de brita 5/8 → 705,713g	- 17,3% de brita 5/8 → 700,65g
- 40,725% de brita 0/5 → 1649,36g	- 40,6% de brita 0/5 → 1644,3g
- 6,325% de filler → 256,16g	- 6,2% de filler → 251,1g
- 4,0% de betume → 162,0g	- 4,5% de betume → 182,25g

- 31,325% de brita 8/15 → 1268,66g
- 17,225% de brita 5/8 → 697,613g
- 40,525% de brita 0/5 → 1641,26g
- 6,125% de filler → 248,063g
- 4,8% de betume → 194,4g

- 31,275% de brita 8/15 → 1266,64g
- 17,175% de brita 5/8 → 695,588g
- 40,475% de brita 0/5 → 1639,24g
- 6,075% de filler → 246,038g
- 5,0% de betume → 202,5g

- 31,2% de brita 8/15 → 1263,6g
- 17,1% de brita 5/8 → 692,55g
- 40,4% de brita 0/5 → 1636,2g
- 6,0% de filler → 243,0g
- 5,3% de betume → 214,65g

- 31,15% de brita 8/15 → 1261,6g
- 17,05% de brita 5/8 → 690,525g
- 40,35% de brita 0/5 → 1634,18g
- 5,95% de filler → 240,975g
- 5,5% de betume → 222,75g

A mistura foi feita manualmente, visto que o misturador não se encontrava operacional.

5.3.2.2.2- Aplicação da carga

A força de rotura do provete é dada pelo valor da força máxima, expressa em quilogramas-força, por ele suportada durante o ensaio.

A deformação do provete é dada pelo encurtamento sofrido pelo diâmetro paralelo à direcção da actuação das forças e avalia-se pela diferença, expressa em milímetros, entre as leituras feitas no deflectómetro.

Em alguns provetes não foi possível fazer a leitura da força de rotura, porque se deformaram bruscamente. Por isso foram usados apenas dois provetes para cada percentagem de betume.

5.3.3- Densidade aparente

5.3.3.1- Material

- Balança
- Cesto de rede
- Recipiente para imersão do provete em água

5.3.3.2- Procedimento

Usou-se a norma E 267-1973.

A técnica de ensaio foi para misturas fechadas

Os resultados do ensaio Marshall encontram-se nas páginas a seguir.

Determinação da densidade aparente

Especificação seguida E-267 ()

OBRA

Referência da amostra: Desgoste

Ensaio nº: 1

Data do ensaio: 25/03/03

Misturas fechadas

Provetes	1	2	3	4
% em betume	4,0	4,0		
m ₁ -Massa do provete (g)	1219,7	1220,11		
m ₂ -Massa do provete imerso em água (g)	689,42	694,2		
Densidade aparente do provete	2,31	2,32		

Densidade aparente (valor médio)	2,32
----------------------------------	------

Provetes	1	2	3	4
% em betume	4,5	4,5		
m ₁ -Massa do provete (g)	1218,12	1219,81		
m ₂ -Massa do provete imerso em água (g)	688,5	702,94		
Densidade aparente do provete	2,30	2,36		

Densidade aparente (valor médio)	2,33
----------------------------------	------

Provetes	1	2	3	4
% em betume	4,8	4,8		
m ₁ -Massa do provete (g)	1219,52	1217,15		
m ₂ -Massa do provete imerso em água (g)	696,12	697,0		
Densidade aparente do provete	2,33	2,34		

Densidade aparente (valor médio)	2,34
----------------------------------	------

Observações:

Ensalado por: Colândrea de Jesus

Determinação da densidade aparente

Especificação seguida E-267 ()

OBRA

Referência da amostra:

Ensaio nº: 2

Data do ensaio: 27/03/03

Misturas fechadas

Provetes	1	2	3	4
% em betume	5,0	5,0		
m ₁ -Massa do provete (g)	1217,18	1216,92		
m ₂ -Massa do provete imerso em água (g)	701,43	699,08		
Densidade aparente do provete	2,36	2,35		

Densidade aparente (valor médio)	2,36
----------------------------------	------

Provetes	1	2	3	4
% em betume	5,3	5,3		
m ₁ -Massa do provete (g)	1210,52	1215,7		
m ₂ -Massa do provete imerso em água (g)	701,9	700,57		
Densidade aparente do provete	2,38	2,36		

Densidade aparente (valor médio)	2,37
----------------------------------	------

Provetes	1	2	3	4
% em betume	5,5	5,5		
m ₁ -Massa do provete (g)	1209,8	1211,7		
m ₂ -Massa do provete imerso em água (g)	699,34	688,88		
Densidade aparente do provete	2,37	2,34		

Densidade aparente (valor médio)	2,35
----------------------------------	------

Observações:

Ensalado por: Gláudio de Jesus

Ensaio de compressão Marshall
Norma seguida NP-142 ()

OBRA

Referência da amostra: Desgaste

Referência do betume: 50/70

Ensaio nº: 1

Data do ensaio: 9/04/03

% em betume	Provete nº	Altura do provete(mm)	Massa do provete (g)	Força de rotura (KN)	Força de rotura média (KN)	Deformação (mm)	Deformação média (mm)
4,0	1	67	1220,11	18,20	19,13	5,8	5,3
4,0	2	67	1215,7	20,06		4,8	
	1						
4,5	1	67	1219,81	18,93	19,57	5,7	5,4
4,5	2	66	1218,12	20,21		5,1	
4,8	1	65	1217,15	20,87	20,01	5,7	5,7
4,8	2	66	1219,52	19,15		5,9	

Observações:

Ensalado por: Gláucia de Jesus

Ensaio de compressão Marshall
Norma seguida NP-142 ()

OBRA

Referência da amostra: Desgaste

Referência do betume: Sc/70

Ensaio nº: 2

Data do ensaio: 16/04/03

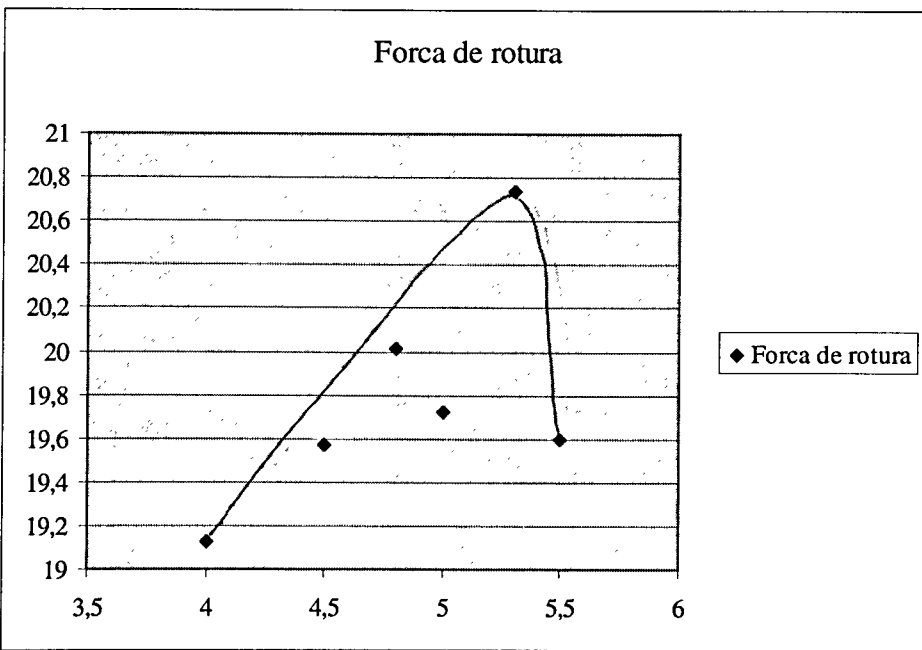
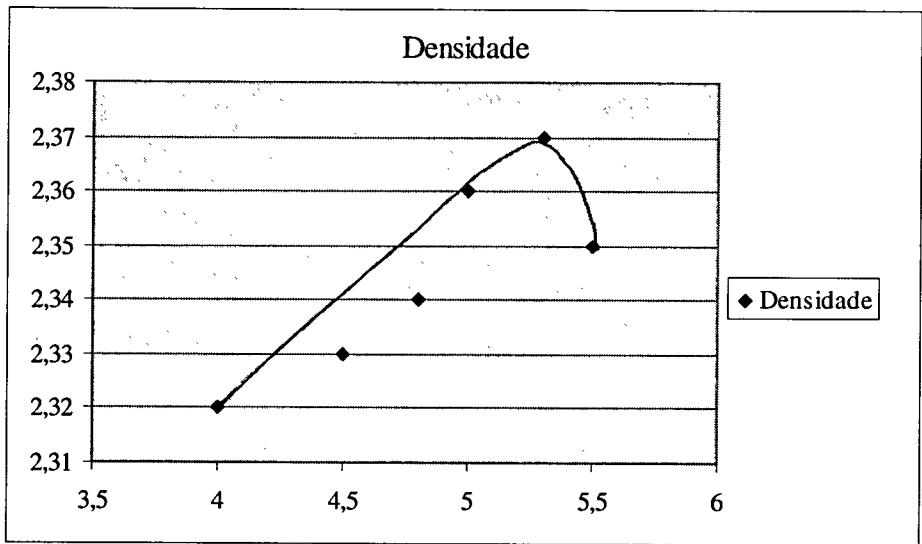
% em betume	Provete nº	Altura do provete(mm)	Massa do provete (g)	Força de rotura (KN)	Força de rotura média (KN)	Deformação (mm)	Deformação média (mm)
5,0	1	65	1216,92	20,53	19,72	5,2	5,5
5,0	2	65	1217,18	18,91		5,8	
5,3	1	66	1215,70	19,47	20,74	6,1	5,9
5,3	2	64	1210,52	22,01		5,7	
5,5	1	63	1211,70	18,03	19,60	6,8	6,2
5,5	2	64	1209,80	21,17		5,6	

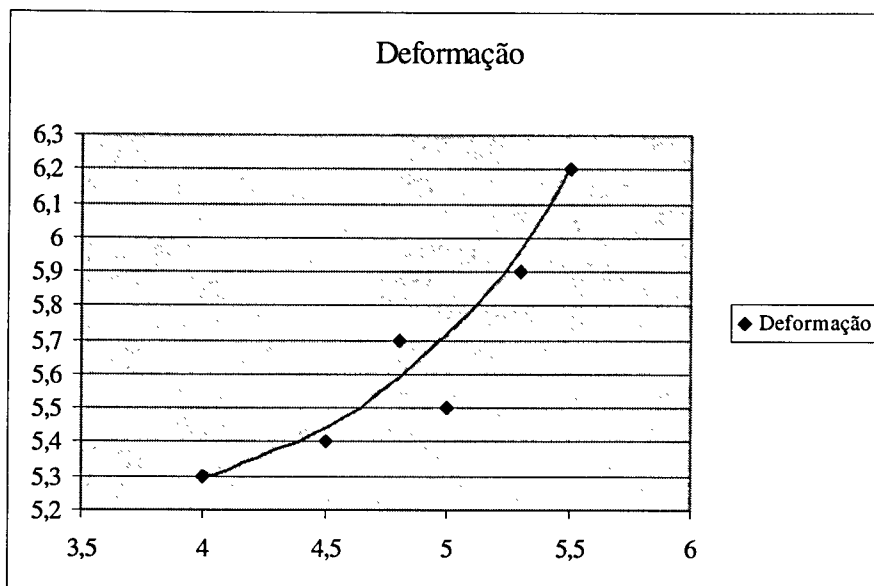
Observações:

Ensaado por: Teresa de Jesus

5.3.4- *Curvas características da mistura*

Traçam-se as curvas características da mistura, em número de cinco, que exprimem, em função da percentagem de betume (marcada em abcissas) as variações das características mencionadas em 5.3.





5.3.5- Cálculo da percentagem óptima de betume

A partir das curvas características, determinam-se a percentagem de betume para cada um dos cinco valores indicados no quadro seguinte, procurando que cada um deles se aproxima o mais possível dos valores de referência.

Características	Valores a considerar na escolha da percentagem óptima de betume			
	Betões betuminosos			Argamassas betuminosas
	estradas	Aeródromos		
		Pressão nos pneus (kgf/cm²)		
		7,0	14,0	
(1) Força de rotura (kgf)	max	max	max	max
(2) Densidade dos provetes	max	max	max	max
(3) Grau de saturação em betume (%)	75 - 80	80	75	70
(4) Porosidade (%)	4	4	4	6
(5) Deformação (mm)	min	min	min	min

Na determinação da percentagem ideal em betume devem procurar-se as curvas características relativas à densidade e à carga de rotura, uma vez que estas apresentam vértice de curva convexa, apresentando assim inequivocamente um máximo para cada um destes parâmetros. Obtida a média das percentagens em betume que conduzem aos referidos máximos destas duas características importa verificar se esse valor (abcissa) leva a valores da deformação, porosidade e grau de saturação em betume que cumprem o percentuado no caderno de encargos. Nas três curvas características restantes teremos que se ler a ordenada que corresponde à percentagem óptima inicialmente obtida.

5.3.6- Analise dos resultados

O ensaio da densidade dos provetes revelou que esta apresenta valores aceitáveis (cerca de 2,35).

Como o material não era de grande qualidade, também não obtivemos bons valores de deformação e de força de rotura, salienta-se ainda que, para o provete com 5,5% de betume o valor da força de rotura baixou consideravelmente.

As percentagens em betume para os valores máximos das duas características são:

- Força de Rotura → 5,3%

- Densidade aparente → 5,5%

Obtendo então a média do teor de betume igual a:

$$(5,3+5,5) / 2 = 5,4\%$$

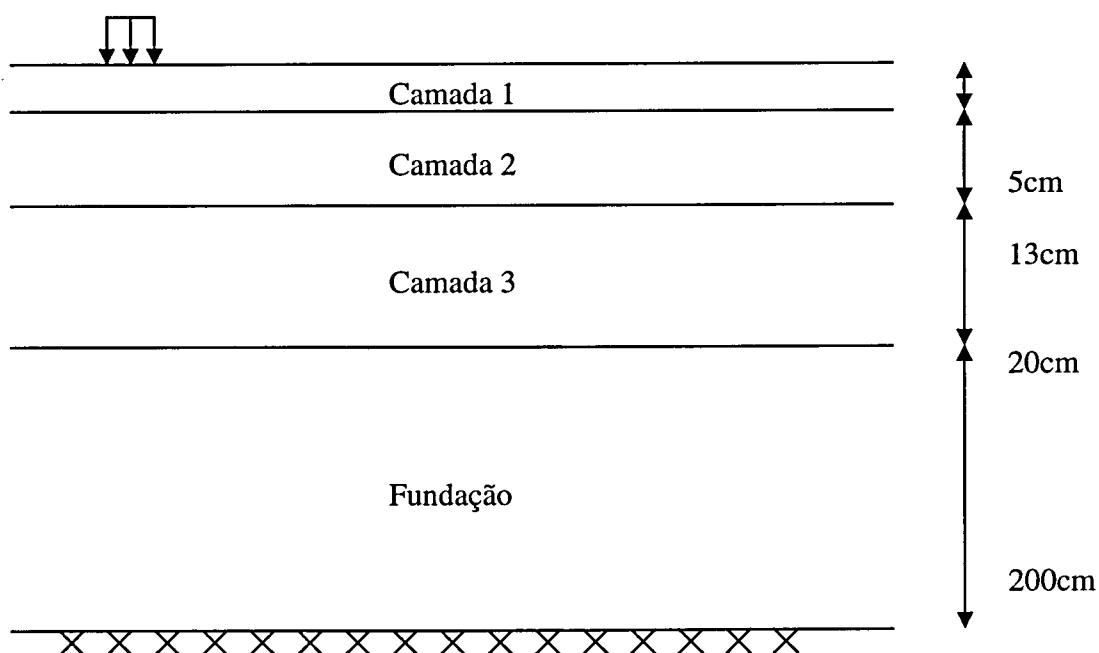
Verifica-se então que o valor de deformação encontrado ($\approx 6\text{mm}$) para esta percentagem está acima do mínimo (5,3mm), teríamos neste caso que diminuir a percentagem de betume o que implica diminuir a força de rotura e a densidade.

Para um estudo completo do ensaio Marshall, era necessário determinar a porosidade dos provetes e o grau de saturação em betume que, por falta de material de laboratório não puderam ser realizados.

6- TRABALHO DE INVESTIGAÇÃO

A análise do estado de tensões de um pavimento sob acção do tráfego é bastante complexo, deve-se analisar as tensões verticais, horizontais e de corte sendo fundamental uma simulação correcta em utilizando um programa de cálculo automático “ROBOT”. O programa ROBOT considera que o comportamento estrutural do pavimento pode ser assimilado a um sistema multi-camada. Para os materiais constituintes das várias camadas admitiu-se um comportamento linear sendo ainda possível calcular as tensões, extensões e deslocamentos induzidos por cargas uniformes.

6.1- Características do pavimento:



Camada1: $E = 5000\text{MPa}$; $\nu = 0,35$; $\rho = 2,4 \text{ g/cm}^3 \rightarrow \text{Betuminosa}$

Camada2: $E = 4500\text{MPa}$; $\nu = 0,35$; $\rho = 2,0 \text{ g/cm}^3 \rightarrow \text{Betuminosa}$

Camada3: $E = 120\text{MPa}$; $\nu = 0,35$; $\rho = 2,0 \text{ g/cm}^3 \rightarrow \text{Granular}$

Fundação: $E = 60\text{MPa}$; $\nu = 0,45$; $\rho = 2,0 \text{ g/cm}^3$

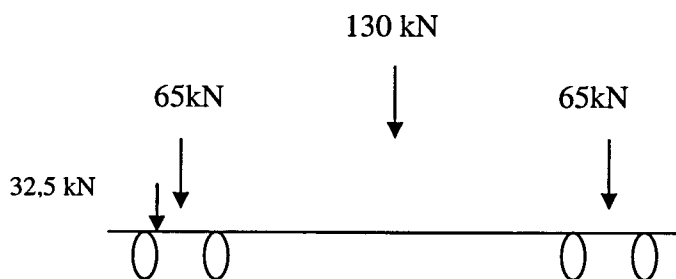
6.2- Modelos considerando:

- 1) Modelo axissimétrico
- 2) Modelo 3D

6.2.1-Acções:

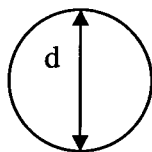
Pressão de enchimento dos pneus

- Eixo padrão N130 $\rightarrow p = F/A = 662 \text{ KPa}$
- Força aplicada por cada pneu $\rightarrow F = 32,5 \text{ kN}$



- Área descarregada: $A = \pi r^2$ ($r=12,5\text{cm}$)

$$r = d/2$$



Para investigação foi usado o programa de elementos finitos Robot Millennium v.15.0. Para o modelo axissimétrico foi utilizou-se “axisymmetric structure design” (projecto de estrutura axissimétrica) e para o modelo 3D utilizou-se “volumetric structure design” (projecto de estrutura volumétrica).

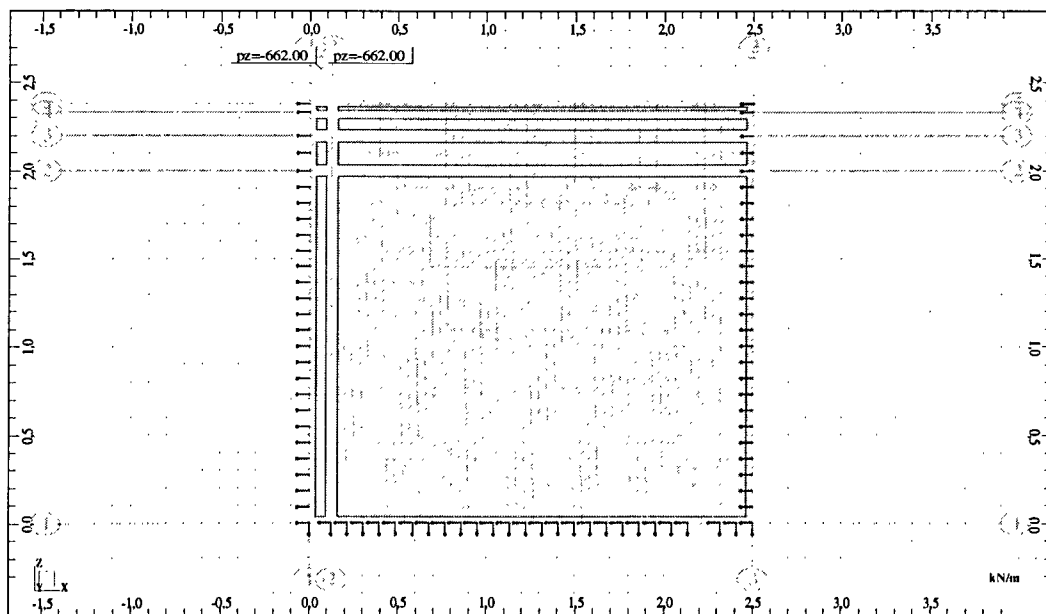
6.2.2- Criação da estrutura

A criação da estrutura teve a seguinte sequência lógica:

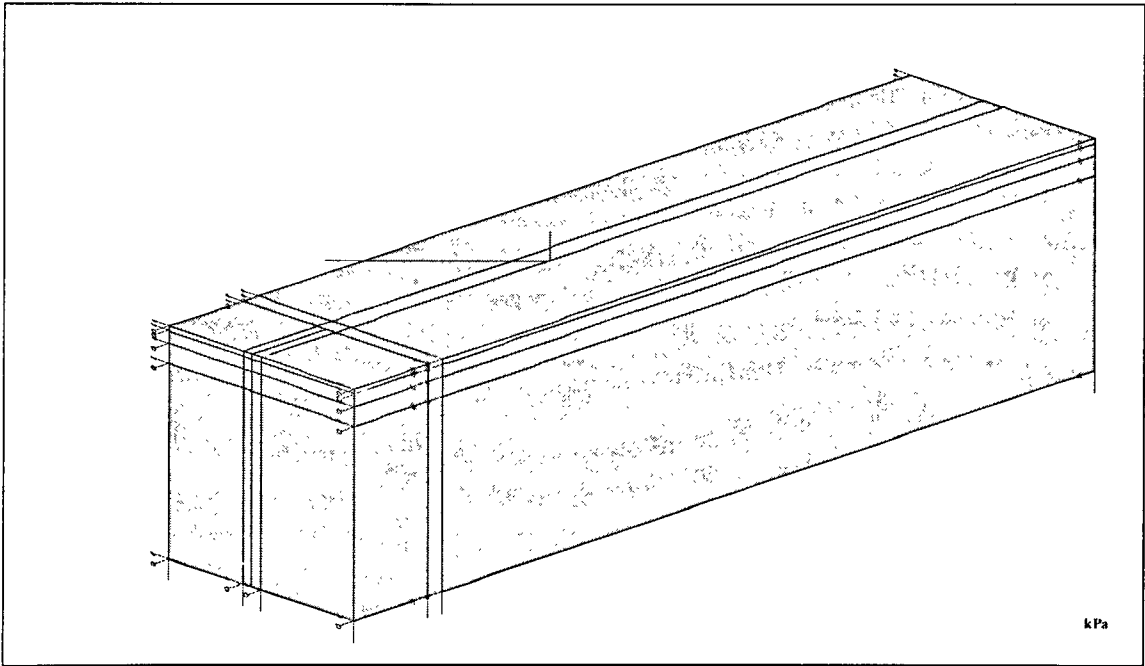
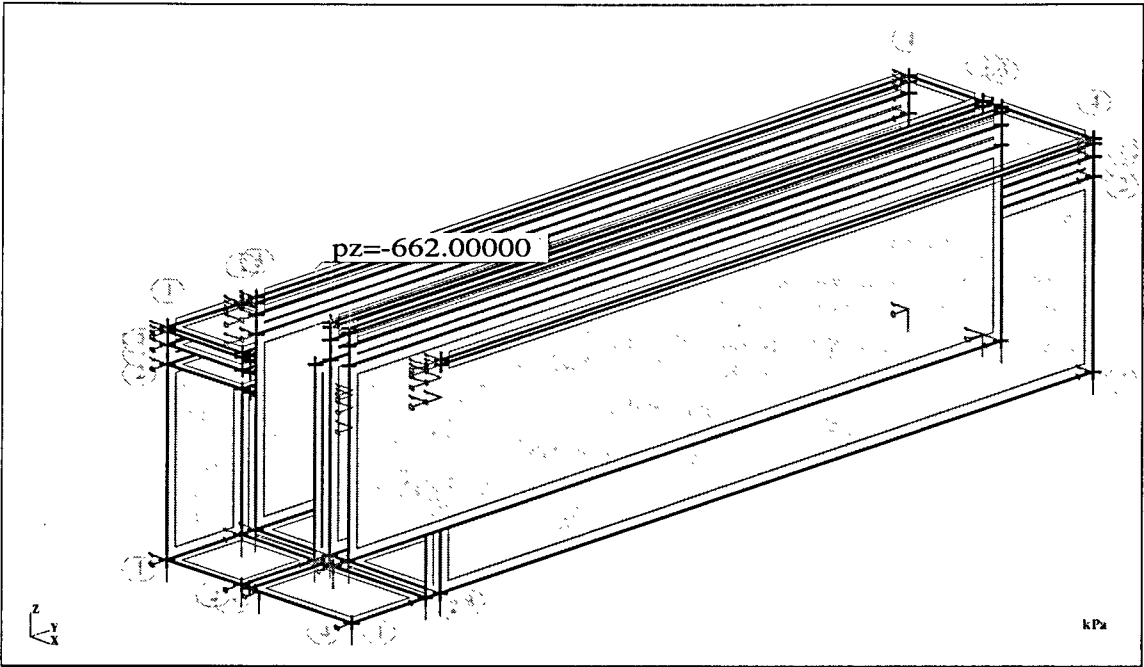
- 1) Definição de eixos
- 2) Definição de pontos
- 3) Definição de linhas
- 4) Criação de painéis (faces)
- 5) Definição das propriedades dos sólidos (E, ν, ρ)
- 6) Criação de sólidos
- 7) Geração da malha (elementos finitos)
- 8) Colocação de Apoios
- 9) Definição da carga ($p=662$ KPa)
- 10) Aplicação da carga
- 11) Cálculo

6.3- Estrutura final:

6.3.1- Modelo axissimétrico



6.3.2- Modelo 3D



6.4- Resultados e sua análise

Os resultados para o estudo axissimétrico encontram-se em anexo.

Após cálculo efectuou-se a seguinte análise dos resultados:

-Mapa de deslocamentos dzz

Esta conforme o previsto, uma vez que, diminui com a profundidade e com a distância do ponto de aplicação da carga.

Com a diminuição do estado de tensão nas camadas inferiores verifica-se uma diminuição das características de deformabilidade nas camadas.

- Tensão vertical no topo da fundação

Vai diminuindo em função de X, e com a distância ao ponto da aplicação da carga.

Refere-se que as tensões verificadas no pavimento, devido à passagem de tráfego variam não só em profundidade mas também horizontalmente e que a degradação das tensões depende das características mecânicas dos materiais do pavimento.

7- CONCLUSÃO

O trabalho de estágio foi bastante proveitoso, pois através dele pude conhecer e elaborar ensaios feitos a matérias constituintes dos pavimentos rodoviários. Foi ainda possível tomar contacto e conhecer o funcionamento dos equipamentos mesmo não estando operacionais, daqueles ensaios que não foi possível efectuar.

No trabalho de investigação, tive a oportunidade de conhecer um programa de cálculo, bastante utilizado na engenharia civil, e através dele entender o comportamento dos pavimentos sobre a acção de cargas rolantes.

Em suma, os objectivos do estágio foram todos cumpridos.

Na parte do laboratório foram encontradas e organizadas todas normas que não existiam no laboratório, estudadas e realizadas aquelas que existia equipamentos para sua realização.

Sobre o trabalho de investigação foi feito o estudo sobre o ROBOT, criação e cálculo da estrutura de pavimento considerando a análise axissimetrica e tridimensional, apesar de que na parte tridimensional não ser possível apresentar resultados palpáveis, pelo facto deste estudo ainda se encontrar em estudo.

8- BIBLIOGRAFIA

1- Documentação normativa

- Norma E 196-1966
- Norma British Standard (BS812).
- Norma NP-142 (1968)
- Norma E 267-1973

2- Disciplinas de Pavimentos I e II.

3- Pereira, Orlando Almeida - Pavimentos rodoviários volumes I, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1995

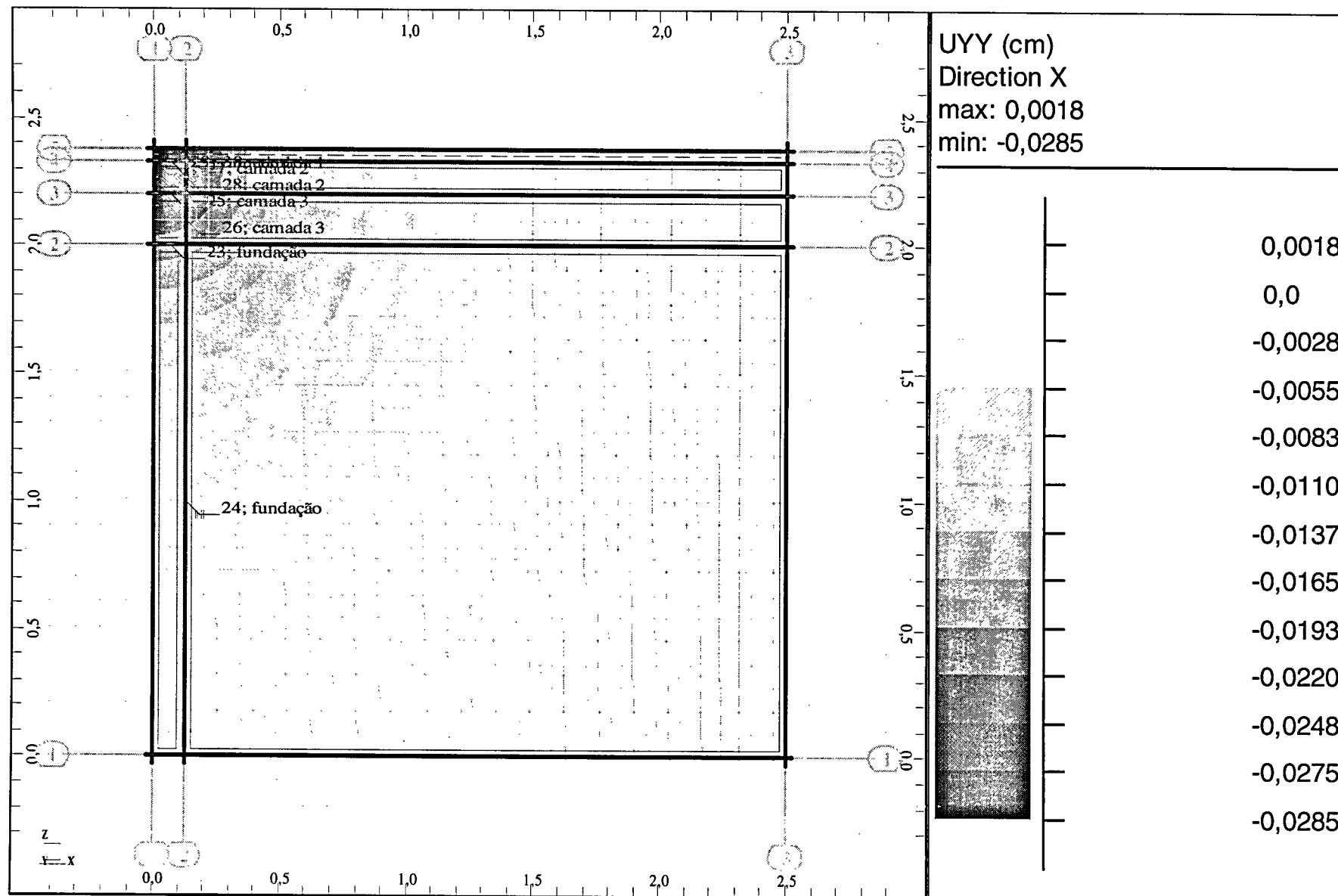
4- Pereira, Orlando Almeida - Pavimentos rodoviários volumes IV, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1995

5- Manual sobre o Programa de cálculo estrutural Robot Millennium v.15.0.

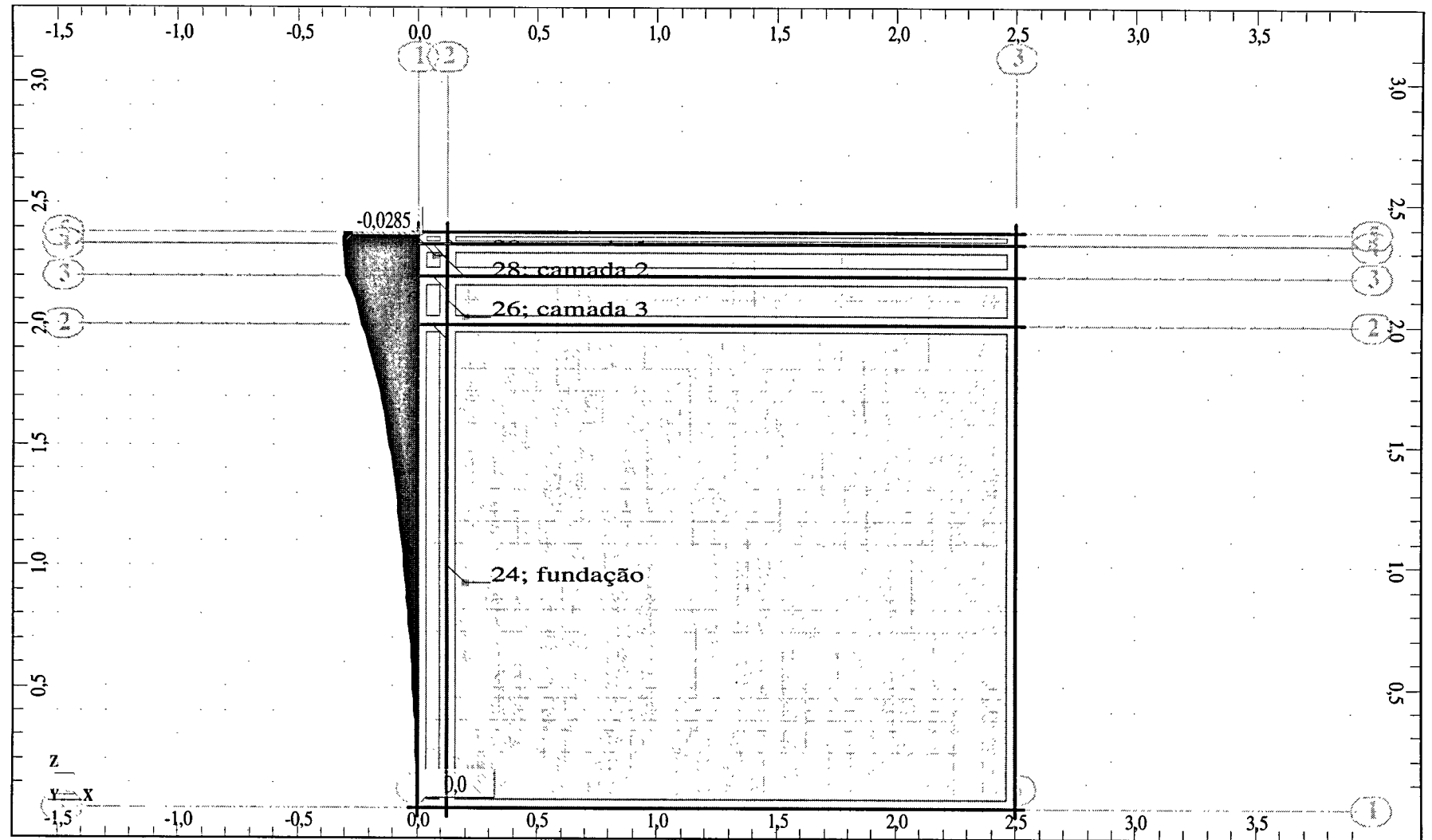
9-ANEXOS

RESULTADOS DO MODELO AXISSIMÉTRICO

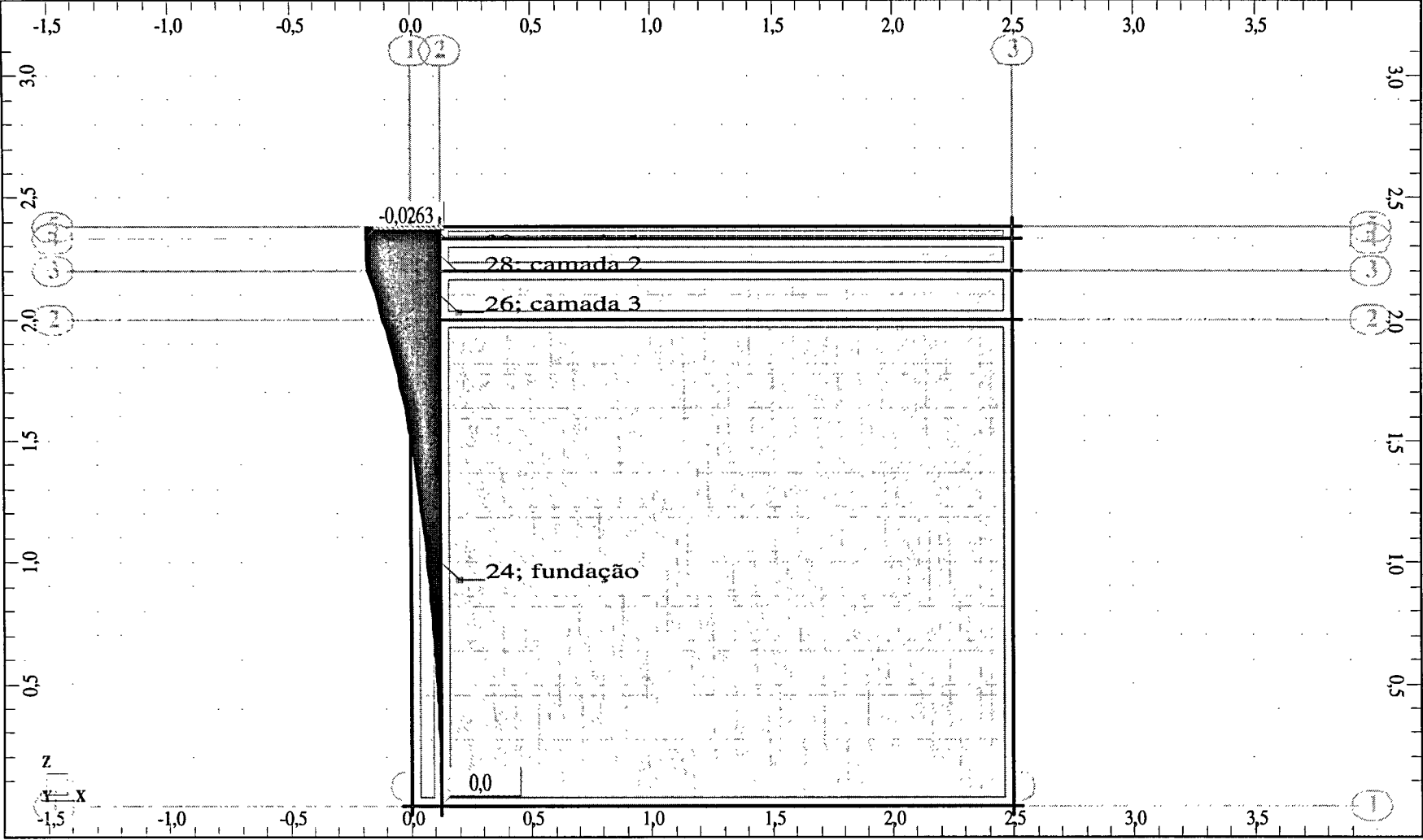
Mapa de deslocamento dz



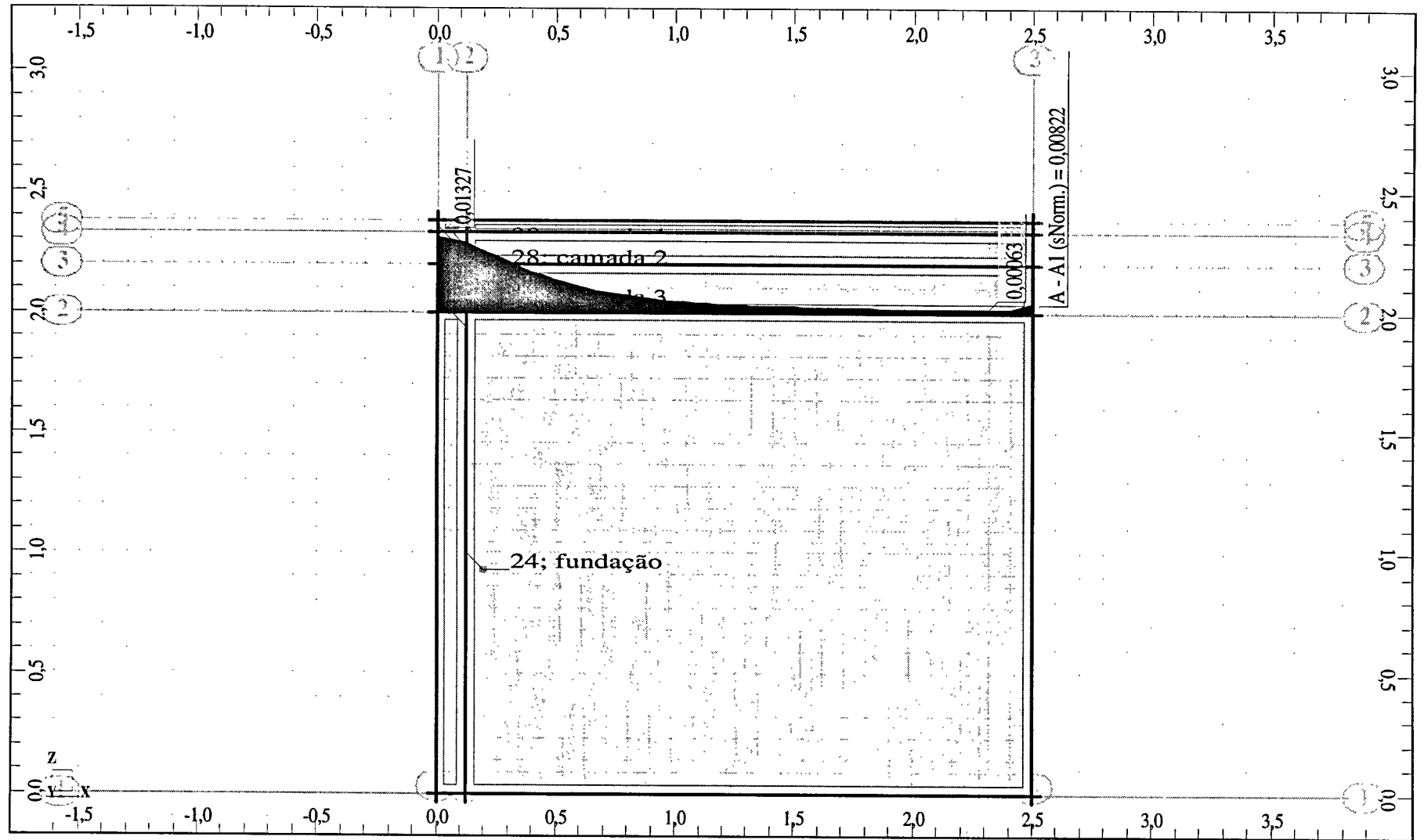
Deslocamentos dz no eixo 1



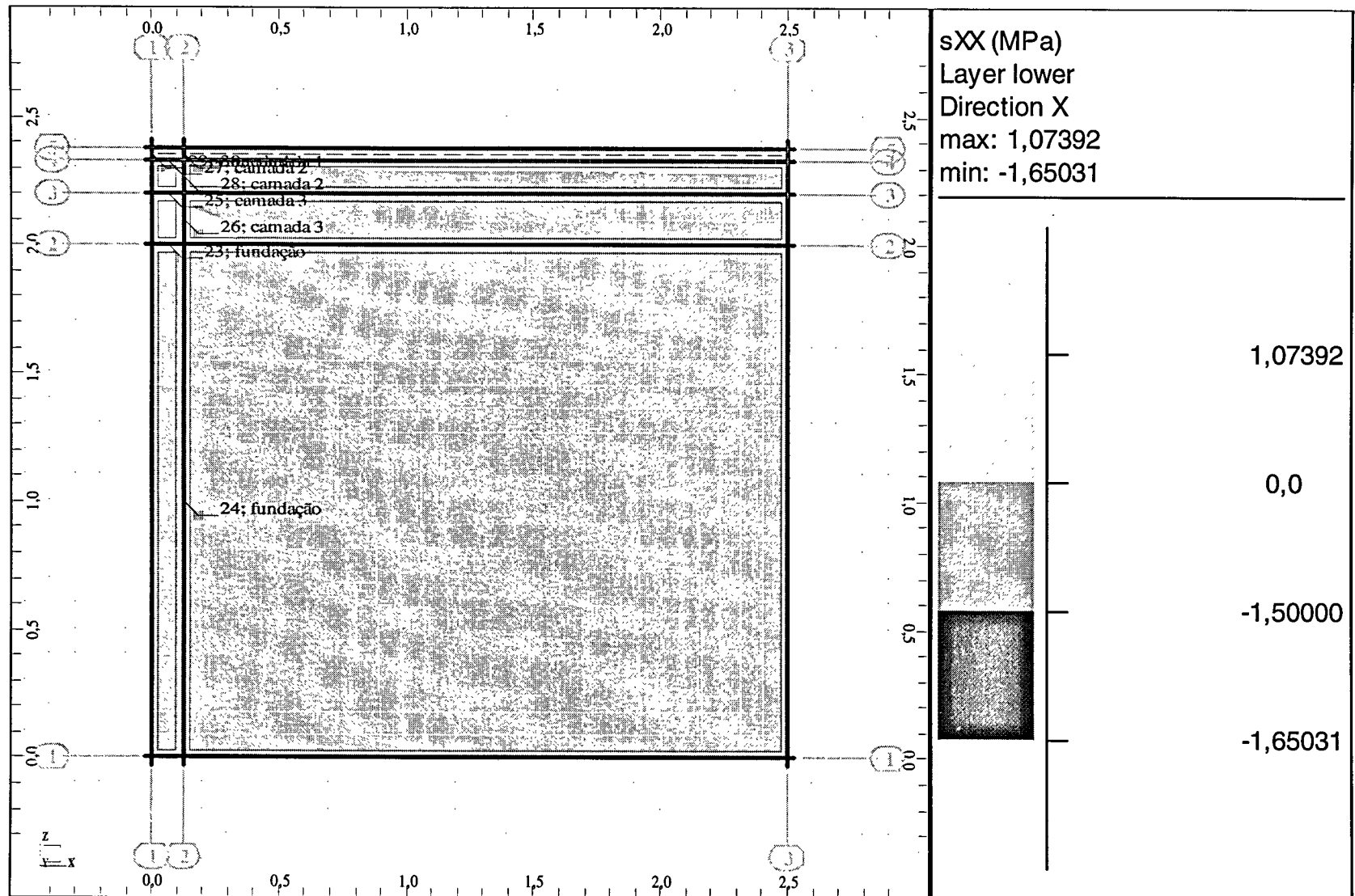
Deslocamento dz no eixo 2



Tensão Vertical no topo da Fundação



Mapa da tensão emXX



NORMAS

AGREGADOS

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

REDACÇÃO PROVISÓRIA	
CDU	625.8.07:620.168 (083.74)
DIRR	
agregado	23.62
ensalo	40.85
granulometria	40.49
norma	88.26

OUTUBRO 1970

GRANULATS

Analyse granulométrique

OBJET

La présente spécification vise à établir le procédé à suivre dans la détermination quantitative de la distribution, selon la grandeur, des particules des granulats fins et gros employés dans la construction routière.

Elle n'est pas valable pour les granulats récupérés de mélanges bitumineux ni pour le filler.

AGGREGATES

Sieve analysis

SCOPE

The present specification establishes the procedure to be followed in the determination of the particle size distribution of fine and coarse aggregates used in road construction.

It does not concern either aggregates recovered from bituminous mixtures or fillers.

1 — OBJECTO

A presente especificação destina-se a fixar o modo de determinar quantitativamente a distribuição por tamanhos das partículas de agregados finos e grossos, para construção rodoviária.

Não se destina aos agregados recuperados de misturas betuminosas nem ao filler.

2 — APARELHOS E UTENSÍLIOS

a) Série de peneiros ASTM de malha quadrada com as seguintes aberturas: 90,5 mm 76,1 mm, 64,0 mm, 50,8 mm, 38,1 mm, 25,4 mm, 19,0 mm, 12,7 mm, 9,51 mm, 4,76 mm (n.º 4), 2,00 mm (n.º 10), 0,841 mm (n.º 20), 0,420 mm (n.º 40), 0,177 mm (n.º 80) e 0,074 mm (n.º 200).

b) Balança para pesagens com limites de erro de ± 1 g.

c) Balança para pesagens com limites de erro de $\pm 0,01$ g.

d) Estufa de secagem, capaz de manter 105-110 °C.

e) Repartidores.

f) Tabuleiros para pesagem.

3 — PROVETES

Os provetes devem ser obtidos por redução da amostra⁽¹⁾, por esquartelamento ou por meio dum repartidor. Quando contiver agregado fino, a amostra deve ser humedecida antes da operação de redução.

As massas dos provetes devem satisfazer ao indicado em 3.1 e 3.2, mas têm que resultar directamente da operação de redução, não sendo permitido qualquer ajustamento posterior.

3.1 — Os provetes de agregado fino devem ter, depois de secos, aproximadamente as massas indicadas a seguir:

- Agregado com pelo menos 90 % de elementos passando no peneiro de 4,76 mm (n.º 4) e com mais que 5 % de elementos retidos no peneiro de 2,00 mm (n.º 10) ... 500 g
- Agregado com pelo menos 95 % de elementos passando no peneiro de 2,00 mm (n.º 10) ... 100 g

No caso de se utilizarem peneiros de 20 cm de diâmetro, o material retido num peneiro, depois de concluída a peneiração, não deverá ter massa supe-

(1) Ver a especificação LNEC E 232 «Agregados — Amostragem para pavimentação».

rior à indicada no quadro I; quando tal suceder, a operação deverá ser repetida efectuando a peneiração do provete por parcelas.

QUADRO I

Peneiro	Massa máxima retida g
2,00 mm (n.º 10)	100
0,841 mm (n.º 20)	75
0,420 mm (n.º 40)	60
0,177 mm (n.º 80)	40
0,074 mm (n.º 200)	25

3.2 — Os provetes de agregado grosso devem ter, depois de secos, as massas mínimas indicadas no quadro II.

QUADRO II

Máxima dimensão do agregado mm	Massa mínima do provete kg
90,5	35,0
76,1	30,0
64,0	25,0
50,8	20,0
38,1	15,0
25,4	10,0
19,0	5,0
12,7	2,5
9,51	1,0

Para provetes de massa superior a 5,0 kg, recomenda-se a utilização de peneiros de 40 cm de diâmetro ou de dimensão superior.

3.3 — No caso de agregados com finos e grossos, separa-se a amostra em duas partes por meio do peneiro de 4,76 mm (n.º 4) e, a partir de cada uma delas, preparam-se os provetes como é indicado em 3.1 e 3.2.

4 — TÉCNICA

a) Seca-se o provete na estufa a 105-110 °C até massa constante, e anota-se o valor desta.

b) Peneira-se o agregado através dos peneiros necessários da série indicada em 2 a), começando pelo de abertura correspondente à máxima dimensão do agregado, de modo a separá-lo nas fracções pretendidas.

A peneiração deve ser feita executando movimentos horizontais de translação e rotação de forma a manter o material em movimento contínuo no fundo dos peneiros; os movimentos de rotação devem ser efectuados alternadamente no sentido directo e no sentido retrógrado. Não se deve forçar, à mão ou com qualquer instrumento, a passagem das partículas. A peneiração deve prolongar-se até que, em qualquer peneiro, não passe, durante 1 min, mais de 1 % do material nele retido. Pode usar-se a peneiração mecânica, se necessário completada com a peneiração manual acima descrita.

c) A quantidade de material de dimensão inferior a 0,074 mm deve ser determinada de acordo com a especificação LNEC E 235 «Agregados — Determinação da quantidade de material que passa no peneiro de 0,074 mm (n.º 200) ASTM». Quando não for necessário grande rigor, poderá proceder-se a esta determinação apenas por via seca.

d) Terminada a peneiração, pesa-se o material retido em cada peneiro.

ENTIDADES QUE COLABORARAM COM O LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL NA ELABORAÇÃO DESTA ESPECIFICAÇÃO

Direcção-Geral de Obras Públicas e Comunicações do
Ministério do Ultramar
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Junta Autónoma de Estradas
Laboratório de Engenharia de Angola
Laboratório de Engenharia de Moçambique

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ALONGAMENTO

— NORMA PROVISÓRIA —

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ALONGAMENTO

1 - GENERALIDADES

Este método é baseado na classificação das partículas e agregados como alongados, sempre que tenham um comprimento (maior dimensão) igual ou superior a 1,8 do seu tamanho nominal, tomando-se este tamanho como a média das dimensões das aberturas dos peneiros limites usados na determinação do tamanho da fração na qual as partículas ocorrem.

O Índice de alongamento de uma amostra de agregado determina-se separando as partículas alongadas e expressando a respectiva massa como percentagem da massa total da amostra ensaiada. Este ensaio não é aplicável a material que passa no peneiro de 6,3 mm (1/4 "). A.S.T.M. ou fica retido no de 50,00 mm (2 "). A.S.T.M.

2 - APARELHOS E UTENSÍLIOS

São necessários os seguintes dispositivos:

2.1. - Peneiros A.S.T.M. adequados, como se mostra no QUADRO 1

QUADRO 1 - DIMENSÃO DOS CALIBRES E COMPRIMENTOS

Fracção granulométrica		Calibre dos com- primentos *	Massa mínima para subdivisão
Aberturas nominais (Peneiros ASTM) em mm (").			
100 % passados	100 % retirados	Distância entre pernos em mm	em Kg **
63 (2 1/2)	50 (2)	-	50
50 (2)	37,5 (1 1/2)	30,0	35
37,5 (1 1/2)	25,0 (1)	16,3 57,2	17,5
31,5 (1 1/4)	25,0 (1)	19,0 -	10
25,0 (1)	19,0 (3/4)	39,0	5
19,0 (3/4)	12,5 (1/2)	28,5	2,5
14,0	10,0	21,5	1
12,5 (1/2)	9,5 (3/8)	20,1	0,75
10,0	6,3	14,2	0,5
9,5 (3/8)	6,3 (1/4)		

* - Dimensão igual a 1,8 vezes a dimensão média do peneiro

** - Valores adaptados da B.S. 812 para as dimensões dos peneiros A.S.T.M.

2.2. - Um medidor de comprimentos do tipo do apresentado na figura 1 e no QUADRO 1

2.3. - Balança com a sensibilidade de 0,05 da amostra total ensaiada.

3 - AMOSTRA

A amostra para este ensaio será obtida de acordo com a Norma N.

1 - 33 da NBR 12211, especificando as causas e fatores especificados no item 3.1.

HC

... para a devida tolerância para uma posterior rejeição das partículas retidas no peneiro de 50,0 mm (2"). A.S.T.M. e passando no peneiro de 6,3 mm (1/4").

A amostra a ensaiar deverá ser esquartejada utilizando um separador como o descrito na Norma S. 8 - 53 da JAE. A amostra deverá estar bem seca.

4 - TECNICA

Proceda à peneiração de acordo com uma das Normas da JAE S.8 - 53 ou S.11 - 53, e usando os peneiros que constam do QUADRO 1.

Rejeite todo o agregado retido no peneiro de 50,0 mm (2"). A.S.T.M. e todo o agregado que passa no peneiro 6,3 mm (1/4").

Pese e coloque cada fracção individual retida em recipientes distintos, anotando a dimensão de cada fracção.

A partir da soma das massas das fracções contidas nos recipientes (M 1), calculam-se as percentagens individuais retidas em cada peneiro. Rejeite toda a fracção cuja massa seja 5 % ou menos da massa (M 1). Registe a massa restante (M 2).

Calibre cada fracção como segue:

Selecione o medidor de comprimento adequado a cada fracção (ver QUADRO 1) e verifique nele cada partícula, separadamente, à mão.

As partículas alongadas são aquelas cuja maior dimensão as impede de passar no medidor. Misture e pese todas as partículas alongadas (M3).

5 - CALCULO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

$$\text{Índice de alongamento} = \frac{M 3 \times 100}{M 2}$$

Este índice é dimensionless e se apresenta arredondado às unidades. Deve ser reportado com uma única cifra decimal.

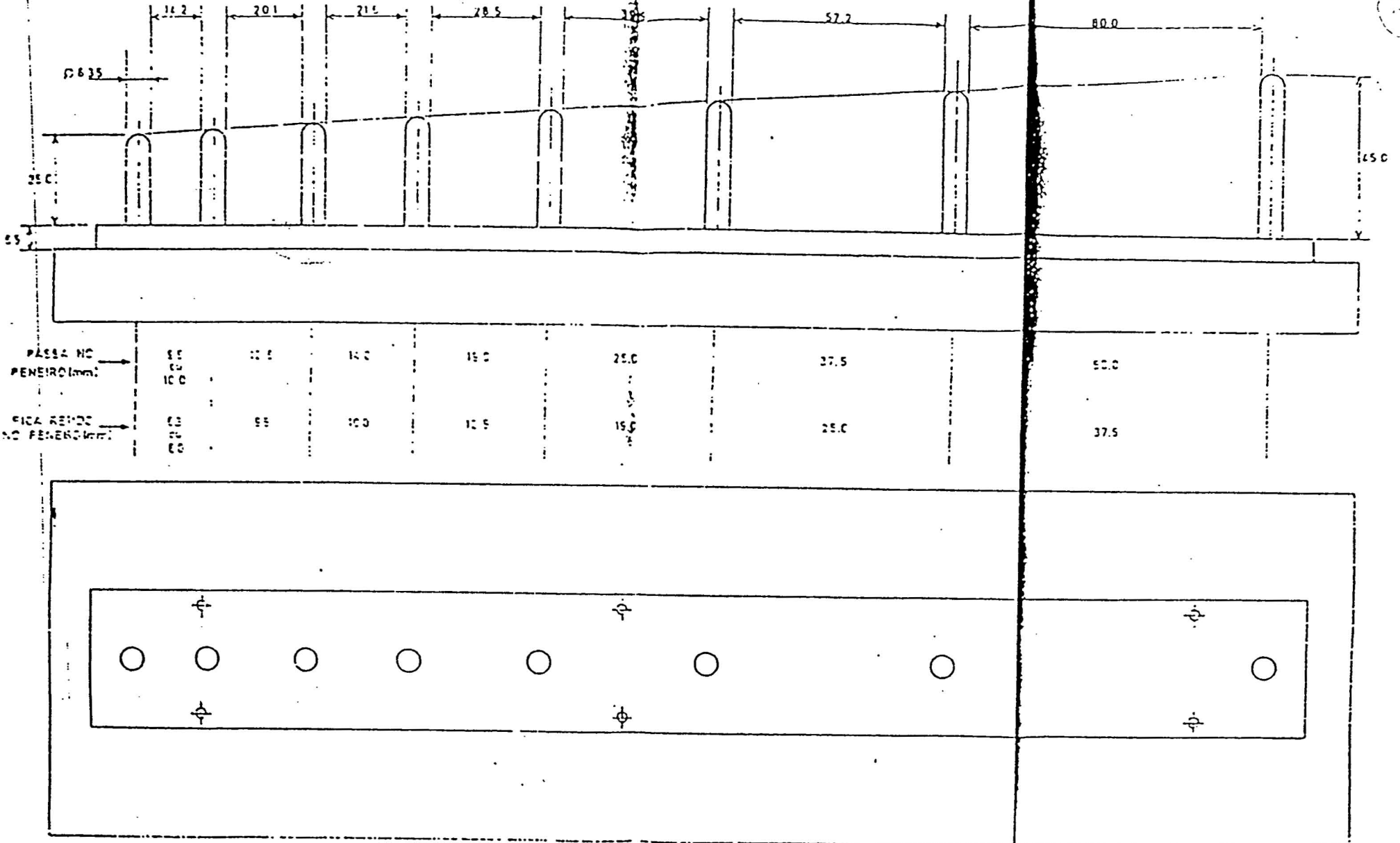


FIG. 1 - MEDIDOR DE COMPRIMENTOS (em mm)

Fig. 1

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE LAMELAÇÃO
—NORMA PROVISÓRIA—

ESTRATOS DA B.S. 812

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE LAMELAÇÃO

1 - GENERALIDADES

Com este método pretende-se classificar as partículas de agregados como partículas lamelares, isto é, quando têm uma espessura menor que 0,5 do seu tamanho nominal, sendo este tamanho tomado como a média das aberturas dos peneiros limites usados para determinar o tamanho de fração no qual a partícula ocorre. O índice de lamelação de uma amostra de agregado é encontrado através da separação das partículas lamelares, expressando a sua massa como percentagem da massa da amostra ensaiada. Este ensaio não é aplicável a material passado no peneiro 5.3 mm (1/4 "). A.S.T.M. ou retido no de 53 mm (2 1/2 "). A.S.T.M.

2 - UTENSÍLIOS

São necessários os seguintes utensílios:

- 2.1. - Um medidor de espessuras do tipo apresentado na fig. 1 ou peneiros especiais com aberturas alongadas. A largura das aberturas e a espessura da chapa usada no medidor ou peneiros são os especificados na fig. 1.
- 2.2. - Peneiros da série A.S.T.M. como se mostra no QUADRO 1.

QUADRO I - DIMENSÃO DOS CALIBRES DE ESPESURAS

Fracção granulométrica		Calibre de espesura * Largura da fenda em mm	Massa mínima para subdivisão em Kg **
Aberturas nominais (Peneiro ASTM) em mm (")			
100 % passado	100 % retido		
63 (2 1/2)	50 (2)	34.29	50
50 (2)	37,5 (1 1/2)	26.67	35
37,5 (1 1/2)	25,0 (1)	19.05	17,7
31,5 (1 1/4)	25,0 (1)	17.15	10
25,0 (1)	19,0 (3/4)	13.34	5
19,0 (3/4)	12,5 (1/2)	9.53	2.5
14,0	10,0	7.20	1
12,5 (1/2)	9,5 (3/8)	6.68	0,75
10,0	5,0	4.80	0,5
9,5 (3/8)	6,3 (1/4)		

* - Dimensão igual a 0,6 vezes a dimensão média do peneiro

** - Valores adaptados da B.S.812 para as dimensões dos peneiros ASTM

2.3. - Balança com a precisão de 0,5 % da massa total da amostra ensaiada.

3 - AMOSTRA PARA ENSAIO

A amostra para este ensaio será obtida de acordo com a Norma da JAE S.1-53. Ter-se-á que atingir a massa mínima apresentada no QUADRO I, para a peneiração, com a devida tolerância para uma posterior rejeição da

partículas retidas no peneiro de 63,0 mm (2 1/2 "). ASTM e passadas no de 6,3 mm (1/4 "). ASTM. A amostra a ensaiar em laboratório deverá ser previamente esquarterada ou separada conforme o definido nas Normas da JAE S. 1-53 ou S. 8-53. Antes do ensaio a amostra deve ser seca de acordo com a Norma da JAE S.8-53.

4 - PROCEDIMENTO

Execute a peneiração de acordo com a Norma da JAE S.8-53.

Usando os peneiros de acordo com o definido no QUADRO 1, rejeite todo o agregado retido no peneiro de 63,0 mm (2 1/2 ") e assim como o passado no de 6,3 mm (1/4 "). Seguidamente pese cada fracção individual retida nos peneiros excepto a retida no peneiro de 63,0 mm, e coloque-as em recipientes separados registando as dimensões respectivas.

NOTA - Quando o número de partículas é considerado excessivo em qualquer fracção, isto é, maior do que a massa especificada no QUADRO 1, a fracção pode ser subdividida através dos métodos de esquarteramento ou separação, Normas da JAE S.1-53 ou S. 8-53.

Nestas circunstâncias o resto do procedimento pode ser convenientemente modificado e o factor de correcção adequado para determinação da massa das partículas lamelares que forem obtidas terão todo o seu comprimento original medido.

A partir da soma das massas (M1) das fracções, calcula-se a percentagem individual retida em cada um dos vários peneiros. Despreza-se toda a fracção cuja massa é 5% menor que a massa (M1). Regista-se a massa resultante (M2).

Mede-se cada uma das fracções através dos seguintes processos:

- a) - Usando o medidor: Escolhe-se o medidor de espessuras adequado ao tamanho da fracção em causa (Ver QUADRO 1) e mede-se cada partícula separadamente à mão, ou
- b) - Usando os peneiros especiais: selecciona-se o peneiro especial adequado para o tamanho da fracção em causa. Coloca-se toda a fracção no peneiro e agita-se até que a maior parte das partículas passem através das aberturas.
- Seguidamente medem-se as partículas retidas individualmente à mão. Misturam-se e pesam-se todas as partículas passadas quer nos peneiros especiais quer no medidor (M 3)

5 - CALCULO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

$$\text{Índice de lamelação} = \frac{M_3 \times 100}{M_2}$$

O índice de lamelação deverá ser apresentado arredondado às unidades. A peneiração obtida neste ensaio deverá ser igualmente apresentada.

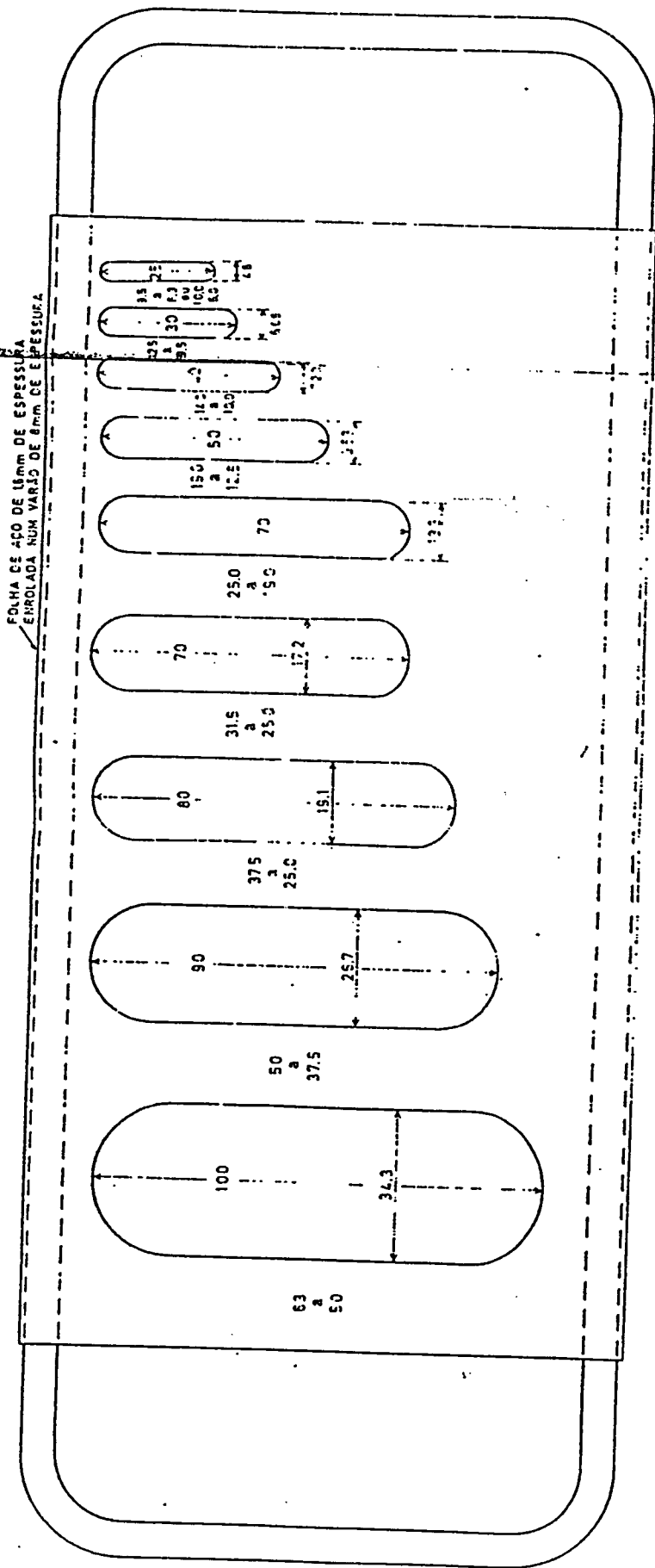


FIG. 1 - MEDIDOR DE ESPESURAS
(2m mm)

MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS
JUNTA AUTÓNOMA DE ESTRADAS
DIRECÇÃO DOS SERVIÇOS DE CONSTRUÇÃO
DIVISÃO DE GEOTECNIA

Apresenta-se a análise
de uma amostra de normas
provisórias relativas à forma
dos agregados (índice de
lamelação e alongamento),
preparadas por esta Divisão.
Com vista à sua aprova-
ção portenno julgo que as
mesmas deverão ser enviadas
à Dir. Serv. Regime, à D. Obra e

D. Est. para eventual commento.

13. FEV. 84

Civil

Processo n.º
16.7-9.1

De fey. Alvaro Bando
para o devido feito

20-4-84

Flavio

Em 21.02.84
Assin.

INFORMAÇÃO N.º 5/84-Div.Geot./Ct PROC.º

DATA 20. JANEIRO. 1984

ASSUNTO NORMA RELATIVA À FORMA DOS AGREGADOS
REF.º

Como tem vindo a verificar-se uma utilização cada vez maior de agregados sem as características julgadas mínimas em termos de forma, vem-se chamar a atenção para a importância desta no comportamento mecânico das camadas flexíveis do Pavimento, propondo-se a seguinte norma relativa aos valores máximos e limites para

os índices de lamelação (IL) e alongamento (IA) de agregados determinados de acordo com as normas respectivas e que se juntam em anexo.

Índices de Lamelação e Alongamento (IL) (IA)	Valores Aconselhados	Valores Limites
Betão Betuminoso	IL 25	30
(Camada de Desgaste)	IA 25	35
Mistura Betuminosa a quente	IL 30	35
(Camada de Regularização)	IA 30	40
Revestimento Superficial	IL 20	25
	IA 20	25

O ENGENHEIRO CIVIL

Mário Lourenço Cardoso

Mário Lourenço Cardoso

MC/MI

738
18

15 2-84

RECEBIDO POR SEU P.º DE ARQUIVO
SECRETARIA DO INTERIO - PORTO
Reg.º n.º 42 L.º 6 Fic. 184
26/2/1984

lv. 159

1 — OBJECTIVO

A presente norma destina-se a fixar o ensaio de compressão Marshall de misturas betuminosas o qual fornece indicações sobre a resistência que oferece uma mistura betuminosa à compressão e à deformação pela aplicação de forças.

A norma aplica-se às argamassas e betões betuminosos fabricados a quente com betume asfáltico e com agregado de máxima dimensão inferior a 25,4 mm destinados a estradas e aeródromos.

2 — APARELHOS E UTENSÍLIOS

2.1— Molde de aço (fig. 1 e fig. 2) com a superfície interior lisa, constituído por uma manga cilíndrica, uma base de faces planas e paralelas e uma prolonga com o diâmetro e a espessura da manga, e que se ajusta a esta por um dispositivo conveniente.

A manga deve ter $102 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de diâmetro interior, $88 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de altura e espessura não inferior a 5 mm. A saliência da base que se destina a fixar a manga deve ter $100 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de diâmetro e $12 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de altura. A altura da prolonga não deve ser inferior a 70 mm.

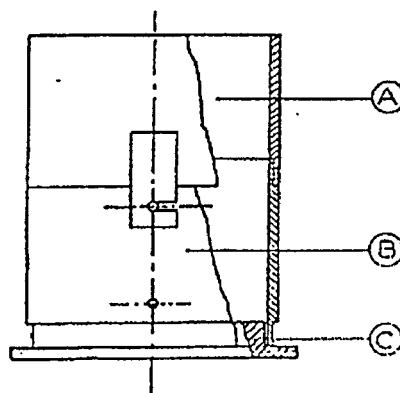


Fig. 1 — Molde (conjunto)

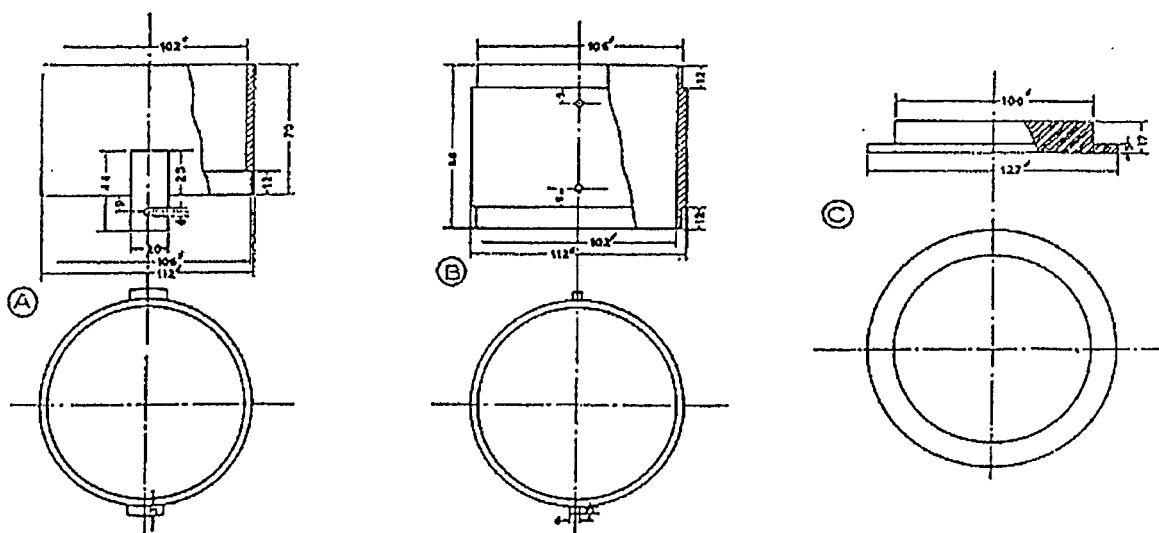


Fig. 2 — Molde (pormenores)

(Continua)

2.2—Martelo de compactação — Aparelho destinado a fazer a moldagem do provete por compactação e que permite fazer cair um pilão de 4500 g, da altura de 450 mm, sobre uma base cilíndrica de aço com $97 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de diâmetro e cerca de 10 mm de altura.

2.3—Estabilômetro Marshall — Aparelho por intermédio do qual se faz a aplicação da força ao provete durante o ensaio.

É constituído (fig. 3 e fig. 4) por duas peças de aço em meia cana, as cabeças, com $12 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de espessura. A superfície interior deve ser polida e com $51 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$ de raio de curvatura. A flecha dos arcos de circunferência da superfície interior das cabeças deve ser de $41 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$.

A cabeça inferior deve estar montada sobre uma base de aço que se destina a manter horizontal o eixo do estabilômetro.

O guiamento da cabeça superior é feito por intermédio de duas mangas que envolvem duas hastes ligadas à cabeça inferior e que são normais à base do estabilômetro.

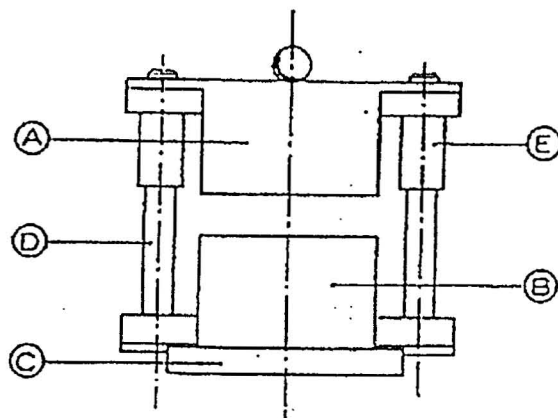


Fig. 3 — Estabilômetro Marshall (conjunto)

2.4—Misturador — Recipiente metálico com cerca de 5 dm^3 de capacidade, no qual se faz a mistura do agregado com o betume, mecanicamente ou com o auxílio de uma colher metálica.

2.5—Banho-maria com capacidade para conter, simultaneamente, 4 provetes pelo menos e capaz de os manter à temperatura de $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$, equipado com termómetro graduado em graus Celsius.

2.6—Duas estufas, com ventilação, capazes de manter a temperatura entre 105°C e 140°C e entre 175°C e 190°C .

2.7—Balança para pesagens até, pelo menos, 10 kg com limites de erro de $\pm 5 \text{ g}$.

2.8—Balança para pesagens até, pelo menos, 2 kg com limites de erro de $\pm 1 \text{ g}$.

2.9—Máquina de compressão para aplicação de forças até pelo menos 3000 kgf com limites de erro de $\pm 5 \text{ kgf}$. O deslocamento relativo dos pratos da máquina deve ser regulável por forma a fazer-se à razão de 50 mm/min .

2.10—Deflectómetro para medições até, pelo menos, 25 mm com limites de erro de $\pm 0,1 \text{ mm}$.

2.11—Termómetro para medições até, pelo menos, 200°C com limites de erro de $\pm 1^\circ\text{C}$.

2.12—Série de peneiros ASTM, de malha quadrada, com as seguintes aberturas: 25,4 mm; 19,0 mm; 12,7 mm; 9,51 mm; 4,76 mm; 2,00 mm; 0,841 mm; 0,420 mm; 0,177 mm e 0,074 mm.

2.13—Recipientes apropriados para conter os agregados e o betume durante o aquecimento.

2.14—Luvas de amianto e luvas de borracha.

2.15—Espátulas.

2.16—Papel de filtro.

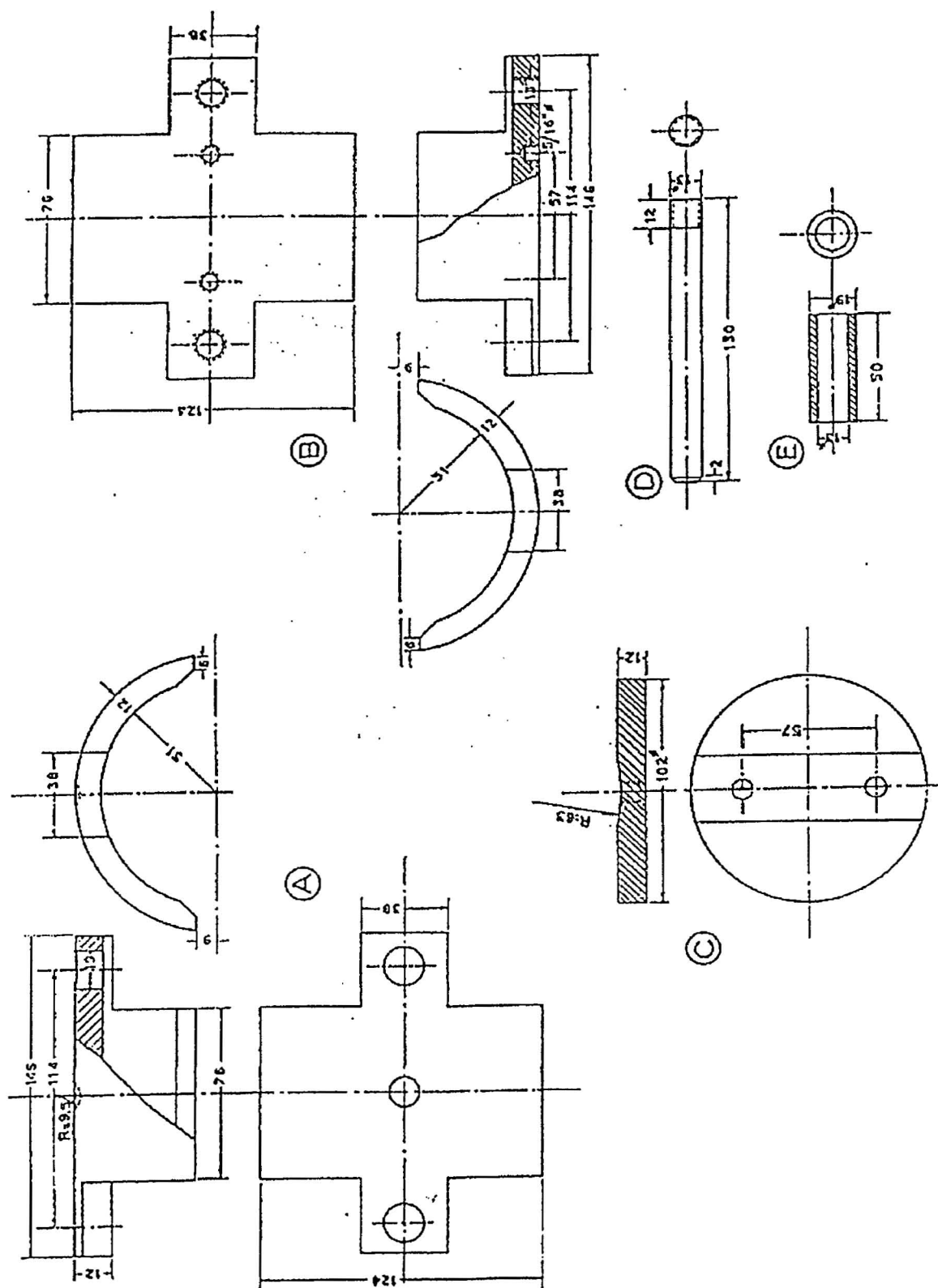


Fig. 4 -- Establómetro Marshall (pormenores)

3 — PREPARAÇÃO DO PROVETE

3.1 — Confeccção da mistura

Tomam-se cerca de 10 kg de agregado, e secam-se na estufa entre 105 °C e 110 °C durante 24 h. Separa-se o agregado em fracções granulométricas, por peneiração através de cada um dos peneiros da série mencionada na secção 2.12, começando pelo de maior abertura.

Conhecidas as percentagens ponderais em que cada uma das fracções granulométricas deve entrar na mistura, calculam-se as massas de cada uma delas e de betume para obter cerca de 3750 g de mistura. Esta quantidade destina-se à preparação de três provetes com 64 mm $\pm$ 3 mm de altura.

Pesam-se as quantidades das fracções granulométricas do agregado destinadas a cada provete e aquecem-se na estufa entre 175 °C e 190 °C durante cerca de 1 h. Ao mesmo tempo, aquece-se na estufa, entre 120 °C e 140 °C, uma porção de betume, um pouco superior à necessária, durante cerca de 45 min. Nesta estufa, introduz-se, também, o molde e a base do martelo de compactação, para que se encontrem aquecidos quando a mistura estiver feita.

Aquecidos todos os materiais, lança-se no misturador a porção de agregado para um provete, mistura-se ligeiramente e abre-se uma cova no meio do agregado. Coloca-se o misturador com o agregado na balança e equilibra-se com tara. Adiciona-se a quantidade de betume necessária, retira-se o misturador da balança e inicia-se imediatamente a mistura que não deve demorar mais de 2 min para evitar grandes perdas de calor.

3.2 — Moldagem do provete

Enche-se o molde, sobre a base do qual se dispôs, previamente, um círculo de papel de filtro com a mistura preparada, devendo haver o cuidado de evitar a segregação dos materiais.

Se, após o enchimento, a temperatura da mistura for inferior a 110 °C, rejeita-se esta e procede-se à execução de outra.

Verificada a temperatura, dispõe-se outro círculo de papel de filtro sobre a mistura e aplicam-se sobre ela 50 pancadas com o martelo de compactação, depois do que se retira a prolonga e se inverte a posição da manga. Colocada de novo a prolonga, aplicam-se, imediatamente, outras 50 pancadas.

Moldado o provete, retira-se o papel de filtro com o auxílio de uma espátula; para facilitar a desmoldagem, faz-se o seu arrefecimento mergulhando a manga em água à temperatura ambiente durante cerca de 2 min.

Desmolda-se o provete, pesa-se e mede-se. Deve ter 64 mm $\pm$ 3 mm de altura; caso contrário, rejeita-se. Coloca-se o provete, numa superfície lisa e horizontal e deixa-se arrefecer até à temperatura ambiente.

4 — TÉCNICA DO ENSAIO

Aquece-se o provete em banho-maria (2.5) à temperatura de 60 °C $\pm$ 1 °C durante não menos de 20 min após o que se coloca no estabilómetro (2.3), que deve estar convenientemente limpo, com as hastes lubrificadas e com o deflectómetro montado de forma a poder indicar a aproximação das cabeças durante o ensaio.

Colocado o estabilómetro na máquina de ensaio (2.9), aplica-se uma força progressivamente crescente até levar o provete à rotura. A velocidade de aplicação das forças deve ser regulada por forma que a aproximação dos pratos da máquina se faça à razão de 50 mm/min.

Para a determinação do encurtamento do provete deverão fazer-se leituras do deflectómetro (2.10) no início do ensaio e no momento da rotura.

O tempo decorrido entre a retirada do provete do banho-maria e a sua rotura não deve ser superior a 30 s.

5 — RESULTADOS

A força de rotura do provete é dada pelo valor da força máxima por ele suportada durante o ensaio, expressa em quilogramas-força.

A deformação do provete é dada pelo encurtamento sofrido pelo diâmetro paralelo à direcção da actuação das forças e avalia-se pela diferença, expressa em milímetros e arredondada às décimas, entre as leituras feitas no deflectómetro.

MOP-LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL-PORTUGAL
DOCUMENTAÇÃO NORMATIVA
ESPECIFICAÇÃO LNEC

MISTURAS BETUMINOSAS

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE

E 267-1973
REDACÇÃO PROVISÓRIA

CDU

625.8.066:531.42.08

DIRR

ensaio 62.55

massa volúmica 59.08

mistura betuminosa 49.67

norma 01.39

JUNHO 1973

Para Formação

MÉLANGES BITUMINEUX

Détermination de la densité apparente

OBJET

La présente spécification établit le procédé à suivre pour déterminer la densité apparente des mélanges bitumineux compactés.

BITUMINOUS MIXTURES

Determination of bulk specific gravity

SCOPE

This specification establishes the procedure for determining the bulk specific gravity of compacted bituminous mixtures.

1 — OBJECTO

A presente especificação destina-se a fixar o modo de determinar a densidade aparente de misturas betuminosas compactadas.

2 — APARELHOS E UTENSÍLIOS

a) Balança sensível a 1 g, equipada com dispositivo hidrostático.

b) Balança sensível a 0,1 g, equipada com dispositivo hidrostático.

c) Cesto de rede com malha de 5 mm de abertura.

d) Recipiente para imersão do provete em água.

3 — PROVETES

Os provetes podem ser moldados em laboratório por compactação duma mistura betuminosa ou extraídos dum pavimento. Neste último caso, se os provetes estiverem húmidos, secam-se entre 80 e 100 °C até massa constante.

4 — TÉCNICA

4.1 — Misturas fechadas

a) Pesa-se o provete convenientemente limpo e seco, depois de permanecer à temperatura am-

biente durante pelo menos 1 h, e regista-se a massa (m_1). Os provetes de massa superior a 250 g são pesados com a precisão de 1 g; os provetes de massa igual ou inferior a 250 g são pesados com a precisão de 0,1 g.

b) Coloca-se o provete no cesto de rede suspenso no dispositivo hidrostático, imerge-se o cesto na água e pesa-se (m_2) com a precisão referida em a).

4.2 — Misturas não fechadas

a) Pesa-se o provete convenientemente limpo e seco (m_1) como se indicou em 4.1 a).

b) Reveste-se o provete com uma camada fina e contínua de parafina quente. Se for necessário colmatar qualquer pequena porção de superfície não revestida com parafina, será conveniente escovar toda a zona adjacente antes de nova aplicação. Se o provete se destina a ser utilizado em ensaios posteriores que envolvam a retirada da camada de parafina, deve ser pulverizado com pó de talco antes da aplicação desta.

c) Deixa-se arrefecer o provete ao ar durante pelo menos 30 min e pesa-se (m_2) com a precisão referida em 4.1 a).

d) Pesa-se o provete parafinado imerso em água (m_3) como se indicou em 4.1 b).

5 — RESULTADOS

5.1 — Cálculos

5.1.1 — Misturas fechadas

A densidade aparente do provete é dada pela expressão:

$$\frac{m_1}{m_1 - m_2}$$

em que:

m_1 — massa do provete, em gramas

m_2 — massa determinada com o provete imerso em água, em gramas.

5.1.2 — Misturas não fechadas

A densidade aparente do provete é dada pela expressão:

$$\frac{m_1}{m_2 - m_3 - \frac{m_3 - m_1}{\rho}}$$

em que:

m_1 — massa do provete, em gramas

m_2 — massa determinada com o provete para-
finado imerso em água, em gramas

m_3 — massa do provete parafinado, em gramas

ρ — densidade da parafina.

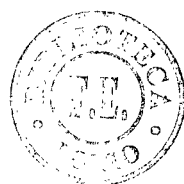
5.2 — Apresentação

O resultado é dado pela média dos valores obtidos no ensaio de pelo menos dois provetes e apresenta-se arredondado às centésimas.

Só se consideram os valores que não difiram entre si mais que 0,02 no caso de provetes com massa entre 250 e 5000 g, e mais que 0,01 no caso de provetes com massa inferior a 250 g.

ENTIDADES QUE COLABORARAM COM O LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL NA ELABORAÇÃO DESTA ESPECIFICAÇÃO

Direcção-Geral de Obras Públicas e Comunicações do
Ministério do Ultramar
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Junta Autónoma de Estradas
Laboratório de Engenharia de Angola
Laboratório de Engenharia de Moçambique





Mais Educação



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu

Nome: Cláudia Vaniza Matias Mendes Jesus

Curso: Eng. Civil

Datas: 1/2/2003 a 6/28/2003

Tema: Pavimentação

Empresa: Jaime Queirós Ribeiro, lda

Concurso: 306/012-03 – PRODEPII – Medida 3/Ação 3.2 -
Estágios



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000088376