



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**Reutilização De Resíduos da Construção e
Demolição em Obras Aeroportuárias**

João Luís Banza Gonçalves Matias

Orientação: Prof.^a Teresa Pinheiro-Alves

Mestrado em Engenharia Civil
Área de especialização: Construção
Dissertação

Évora, 2014



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**Reutilização De Resíduos da Construção e
Demolição em Obras Aeroportuárias**

João Luís Banza Gonçalves Matias

Orientação: Prof.^a Teresa Pinheiro-Alves

Mestrado em Engenharia Civil
Área de especialização: Construção
Dissertação

Évora, 2014

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todos aqueles que contribuíram para a realização desta Tese de Dissertação.

Um agradecimento especial à minha coordenadora, Teresa Pinheiro Alves, pelo apoio constante ao longo de todos estes meses, ao Maia e Costa, representante da empresa adjudicatária, por toda a informação cedida acerca da empreitada do Aeroporto de Faro.

Manifesto o meu agradecimento a todos os que contribuíram de forma mais ou menos direta para o desenvolvimento da dissertação.

Ao meu filho Francisco, meus pais e irmã a compreensão e o apoio dispensados desde sempre.

Um muito Obrigado a todos.

RESUMO

No presente trabalho foi feito um estudo sobre a utilização de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) em Infraestruturas Aeroportuárias na camada de Leito de Pavimento. Esta dissertação teve como base de partida um caso de estudo real, onde foi efetuada a comparação entre a solução convencional inicialmente prevista para a camada de leito de pavimento e a uma outra solução com a utilização de RCD. Na análise comparativa, foram considerados aspetos ambientais e económicos.

Este tema assume cada vez mais importância, no contexto do desenvolvimento sustentável.

**REUSE CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE FOR AIRPORT
INFRASTRUCTURES**

ABSTRACT

In this work a study on the use of Construction and Demolition Waste (C&DW) for Airport Infrastructures in the pavement foundation. This dissertation thesis was based on starting a real case study where a comparison between the conventional solution initially planned to the pavement foundation and another solution with the use of C&DW was made. The comparative analysis included environmental and economic aspects. This issue takes on more importance in the context of sustainable development.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Índice geral	iv
Índice de figuras	vi
Índice de quadros	vii
Índice de gráficos	viii
Lista de abreviaturas	ix
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Aspetos gerais	1
1.2 – Objetivos	2
1.3 – Estrutura da Dissertação	3
2 – SOLUÇÃO TRADICIONAL PARA CAMADA DE LEITO DE PAVIMENTO A APLICAR NA AMPLIAÇÃO E REQUALIFICAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS NAS ÁREAS OPERACIONAIS DO AEROPORTO DE FARO	4
2.1 – Materiais	8
2.2 – Legislação	11
3 – SOLUÇÃO NÃO TRADICIONAL PARA CAMADA DE LEITO DE PAVIMENTO APLICADA NA AMPLIAÇÃO E REQUALIFICAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS NAS ÁREAS OPERACIONAIS DO AEROPORTO DE FARO	12
3.1. Ensaio realizado ao TV reciclado 0/31.5	21
4 – METODOLOGIA ADOTADA	26
5 – RESULTADOS OBTIDOS	28
5.1 – Solução tradicional	28
5.1.1 – Emissões de CO ₂ e Consumo de Energia	28
5.1.2 – Custos de Produção	32
5.2 – Solução Não Tradicional	35
5.2.1 - Emissões de CO ₂ e Consumo de Energia	35
5.2.2 - Custos de Produção	37
6 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	39
7 - CONCLUSÕES FINAIS	49
Trabalhos futuros	50

BIBLIOGRAFIA	51
ANEXOS	53
Anexo A - Pormenores tipo de pavimentos	53
Anexo B - Ficha Técnica do produto Tout-venant 0/31.5 reciclado Arvela	54
Anexo C - Especificação LNEC E 474 – 2006	55
Anexo D - Estudo RCD – Alves Ribeiro, S.A. e Limite de Consistência – Tecnovia,S.A.	61
Anexo E – Especificação LNEC E197-1966	77
Anexo F - Ensayo de Carga con Placa – Método NLT 357/98	87
Anexo G: Relatórios de ensaio de compactação da camada de leito de pavimento	100
Anexo H: Relatórios de ensaios de carga com placa	103
Anexo I: Cálculos justificativos das emissões de CO ₂ nos agregados convencionais	106
Anexo J: Cálculos justificativos dos consumos de Energia do agregado convencional	107
Anexo L: Folha de cálculo <i>excel</i> para cálculo de custo de transporte de agregados	108
Anexo M: Cálculos justificativos das emissões de CO ₂ nos agregados reciclados	110
Anexo N: Cálculos justificativos dos consumos de Energia nos agregados reciclados	111
Anexo O: Cálculos justificativos das emissões de CO ₂ e consumos de energia para situação n.º 1	112
Anexo P: Cálculos justificativos das emissões de CO ₂ e consumos de energia para situação n.º 2	114
Anexo Q: Cálculos justificativos das emissões de CO ₂ e consumos de energia para situação n.º 3	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1 - Planta geral de pavimentos (MDJ, 2008)	5
Figura n.º 2 - Estrutura dos aterros	8
Figura n.º 3 - Camada de leito de pavimento no Taxiways “F”	13
Figura n.º 4 - Camada de leito de pavimento na Plataforma Estacionamento(S2)	13
Figura n.º 5 - Stock`s de RCD antes do processamento no Centro de Gestão de Resíduos Arvela	14
Figura n.º 6 - Transporte de RCD antes do processamento no Centro de Gestão de Resíduos Arvela	14
Figura n.º 7 - Triagem manual	15
Figura n.º 8 - Redução Primária: Fornecimento dos resíduos na britadeira	15
Figura n.º 9 - Tapete equipado com “imens”	16
Figura n.º 10 - Sistema de Britagem	16
Figura n.º 11 - Fase de Peneiração	17
Figura n.º 12 - Produto Final – Tout-Venant reciclado 0/31.5	17
Figura n.º 13 - Troxler (Equipamento radioativo nuclear)	24
Figura n.º 14 - Ensaio de carga com placa	25
Figura n.º 15 - Localização e distâncias das pedreiras ao Aeroporto de Faro	30

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro n.º 1 - Tráfego de dimensionamento (MDJ, 2008)	6
Quadro n.º 2 - Características dos solos de fundação	9
Quadro n.º 3 - Valores mínimos de compactação	10
Quadro n.º 4 – Resumo dos ensaios realizados	22
Quadro n.º 5 - Valores mínimos de compactação para leito de pavimento	24
Quadro n.º 6 - Emissão de CO2 no fabrico de agregados convencionais	30
Quadro n.º 7 - Emissão de CO2 no transporte de agregados convencionais	31
Quadro n.º 8 - Energia consumida no fabrico de agregados convencionais	31
Quadro n.º 9 - Energia consumida no transporte de agregados convencionais	32
Quadro n.º 10 - Preço/ton de agregados convencionais – tout-venant	33
Quadro n.º 11 - Comparativo custo de transporte das pedreiras à obra	33
Quadro n.º 12 - Comparativo custo final tonelada entre pedreiras	34
Quadro n.º 13 - Comparativo custo final total entre pedreiras	35
Quadro n.º 14 - Emissão de CO2 no fabrico de agregados reciclados	35
Quadro n.º 15 - Emissão de CO2 no transporte de agregados reciclados	35
Quadro n.º 16 - Energia consumida no fabrico de agregados reciclados	36
Quadro n.º 17 - Preço/ton de agregados reciclados	38
Quadro n.º 18 - Preço/ton transporte de agregados reciclados	38
Quadro n.º 19 - Preço/ton fornecimento + transporte de agregados reciclados	39
Quadro n.º 20 - Preços/ton de fornecimento e transporte de agregado reciclado e de agregado convencional para situação n.º 1	43
Quadro n.º 21 - Preços/ton de fornecimento e transporte de agregado reciclado e de agregado convencional para situação n.º 2	46
Quadro n.º 22 - Preços/ton de fornecimento e transporte de agregado reciclado e de agregado convencional para situação n.º 3	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico n.º 1 - Agregados britados convencionais – Emissão de CO ₂	31
Gráfico n.º 2 - Agregados britados convencionais – Energia consumida	32
Gráfico n.º 3 - RCD – Emissão de CO ₂	36
Gráfico n.º 4 - RCD – Energia consumida	37
Gráfico n.º 5 - Comparativo de emissões de CO ₂ (Solução adotada e convencional)	40
Gráfico n.º 6 - Comparativo de consumos de energia (Sol. adotada e convencional)	41
Gráfico n.º 7 - Comparativo de custos de produção (Sol. adotada e convencional)	41
Gráfico n.º 8 - Emissões de CO ₂ para a Situação n.º 1	44
Gráfico n.º 9 – Consumo de energia para a Situação n.º 1	44
Gráfico n.º 10 – Consumo de energia para a Situação n.º 2	46
Gráfico n.º 11 - Consumo de energia para a Situação n.º 3	48

LISTA DE ABREVIATURAS

A.A.S.H.T.O - American Association of State Highway and Transportation Officials

ANA, S.A - Aeroportos de Portugal

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

ASTM – American Society for Testing and Materials

CBR – Californian Bearing Ratio

CE – Caderno de Encargos

CO₂ – Dióxido de Carbono

E – Módulo da Deformabilidade do terreno

EA – Equivalente de areia

E.P – Estradas de Portugal

EV – Módulo da Compressibilidade

GC – Grau de compactação

ICAO - International Civil Aviation Organization

IP – Índice de Plasticidade

K - Módulo de reação do terreno de fundação

LL – Limite de Liquidez

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MDJ – Memória Descritiva e Justificativa

NP/NP EN – Normas Portuguesas

PIA – Parte Inferior do Aterro

PSA – Parte Superior do Aterro

P1 – Pedreira n.º 1, Chã da Mula, Monchique

P2 – Pedreira n.º 2, Meia Viana, Monchique

P3 – Pedreira n.º 3, Barranco dos Mouros, Castro Marim

RET – Saídas rápidas

RCD - Resíduos da Construção e Demolição

Taxiways – Caminhos de Circulação

TV – Tout Venant

γ - Peso Volúmico

1 INTRODUÇÃO

1.1 ASPETOS GERAIS

A indústria da construção é uma das maiores fontes geradoras de grandes quantidades de resíduos e implicitamente responsável pelo aumento da poluição ambiental. Entende-se por poluição ambiental, a destruição, esgotamento e alteração de comportamento dos recursos naturais. Agência Portuguesa do Ambiente (2008)¹ referiu que se estima uma produção anual global de 100 milhões de toneladas de resíduos, entre os membros da União Europeia, assim como, esta atividade produz uma quantidade de resíduos de construção e demolição igual a 22% do total de resíduos produzidos na União Europeia.

No entanto, só nas últimas décadas começaram a surgir preocupações com o destino a dar aos resíduos provenientes desta atividade. Perante estes números e com a necessidade emergente de proteção do meio ambiente, surgiu o conceito de Construção Sustentável. Define-se então como uma construção que responde às necessidades da sociedade atual, promovendo alterações conscientes, que visam preservar os recursos naturais e o ambiente, através da utilização de materiais recicláveis e redução no consumo de materiais provenientes de matérias-primas fósseis e de renovação lenta. Torna-se imprescindível assegurar que os aspetos ambientais sejam controlados de forma a garantir a prevenção, minimização e compensação de impactes ambientais negativos, ou seja, converter os métodos atuais da construção num processo sustentável, de modo a não comprometer a capacidade das gerações presentes e futuras, devendo assumir como princípio orientador, a redução drástica do uso de matérias-primas e o aumento significativo na aposta de reciclagem de materiais. Neste contexto, e assumindo a reciclagem como um dos trunfos para uma construção sustentável, a utilização/reciclagem de RCD apresenta-se assim, como uma excelente solução. Estes resíduos podem resultar de variados processos, tais como limpezas do local de obras, desperdícios de materiais produzidos e ocorridos durante a construção, materiais inutilizados, demolições e operações de manutenção, conservação e reabilitação de construções. No essencial, estes resíduos podem ser constituídos por betões britados, agregados provenientes de camadas não ligadas, alvenarias, materiais metálicos e não metálicos, misturas betuminosas, terras,

¹ APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2008), “Resíduos da Construção e Demolição” Lisboa: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

solos, entre outros. Estes RCD como resultam dos desperdícios das obras, apresentam uma composição muito diversificada e heterogénea, pois podem ser constituídos por qualquer um dos materiais atrás referidos. Atualmente, os RCD podem ser classificados de diferentes formas, no entanto, para efeitos legais devem ser classificados de acordo com a Lista Europeia de Resíduos – LER, cuja portaria é a n.º 209/2004. Relativamente à sua aplicabilidade em infraestruturas de transporte, Freire (2010) referiu que “à data, existem ainda algumas lacunas nos conhecimentos técnico-científicos que limitam a aplicação generalizada de RCD” em camadas de pavimentos, porém existem já em Portugal algumas empreitadas de infraestruturas aeroportuárias onde foram inseridos RCD e com bons resultados, nomeadamente, na empreitada: “Plano de desenvolvimento do Aeroporto de Lisboa – Remodelação da Plataforma Echo”.

A utilização de alguns RCD's em pavimentos de infraestruturas de transporte, nomeadamente rodoviários, aeroportuários, ferroviários, pode constituir uma solução vantajosa, quer em termos ambientais, quer em termos económicos. A aplicação de RCD's em infraestruturas rodoviárias, mais concretamente em aterros, camadas de leito de pavimento e camadas não ligadas de pavimento (base e sub-base), apresenta ainda a vantagem de permitir incorporar elevadas quantidades de resíduos, com variadas origens. Obviamente que se terá sempre de analisar a viabilidade dos mesmos no que diz respeito às solicitações a que vai estar sujeito o pavimento em causa. A reciclagem de RCD's pode permitir assim, obter um agregado reciclado apto para diversas aplicações em pavimentos com consumos reduzidos de energia e eficientes processos de separação e limpeza. Para além de contribuir para a redução da deposição em locais inadequados permite poupar os recursos naturais, assim como, reduz as emissões de CO₂ para a atmosfera e o consumo energético associados à extração da matéria-prima e produção de materiais e componentes. Por outro lado, a utilização de agregados reciclados possibilita ainda poupanças económicas muito significativas em relação aos materiais convencionais, reduzindo assim também o impacto económico.

1.2 - OBJETIVOS

O principal objetivo do presente trabalho, consiste em avaliar a viabilidade da utilização de resíduos em obras aeroportuárias ao nível de pavimentos, mais

concretamente na utilização dos mesmos nas camadas de leito de pavimento, em vez das soluções tradicionais. Esta análise é realizada sob o ponto de vista ambiental e económico. Para a realização da mesma foi considerado um caso real numa empreitada onde foram aplicados resíduos nesta camada, mais concretamente, no “Aeroporto de Faro – Ampliação e Requalificação das Infraestruturas nas áreas operacionais”, no qual inicialmente estava prevista uma solução tradicional.

Procura-se igualmente fornecer elementos que permitam um comparativo entre a utilização de materiais convencionais e materiais reciclados em infraestruturas aeroportuárias, de forma a refletir e analisar as vertentes ambientais e económicas, respetivos materiais e legislação vigente face às duas soluções.

1.3 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se estruturado em seis capítulos.

O Capítulo 1 apresenta uma pequena introdução sobre a necessidade de utilizar materiais recicláveis; os objetivos que se pretendem atingir com este trabalho e a sua estrutura.

No Capítulo 2 apresenta as soluções tradicionais previstas no Aeroporto de Faro ao nível de materiais a aplicar nas camadas de leito de pavimento e a respectiva legislação.

No capítulo 3 é apresentado o caso de estudo, ou seja, apresentação da solução não tradicional, com o uso de RCD. Neste capítulo é exposta toda a informação do produto reciclado, bem como os ensaios necessários para a sua inserção na empreitada.

Já no capítulo 4, procede-se à apresentação da metodologia adotada para este trabalho.

No capítulo 5, expõem-se todos os resultados obtidos das duas soluções, ao nível ambiental e económico.

No capítulo n.º 6, é realizada a análise e a discussão dos resultados obtidos ao longo do trabalho.

No último capítulo n.º 7, serão apresentadas as conclusões finais; e expostos cenários de futuros trabalhos.

2 – SOLUÇÃO TRADICIONAL PARA CAMADA DE LEITO DE PAVIMENTO A APLICAR NA AMPLIAÇÃO E REQUALIFICAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS NAS ÁREAS OPERACIONAIS DO AEROPORTO DE FARO

A empreitada a que se refere o caso de estudo desta dissertação é a obra realizada no Aeroporto de Faro em 2010. De seguida será descrita a empreitada, com uma breve descrição das intervenções e após isso, a solução tradicional para a camada de leito de pavimento.

A empreitada do Aeroporto de Faro refere-se essencialmente à ampliação/construção de plataformas de estacionamento, saídas rápidas de pista e caminho de circulação. Segundo a Memória Descritiva e Justificativa da empreitada (2008), o “Aeroporto de Faro tem uma pista com 2 490 m de comprimento e 45 m de largura, para operações nos dois sentidos e um caminho de circulação paralelo ao longo de toda a pista”. Resumindo a empreitada, foram executadas:

- Plataformas de estacionamento (Placa S1, S2);
- Plataforma de manutenção e Hangar (Placa S3);
- Caminhos de circulação “E” e “F”, também designados respetivamente Taxiways “Echo” e “Foxtrot”;
- Saídas rápidas N.º 10 e 28, designadas de RET n.º 10 e RET n.º 28.

Apresentasse de seguida na figura n.º 1 a planta geral de pavimentos com a localização de todas as intervenções da empreitada.

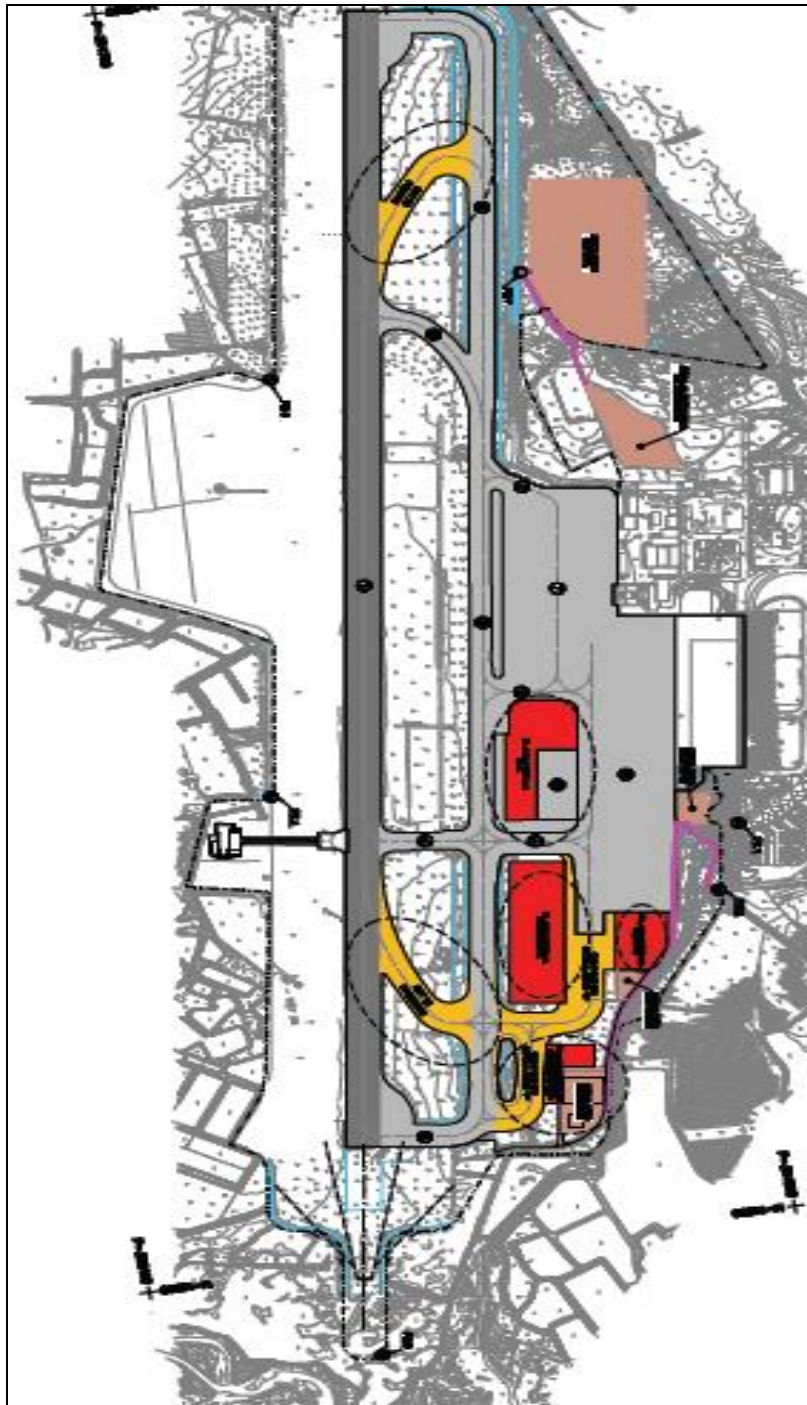


Figura n.º 1 – Planta Geral de pavimentos (MDJ, 2008)

De referir que as zonas alvo de intervenção da figura n.º1, foram as zonas a vermelho e a amarelo. Sendo que cada local representa uma zona de intervenção diferente, bem como a natureza do pavimento da cada plataforma, assim tem-se:

- A vermelho - Plataformas de estacionamento (Placa S1, S2); Plataforma de manutenção (Placa S3); e Pavimentos rígidos;

- A amarelo - Caminhos de circulação “E” e “F”; RET n.º 10 e RET n.º 28; e Pavimentos Flexíveis.

Relativamente às estruturas de pavimentação foram consideradas em projecto as seguintes soluções de pavimento:

- Pavimento com estrutura flexível, em betão betuminoso, nas RET`s e demais caminhos de circulação e vias de serviço;
- Pavimento rígido, em lajes de betão com juntas, nas plataformas de estacionamento e manutenção.

Estas soluções referidas anteriormente, encontram-se em pormenores tipo perfil transversal no Anexo A. De referir que em todas as estruturas de pavimento, estava prevista a colocação de uma camada de leito de pavimento.

Quanto ao tráfego de aeronaves previsto no dimensionamento das estruturas de pavimento, consideraram-se os valores indicados no quadro n.º 1.

Quadro n.º 1: Tráfego de dimensionamento (MDJ, 2008)

Aeroporto de Faro L1011-500	Partidas Equivalentes	N fat
Pista 10-28	786845	434721
RET 10	236054 (*)	130416
RET 28	550792 (*)	304305
Taxiway “Echo”	295067	163020
Taxiway “Foxtrot”	147533	81510
Placas S1 e S2	21266	5875
Aeroporto de Faro A320-200	Partidas Equivalentes	N fat
Placa S3	21266	6111

(*) Estas solicitações respeitam ao Peso Máximo à Aterragem do avião crítico

As soluções construtivas neste tipo de obras aeroportuárias ao nível da pavimentação são muito diversificadas e dependem de vários fatores, como por exemplo: solos de fundação existentes, exigências da ANA (Aeroportos de Portugal) e ICAO (International Civil Aviation Organization), estudo de tráfego, características das aeronaves e condições climatológicas da região. Devido à complexidade e variedade tão específicas deste tipo de obras, nesta dissertação serão focadas apenas as soluções inicialmente previstas a aplicar ao nível das camadas de leito de pavimento da empreitada “Aeroporto de Faro - Ampliação e requalificação das infraestruturas nas áreas operacionais”.

A solução exposta e analisada neste ponto do trabalho é a solução prevista inicialmente em projecto para a camada de leito de pavimento da empreitada já concluída “Aeroporto de Faro - Ampliação e requalificação das infraestruturas nas áreas operacionais”. Esta solução acabou por não ser aplicada, mas é fundamental que a mesma seja aqui descrita.

Este capítulo apresenta assim as características dos materiais a utilizar e a legislação que vigoraria caso se optasse por cumprir o que estava inicialmente previsto em caderno de encargos e memória descritiva para esta empreitada, ou seja, material granular britado, que teria que ser obtido em pedreiras da região derivado da escassez de solos com características adequadas.

O leito de pavimento insere-se no capítulo Terraplenagens. Neste capítulo aborda-se apenas a construção dos aterros, na qual se enquadra a camada de leito de pavimento, sendo aquela que requer mais rigor, acompanhamento e controlo de todas as atividades ao nível de terraplenagens. A construção de um aterro consiste na obtenção de solos/materiais que garantam estabilidade à estrutura que irá suportar, provenientes das escavações realizadas dentro da obra caso possuam características necessárias, ou provenientes de manchas de empréstimo e ou pedreiras. Segundo E.P. (2009) “Os aterros são constituídos por quatro camadas: parte inferior do aterro (PIA); corpo do aterro; parte superior do aterro (PSA) e leito de pavimento”. As camadas apresentam-se representadas na figura seguinte.



Figura n.º 2: Estrutura dos aterros

Para as primeiras camadas de pavimento, (PIA, Corpo e PSA), os solos são normalmente constituídos por materiais provenientes das escavações. Mas caso os solos a utilizar nos aterros possuam fraca resistência e baixa capacidade de suporte terá que se recorrer a manchas de empréstimo. Entende-se por mancha de empréstimo um local com solos com determinadas características, para executar um determinado aterro. A camada de leito de pavimento é a última camada constituinte de um aterro, constitui assim a denominada fundação do pavimento. Esta camada destina-se essencialmente a conferir, boas condições de fundação ao pavimento, boa capacidade de suporte, resistência e estabilidade dos aterros/maciços construídos. Nesta camada poderão ser utilizados solos de boa qualidade, isentos de detritos e matéria orgânica; poderão também ser utilizados materiais granulares não britados; solos tratados com cimento e/ou cal; ou ainda por materiais granulares britados. Porém neste trabalho e de acordo com o caderno de encargos da empreitada “Aeroporto de Faro”, apenas irão ser analisados os materiais granulares britados obtidos em locais de exploração minerais – pedreiras, uma vez que são estes os inicialmente previstos na empreitada.

2.1 – MATERIAIS

Como já foi referido os materiais utilizados na camada de leito de pavimento, são os que possuem melhores características de todos os solos das estruturas de aterro, uma vez, que tem que conferir boas condições de fundação ao pavimento. Por vezes o seu acesso torna-se mais complicado, já que poderão não existir solos de boa qualidade nas proximidades do local da obra, recorrendo-se a materiais britados que terão que ser adquiridos em pedreiras mais distantes. A seleção destes solos para o leito de

pavimento de uma empreitada, faz-se sempre em função das condições de fundação dos locais alvo de exploração. Na empreitada do “Aeroporto de Faro”, não foi exceção e após análise das características geotécnicas dos solos de fundação, preconizou-se a utilização do seguinte material:

- Agregado britado de granulometria contínua 0/100, também designado por tout-venant

Quanto aos solos de fundação do “Aeroporto de Faro” são constituídos por (MDJ, 2008): “saibros argilosos, bastante heterogéneos quanto à respectiva resistência mecânica e compressibilidade, ocorrendo também sob a forma de solos areno-siltosos, do tipo A-1-b, A-2-4 ou até A-2-7 segundo a classificação A.A.S.H.T.O. (American Association of State Highway and Transportation Officials)”

No Quadro seguinte apresentam-se as características da fundação.

Quadro n.º 2: Características dos solos de fundação (MDJ, 2008)

Aeroporto de Faro L1011-500	CBR (%)	K (MN/m³)	E (MPa)	Classe de fundação
RET 10	12	80	60	B
RET 28	41	150	200	A
Taxiway “Echo”	7	40	70	C
Taxiway “Foxtrot”	12	80	60	B
Placa S1	15	80	75	B
Placa S2	7	40	70	C
Aeroporto de Faro A320-200	CBR (%)	K (MN/m³)	E (MPa)	Classe de fundação
Placa S3	12	80	60	B

Perante estes valores geotécnicos e com o objetivo de melhorar as condições de fundação e devido à escassez de solos com boas características para o efeito, o dono de obra desta empreitada, optou por considerar a utilização de material granular britado. Sendo que os materiais a aplicar teriam que ser obtidos em pedreiras, o dono de obra referiu na memória descritiva a título indicativo as explorações existentes na região, que a seguir se apresentam (MDJ, 2008):

- Chã de Mula, Monchique – sienitos;
- Meia Viana, Monchique – sienitos;
- Barranco dos Mouros, Castro Marim – Grauvaques

Quanto à espessura da camada de leito de pavimento, foi prevista uma espessura com 0,30 m.

Caso o adjudicatário desta empreitada, pretende-se utilizar solos de uma mancha de empréstimo, em vez de material granular britado obtidos em pedreiras, o dono da obra refere também no caderno de encargos (CE, 2008):

“os materiais a utilizar na execução de leitos de pavimento, deverão ser classificados nos grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 ou A-3 da Classificação para fins rodoviários, nos termos da Especificação LNEC E-240-1970. Os valores mínimos de compactação relativa a respeitar na execução do leito do pavimento são apresentados no quadro que se segue, em função da classificação dos solos. A compactação relativa refere-se ao ensaio de compactação pesada (Especificação LNEC E 197-1966).”

No texto anterior o quadro a que se refere é o n.º 3.

Quadro n.º 3: Valores mínimos de compactação (CE, 2008):

Classificação do Solo	Leito do Pavimento (%)
A-1	100
A-3	100
A-2-4 e A-2-5	100

Também está referido no caderno de encargos (CE, 2008) que os materiais a utilizar na execução do leito de pavimento, devem apresentar as seguintes características:

CBR..... 20%
 LL ≤ 25

$$\begin{aligned} \text{IP} &\dots\dots\dots \leq 6 \\ \text{E.A.} &\dots\dots\dots \geq 30 \end{aligned}$$

2.2 – LEGISLAÇÃO

Legislação a considerar e recomendada pelo dono da obra segundo CE (2008), será constituída por todas as referências normativas e Especificações Técnicas que deverão ser adotadas e cumpridas no âmbito da empreitada considerada, neste caso: “Aeroporto de Faro”. No caderno de encargos é apresentada a listagem das ditas referências normativas que deviam ser adotadas nesta empreitada (Caderno de encargos, 2008):

- ASTM D-2922 - Test methods for Density of Soil and Soil-Aggregate in Place by Nuclear methods
- ASTM D-3017 - Test methods for Water Content of Soil and Rock In-Place by Nuclear methods (Shallow Depth)
- Especificação LNEC E 196 – Solos. Análise granulométrica
- Especificação LNEC E 197 – Solos. Ensaio de compactação
- Especificação LNEC E 198 – Solos. Ensaio do CBR
- Especificação LNEC E 199 – Solos. Ensaio de equivalente de areia
- Especificação LNEC E 204 - Solos - Determinação da baridade seca "in situ" pelo método da garrafa de areia
- Especificação LNEC E-240 – Solos. Classificação para fins rodoviários
- NP 83 – Solos. Determinação da densidade das partículas
- NP 84 – Solos. Determinação do teor em água
- NP 143 – Solos. Determinação dos limites de consistência
- NLT 357 – Ensayo de placa con carga
- NP EN 1097-2 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação

- NP EN 1097-5 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados.
Parte 5: Determinação do teor de humidade por secagem em estufa ventilada
- NP EN 1097-6 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados.
Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água

Além destes documentos, à que dar cumprimento aos restantes elementos referidos no caderno de encargos e na memória descritiva. Estes apresentam todas as características necessárias dos materiais a aplicar, assim como todos os procedimentos construtivos adequados ao desenvolvimento da empreitada.

3. SOLUÇÃO NÃO TRADICIONAL PARA CAMADA DE LEITO DE PAVIMENTO APLICADA NA AMPLIAÇÃO E REQUALIFICAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS NAS ÁREAS OPERACIONAIS DO AEROPORTO DE FARO

Como referido anteriormente, ao nível de soluções para pavimentos estava preconizada uma solução para o leito de pavimento composta em agregado britado obtido em pedreiras com uma espessura de camada de 0,30 m, porém devido principalmente a motivos financeiros decidiu-se estudar outra solução, alternativa à prevista. Uma vez que o centro de produção dos materiais reciclados se encontrava muito próximo do local da empreitada, seria possível conciliar o baixo custo de transporte dos materiais com o preço de fornecimento do mesmo. Perante este cenário de possível poupança económica, passou-se então à fase seguinte, que seria avaliar as potencialidades do produto através de ensaios laboratoriais e propor à aprovação deste material ao Dono de Obra, neste caso, ANA,S.A. Após a comprovação da viabilidade da utilização deste material, a empresa adjudicatária obteve aprovação para substituir o material inicialmente previsto por reciclado. O qual passou a ser denominado por tout-venant reciclado (TV reciclado).

Neste capítulo procura-se dar especial enfoque à análise do material constituinte da camada de leito de pavimento que realmente foi aplicado no Aeroporto de Faro, ou seja, do TV reciclado. De seguida são fornecidos alguns dados relevantes relativos ao TV reciclado, nomeadamente das suas características, origem dos RCD, processo de transformação e produto final.

Dados importantes relativos ao TV reciclado:

- Material utilizado: TV reciclado arvela 0/31.5 mm (Adjudicatário, 2010);
- Fornecedor: Arvela, Lda. (Adjudicatário, 2010);
- Aplicação: Camada de Leito de Pavimento, Fundação do pavimento (MDJ, 2008);
- Espessura aplicada: 0,30 m (MDJ, 2008);
- Quantidade aplicada: 131.053,60 m² (Mapa de quantidades, 2008);
- Local: Pavimentos flexíveis e rígidos (Fig. n.º 1)

As figuras seguintes (n.º 3 e n.º 4), mostram o TV reciclado aplicado na camada de Leito de pavimento, em dois locais distintos da empreitada.



Figura n.º 3: Camada de leito de pavimento no Taxiways "F"



Figura n.º 4: Camada de leito de pavimento na Plataforma Estacionamento S2

A origem dos RCD's aplicados em obra foi o Centro de Valorização e Gestão de Resíduos Arvela, localizado no Pontal – Montenegro, localizado a aproximadamente 5 km do local da empreitada “Aeroporto de Faro”. De referir que a origem do material que aí se encontrava tinha diversas origens, uma vez que se tratam maioritariamente de produtos resultantes de diversas demolições e entulho de obras (figura n.º 5 e n.º 6). Identificar estes materiais, trata-se então de uma tarefa muito complicada, porque este centro de gestão de resíduos possui imensos clientes e cada cliente entrega entulho com características diferentes. São materiais muito heterogéneos constituídos por solos diversos, materiais cerâmicos, betão, plásticos, madeira, aço e papel, que depois da sua deposição no centro de Resíduos, passarão pelo devido processamento de reciclagem para se tornarem em materiais utilizáveis noutras indústrias.



Figura 5 – Stocks de RCD antes do processamento no Centro de Gestão de Resíduos Arvela



Figura 6 – Transporte de RCD antes do processamento no Centro de Gestão de Resíduos Arvela

A primeira etapa é a fase de seleção dos resíduos que possam ser britados e que podem ser utilizados como agregados, Figura n.º 7.



Figura 7 - Triagem manual

Após a seleção inicial, segue-se a fase da Redução Primária, este material dá entrada no equipamento primário de britagem, sofrendo depois uma redução na sua dimensão. A alimentação dos resíduos para o crivo primário é efetuada através de uma pá carregadora (Figura n.º 8), que faz o transporte e a deposição diretamente na britadeira.



Figura 8 - Redução Primária: Fornecimento dos resíduos na britadeira

Após esta primeira passagem pelo crivo da britadeira, o material passa por uma tapete, equipado por “imens”, que têm como objetivo retirar do agregado alguns vestígios de aço, que passaram despercebidos na fase da triagem (Figura 9).



Figura 9 - Tapete equipado com “imens”

A fase seguinte britagem ou britagem secundária, define-se já como o início da fase final, isto porque é nesta fase que se adquire as dimensões do produto final. Caso se pretenda um agregado mais fino, uma areia, o processo irá além de uma passagem na britadeira ou então de um crivo específico só para o fabrico de areia; caso se trate de um agregado mais grosso este passará apenas uma vez pelo crivo pretendido. Neste caso, como o agregado pretendido era o Tout-Venant – 0/31,5 mm, Figura n.º 10, apenas passou uma vez pela britagem secundária, já depois de ter ultrapassado a redução primária na primeira britadeira.



Figura 10 - Sistema de britagem

A última etapa deste processo é a peneiração do material, Figura n.º 11, esta operação permite rejeitar e retirar componentes que possuam uma granulometria superior ao previsto. A própria britadeira garante esta peneiração, porque possui na sua estrutura um peneiro para esse efeito, garantindo assim a granulometria desejada. O material produzido irá passar sobre o peneiro, sendo aquele que ultrapassa o crivo é designado de produto final (figura n.º 12), neste caso concreto denominado TV reciclado 0/31,5.



Figura 11 - Fase de Peneiração



Figura 12 - Produto Final – Tout-Venant reciclado 0/31.5

Terminado o processo de fabrico dos RCD's e de já se possuir um produto final, a fase seguinte é a de caracterizar o material antes de ser aprovado pela fiscalização e aplicado em obra. Neste caso o material que temos para caracterizar é um material equivalente ao Tout-venant para possível aplicação na camada de leito de pavimento. A designação do Agregado é: TOUT-VENANT RECICLADO ARVELA – 0/31,5; com Marcação CE. No anexo B encontra-se a ficha técnica deste produto reciclado.

Quanto à legislação referente ao aproveitamento de resíduos sofreu algumas alterações nos últimos anos, nomeadamente as que se descrevem a seguir. Numa primeira fase e para colmatar esta falha estrutural da gestão dos resíduos, verificou-se a criação de um regime jurídico próprio para o fluxo dos RCD, por via da publicação do atual Regime Geral de Gestão de Resíduos:

- Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro

Este salienta a criação do quadro legal para o Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos (SIRER), permitindo, deste modo, controlar a informação relativa a gestão de resíduos, nomeadamente de quantitativos e destinos dos resíduos produzidos a nível nacional. Relativamente à regulamentação da Gestão de RCD's obedece ao disposto em legislação específica:

- Decreto-Lei nº 46/2008, de 12 de Março

Este Decreto de Lei 46/2008 refere:

“Este regulamento estabelece o regime das operações de gestão de RCD, compreendendo a sua prevenção e reutilização e as suas operações de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação. Em tudo o que for omissivo o decreto-lei mencionado, em matéria de gestão de RCD, aplica-se o Decreto -Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, que institui o Regime Geral de Gestão de Resíduos. Das alterações introduzidas por via do Decreto-Lei nº 46/2008, destacam-se as seguintes:

- Possibilidade de reutilização de solos e rochas não contendo substâncias perigosas;
- Aplicação de mecanismos inovadores ao nível do planeamento (elaboração e execução do Plano de Prevenção e Gestão de RCD

no âmbito das obras públicas) e do registo de dados de RCD (obras particulares);

- Introdução de RCD em obra de acordo com as normas técnicas nacionais ou comunitárias;
- Emissão obrigatória de um certificado de recepção por parte do operador de gestão dos RCD.
- Definição de metodologias e práticas a adoptar nas fases de projecto e execução da obra que privilegiem a aplicação do princípio da hierarquia das operações de gestão de resíduos;
- Definição de requisitos técnicos mínimos para as instalações de triagem e fragmentação;
- Definição de uma guia de transporte de RCD, tendo em conta as especificidades do sector, de forma a obviar os problemas manifestados relativamente à utilização da guia de acompanhamento de resíduos, prevista na Portaria n.º 335/97, de 16 de Maio.”

A obrigatoriedade do cumprimento do regime da gestão de RCD resultante do diploma em causa está também presente no Código dos Contratos Públicos (CCP), e no Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação (RJUE), a Lei n.º 60/2007, de 4 de Setembro. Considera-se assim uma mais-valia, trazida pelo Decreto-Lei nº 46/2008 a forma como o licenciamento de obras particulares e a recepção de obras públicas se encontram obrigados a uma boa gestão dos RCD. Esta norma, leva a criação de mecanismos inovadores que permitem condicionar o início e conclusão das empreitadas, sempre em função de uma adequada gestão de resíduos. A incorporação de RCD em obra deve ser realizada de acordo com as normas técnicas nacionais e comunitárias aplicáveis, e de acordo com o caderno de encargos da empreitada. A Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2005), “Resíduos da Construção e Demolição” refere que:

“Na ausência de normas técnicas aplicáveis, são aplicadas as especificações técnicas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, relativas à utilização de RCD's nomeadamente em:

- Agregados reciclados grossos em betões de ligantes hidráulicos (E 471 – 2006);
- Aterro e camada de leito de infraestruturas de transporte (E 474 – 2006);

- Agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos (E 473 – 2006);
- Misturas betuminosas a quente em central (E 472 – 2006).”

Estas especificações do LNEC, são documentos que fornecem recomendações e estabelecem requisitos mínimos para a utilização de RCD em diversas aplicações. Nesta dissertação, apenas se vai referir o aproveitamento de RCD para a Camada de Leito de Pavimento. Ao nível de especificações LNEC, abrange apenas a E 474 - 2006 Guia para a Utilização de Resíduos de Construção e Demolição em Aterro e Camada de Leito de Infraestruturas de Transporte (este especificação encontra-se no anexo C deste trabalho).

Além destas especificações do LNEC, e das exigências do caderno de encargos, existe a NP EN 13242:2002+A1:2010, que terá sempre que ser considerada caso de serem de: “Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária”. Esta Norma especifica as propriedades dos agregados não ligados obtidos a partir do processamento de materiais naturais, artificiais ou reciclados para utilização em materiais não ligados e materiais tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária.

Especificamente para o caso de estudo desta dissertação, para a camada do leito de pavimento, o material ensaiado e proposto, possuía características que cumpriam com as especificações técnicas do caderno de encargos da obra. Para verificação, recorreu-se a um conjunto de normas e ensaios para testar a sua potencialidade, confrontando-os depois com os valores de referência exigidos pela legislação em vigor, ou seja, segundo especificação LNEC – E 474-2006, e segundo a NP EN 13242:2002+A1:2010.

O primeiro passo para aprovação do material a introduzir na obra, foi caracteriza-lo, para isso, segundo o Caderno de Encargos da empreitada foram efetuados os seguintes ensaios:

- Análise granulométrica de solos;
- Determinação de limites de consistência;
- Equivalente de areia;
- Compactação Proctor pesado;
- Determinação do CBR;
- Teor de água;
- Determinação de baridade e teor de água de campo.

Só depois de obtidos os resultados dessa caracterização (lista de ensaios referida anteriormente) é que foi possível confrontar com as exigências do caderno de encargos e das normas técnicas, para assim verificar se cumpre todos os requisitos mínimos. Após a aprovação do Material é considerado Aprovado, em caso negativo é considerado Material Não Aprovado. Após a aprovação inicial, o material depois de aplicado será novamente ensaiado. Não em laboratório, mas já no terreno como destino final. Os ensaios que condicionam as aprovações das camadas de solos, são normalmente dois, os ensaios de compactação e os ensaios de carga dos solos aplicados, respectivamente:

- Controlo de Compactação – Baridade e Teor em Água in situ - LNEC E 197;
- Ensaio de Carga com Placa - NLT 357.

3.1. – ENSAIOS REALIZADOS AO TV RECICLADO 0/31,5

Para uma definição mais completa e rigorosa do material reciclado utilizado, a seguir são apresentadas as características que o mesmo possuía. Como elementos justificativos, anexam-se os ensaios de caracterização para aprovação inicial, assim como ensaios que decorreram ao longo da empreitada, que visam a monitorização da qualidade na execução da camada de leito de pavimento. Entende-se por ensaios iniciais de um determinado produto, todos os ensaios necessários que visam a caracterização do material, antes da aprovação por parte do dono de obra.

Os ensaios realizados foram os estipulados no caderno de encargos e na especificação do LNEC E-474:2006. A seguir estão indicadas as respectivas normas e especificações.

Ensaio exigidos pelo caderno de encargos:

- Teor de humidade / Baridade seca máxima (LNEC E197-1966);
- Resistência à fragmentação (NP EN 1097-2: 2002);
- Resistência ao Desgaste (Micro-Deval) (NP EN 1097-1:2002);
- Equivalente de areia (NP EN 933-8: 2002);
- Azul metileno (NP EN 933-9: 2002);
- Índice de plasticidade (NP 143: 1969);

- Granulometria (NP EN 933-1: 2000).

Ensaio exigido devido à utilização de RCD's em camadas de aterro e leito de pavimento:

- Especificação LNEC E 474 – 2006.

No anexo D encontram-se todos os estudos e ensaios realizados ao produto estudado onde estão incluídos desde o tipo de materiais e proveniência até aos resultados finais dos mesmos. Este anexo apresenta os resultados efetuados pela empresa Alves Ribeiro, S.A e também o ensaio de Limites de Consistência pela empresa Tecnovia ao material reciclado Arvela. No quadro n.º 4, apresentam-se apenas os resultados dos ensaios cujos limites foram definidos no caderno de encargos e que aqui se comparam. Na parte inferior desta tabela, também está presente a classificação e campo de aplicação do material reciclado, segundo a norma LNEC E-474, norma não contemplada no Caderno de Encargos mas necessária, uma vez que se trata de um RCD.

Quadro n.º 4: Resumo dos ensaios realizados

Ensaio	Previsto no Caderno Encargos	RCD - Agregado reciclado Arvela	Observações
Índice de Plasticidade [NP 143-1969]	≤ 6	Não Plástico 1%	Verifica
Limite de liquidez [NP 143-1969]	≤ 25	Não Plástico 1%	Verifica
Equivalente de areia [NP EN 933-8: 2002]	≥ 30	56%	Verifica
Ensaio	RCD - Agregado reciclado Arvela		Observações
Caracterização do agregado segundo a norma LNEC E-474	Classificação: Classe B Categorias MAT1 e MAT2	Material constituído por mais de 90 % de betão	Poderá ser utilizado no Leito de pavimento e aterro

Após os ensaios iniciais de caracterização do material reciclado, conclui-se que o produto verifica as exigências do caderno de encargos da empreitada, assim como, a especificação LNEC E 474 – 2006. Possuindo assim créditos teóricos para a sua utilização em obra.

Pode-se dizer, que o uso de RCD na construção atual possui trunfos para que cada vez mais se acredite que é possível um desenvolvimento mundial sustentável a partir de materiais recicláveis.

Outros ensaios que foram realizados, foram os ensaios de monitorização, que são ensaios realizados durante a execução de uma empreitada, com o objetivo de acompanhar/controlar todos os procedimentos construtivos de todas as fases de uma obra. Nesta situação em concreto, e com o objetivo de reforçar a implementação dos RCD na construção, apresentam-se os ensaios realizados durante a execução da camada de leito de pavimento. Sendo que os ensaios mais usuais e mais demonstrativos e representativos do que realmente está a ser efectuado ao nível da camada de agregados, são os seguintes:

- Controlo de compactação Proctor – Especificação LNEC E197-1966 (Anexo E)
- Ensaio de carga con placa – Método NLT 357/98 (Anexo F)

Os ensaios de controlo de compactação servem para controlar os resultados obtidos, durante os trabalhos de compactação de um aterro numa empreitada, e podem ser divididos em duas fases:

- Antes da compactação – controlo da granulometria do material, os equipamentos a serem utilizados, a espessura da camada, a quantidade de água previstas.
- Depois da compactação – controlo é realizado através da comparação entre os resultados obtidos em terreno e os resultados obtidos em laboratório.

Ainda sobre o controlo efectuado após a compactação, importa referir que quando se fala em valores de compactação de um solo, pensamos no grau de compactação, valor expresso em percentagem (%). A Especificação LNEC E197 (1966), refere que este valor do grau de compactação (GC) é obtido através da relação entre o peso volúmico seco obtido no terreno e o peso volúmico seco retirado dos ensaios laboratoriais.

Sendo assim: $GC (\%) = \gamma_{\text{terreno}} / \gamma_{\text{lab}}$.

Atualmente, para se obter resultados imediatos sobre o grau de compactação de um solo no terreno, utilizam-se os equipamentos radioativos nucleares, ou simplesmente Troxler (figura n.º 13). Estes equipamentos determinam a humidade, baridade, % de compactação, índice de vazios e porosidade. Este aparelho funciona por reflexão, a 10 cm de profundidade e através de transmissão direta até 30 cm de profundidade. Tem ainda a vantagem de ser portátil, leve, simples e de fácil utilização.



Figura 13 – Troxler (Equipamento radioativo nuclear)

No quadro n.º 5, estão indicados os valores mínimos de compactação referidos no caderno de encargos a respeitar na execução da camada de leito de pavimento. Neste caso, independentemente da classificação do solo, o valor do grau de compactação era de 100%.

Quadro n.º 5: Valores mínimos de compactação para leito de pavimento (CE, 2008)

Classificação do Solo	Aterros/Altura		Leito do Pavimento (%)
	≤ 15 m	> 15 m	
A-1	95	95	100
A-3	100	100	100
A-2-4 e A-2-5	95	95	100

No anexo G, apresentam-se dois relatórios de ensaios do controlo de compactação realizados durante a execução da camada de leito de pavimento, onde surgem valores de índices referidos anteriormente, mais concretamente grau de compactação, baridade seca e teor de humidade. Após a análise dos relatórios do controlo de

compactação, conclui-se que os solos atingem na sua grande maioria os 100% de grau de compactação. Existem pontualmente valores de 98% e 99%, mas que não comprometem em caso algum a compactação e a resistência de suporte da camada analisada. Ultrapassada mais uma etapa de exigência ao nível da qualidade destes agregados, o TV reciclado Arvela 0/31,5 respondeu com sucesso.

Relativamente ao Ensaio de Carga com Placa, irão ser expostos relatórios de ensaios realizados. Neste ensaio, a partir das curvas cargas-assentamentos pode-se calcular o módulo da deformabilidade/compressão [E] e o módulo da reação [K].



Figura 14 – Ensaio de carga com placa

A carga na placa é aplicada usando-se um macaco hidráulico e um contrapeso, um camião pesado de transporte, como se verifica na figura n.º 14. No caso estudado, as exigências a nível de caderno de encargos e memória descritiva, para os solos de fundação dos pavimentos, mais concretamente na camada de leito de pavimento, eram as seguintes:

Caderno de Encargos (2008):

“Por cada 2.500 m³ de material executado deve o adjudicatário realizar um ensaio de carga com placa, segundo o procedimento NLT 357, para avaliar a conformidade da camada em termos do seu módulo EV2. A mistura, depois de compactada, deve atingir um módulo EV2, determinado in situ através do ensaio de carga com placa (segundo a norma NLT357): - em leito de pavimento: ≥ 80 ou ≥ 100 MPa”

Memória Descritiva (2008):

“Por forma a melhorar a capacidade de suporte de fundação, e a simplificar o processo construtivo, preconiza-se a preparação do leito dos pavimentos de modo a que os respetivos módulos de deformabilidade sejam de 100 MPa para as RETs 10 e 28 e de 80 MPa para os Twys E e F.”

Antes mesmo de apresentar os boletins de ensaios de placa, é importante referir a importância deste ensaio, pois é através dos valores da compressão de um solo, que se dimensionam as estruturas dos pavimentos aeroportuários, sendo este um índice onde não poderão ocorrer desvios, pondo assim em causa toda a utilização de uma super-estrutura aeroportuária. No anexo H, estão presentes dois relatórios de ensaios de carga com placa realizados durante a execução da camada de leito de pavimento, onde surgem valores de índices referidos anteriormente, mais concretamente valores de assentamentos, tensões aplicadas e módulos de deformabilidade. Após análise dos boletins de ensaio de placa, confirmam-se as boas indicações que o material agregado reciclado tinha até à altura demonstrado, ou seja, também neste ensaio o material foi aprovado, sendo este teste fulcral para aprovação da camada de leito de pavimento. Sendo que os valores de EV2, foram superiores a 80 e 100MPa, no boletim n.º 1/10 de 8 Jan.2010 foi 150MPa; e no boletim 9/10 de 28 de Jan.2010 também o valor de EV2 foi de 150MPa.

Após a constatação da viabilidade de aplicação destes material e respectiva aprovação por parte do Dono da Obra, este agregado reciclado foi assim aplicado, em substituição do material previsto inicialmente, nos pavimentos flexíveis e rígidos das diversas plataformas de trabalho ao nível do leito de pavimento, o mesmo será dizer, na fundação dos pavimentos.

4. METODOLOGIA ADOTADA

A partir das duas soluções consideradas para o Aeroporto de Faro, a tradicional com o uso de agregado convencional e a não tradicional com o uso de agregado reciclado, foram considerados fatores ambientais e económicos para efetuar uma comparação entre as duas soluções. Apesar de ter sido aplicada a solução não tradicional considera-se importante avaliar também a solução inicialmente prevista.

A metodologia adotada para a determinação dos fatores ambientais e fatores económicos baseou-se na consulta de documentos (lista abaixo discriminada). Além destes documentos foram ainda facultados preços unitários do TV tradicional e não tradicional, preço do transporte rodoviário dos agregados, procedendo-se depois ao cálculo das quantidades de material envolvidas na empreitada para as duas soluções. Sendo que a quantidade de agregados a aplicar na camada de leito de pavimento, para a empreitada do Aeroporto de Faro foi de 78.632,16 toneladas.

De entre os fatores ambientais, temos a determinação das emissões de CO₂ e o consumo de energia associado a todo o processo de execução da camada de leito de pavimento.

Para o cálculo destes dois fatores foram considerados os valores indicados nos seguintes documentos:

- Da dissertação de mestrado de Paulo Ferreira (2011) foram retirados os valores de CO₂ e Energia consumida no fabrico dos agregados das duas soluções;
- Do Code for sustainable Homes (2010) foram retirados os valores das emissões de CO₂ relativas ao transporte rodoviário dos agregados das duas soluções;
- De Berge, (2007), foram retirados os valores de Energia consumida no transporte rodoviário dos agregados das duas soluções.

Chama-se a atenção, que estes valores não se adequam 100% às situações aqui estudadas, mas que se consideram como muito aproximados.

Relativamente aos cálculos financeiros, mais concretamente nos custos de produção por tonelada dos dois materiais, foram considerados tanto os custos de transporte do material até à obra, como os de fornecimento do material. Os agregados reciclados são provenientes do Centro de valorização e gestão de resíduos de Arvela, localizado a 5 km da empreitada e os para os agregados convencionais consideraram-se as 3 pedreiras anteriormente referidas. Para o cálculo do valor por tonelada, foram utilizados os preços praticados pelas empresas à data da realização da obra, em 2010. Quanto ao preço do transporte, uma vez que é um preço condicionado pelos mercados dos combustíveis, foi considerado um valor aproximado à realidade, não sendo por isso um valor exatamente correto.

Para a solução tradicional e não tradicional vão ser efetuados os cálculos dos fatores atrás referidos e comparados, de maneira a avaliar a viabilidade no que diz respeito aos fatores ambiental e económico, ou não, da escolha adotada no Aeroporto de Faro.

Pretendem-se assim criar bases de conhecimentos e de valores obtidos em ensaios nas duas soluções atrás mencionadas, para que se consiga realizar uma análise comparativa entre as duas soluções.

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. SOLUÇÃO TRADICIONAL

Como já foi referido a solução tradicional era a que estava inicialmente prevista na empreitada para a camada de leito de pavimento.

Nos pontos 5.1.1 e 5.1.2 estão indicados todos os cálculos efetuados e respetivos resultados obtidos.

5.1.1 - EMISSÕES DE CO₂ E CONSUMO DE ENERGIA

Neste capítulo serão efetuados os cálculos das emissões de CO₂ e consumo de energia para a solução tradicional.

Quantos falamos em emissões de CO₂ numa empreitada, referimo-nos ao somatório de todas as atividades, diretas e indiretas, que libertam para a atmosfera dióxido de carbono, um dos gases libertados quando ocorrem explorações de combustíveis fósseis, afetando assim a camada de ozono do planeta. Atividades diretas de consumo de combustíveis fósseis, são todas as atividades realizadas dentro e fora do local da obra. Temos o exemplo do gasóleo que é consumido em transportes (camiões de transporte de terras e agregados dentro e fora do local da obra), em equipamento mecânico (betoneiras, escavadoras, dumpers, bulldozers, placas compactadoras, etc.), infraestruturas de apoio ao estaleiro e dormitórios (geradores e carrinhas de transporte de pessoal). Relativamente às atividades indiretas, são atividades externas à estrutura da obra e ao local de intervenção, na qual se adquirem bens materiais, e já

antes de serem adquiridos representam uma libertação de CO₂ provocado pela queima de combustíveis fósseis. Como exemplo, temos o combustível que é gasto para a extração e transformação dos recursos minerais para o fabrico de agregados como o TV que é utilizado nas infraestruturas rodoviárias. Assim como, a utilização de betão betuminoso numa empreitada, representam elevados consumos de combustíveis fósseis.

Dando seguimento ao que tem sido efectuado até aqui, irá ao longo desse trabalho, ter-se como única referência, a empreitada do Aeroporto de Faro. Sendo que esta empreitada fornece informação necessária para analisarmos as duas situações, a inicialmente prevista e a solução alternativa analisada neste ponto.

De referir que o procedimento construtivo de um ou de outro material não condiciona os valores de emissão de CO₂ nem os valores de energia dispendida, uma vez que os procedimentos construtivos são idênticos, por este motivo só interessa analisar o fabrico e transporte dos agregados para a obra.

Relativamente ao problema das emissões de CO₂, pretende-se agora apresentar os valores de CO₂ que surgem no processo de transformação dos RCD's em material granular britado convencional, e também no processo de transporte desde o local de fabrico até à obra.

Quanto aos valores de energia que irão ser expostos, traduzem a energia necessária para se produzir um determinado material de construção, assim como o seu transporte até ao local da empreitada.

O primeiro passo para o estudo das emissões de CO₂, será a recolha de dados no fabrico/transformação deste material reciclado. Os dados utilizados para este cálculo, apesar de serem de uma pedreira nacional, localizada em Évora, não serão 100% ajustáveis à solução adotada no aeroporto de Faro, uma vez que são de locais distintos com processos também diferentes. Mas que se consideraram como muito próximos da realidade ali existente.

Na memória descritiva e justificativa (2008) da empreitada faz-se referência a três explorações da região, pelo que serão efetuados os cálculos para as três. De seguida expõem-se os dados relevantes e um mapa com a localização das pedreiras (figura n.º 15).

- Identificação das pedreiras e sua localização:
 - Local A/P1 - Chã da Mula, Monchique – sienitos [a 82,3 km]

- Local A/P2 - Meia Viana, Monchique – sienitos [a 82,3 km]
- Local C/P3 - Barranco dos Mouros, Castro Marim – Grauvaques [a 58,5 km]
- Local B – Aeroporto de Faro, local da empreitada

- Distância entre pedreiras e obra
 - Trajeto Azul – Local A até local B – 82,3 Km
 - Trajeto Vermelho – Local C até local B – 58,5 Km



Fig. 15 - Localização e distâncias das pedreiras ao Aeroporto de Faro

Os dados para o fabrico de tout-venant convencional, foram obtidos a partir de Ferreira (2011) e encontram-se no Quadro n.º 6.

Quadro n.º6: Emissão de CO₂ no fabrico de agregados convencionais

Fabrico Material	Emissões de CO ₂ [kgCO ₂ /ton]
Agregados britados convencionais	3

Quanto às emissões de CO₂ por tonelada, relativo ao transporte, foi considerado o valor indicado no Quadro n.º 7 (Code for sustainable Homes, 2010). De referir que para o cálculo de emissões no transporte está incluindo o trajeto de ida e de volta à pedreira.

Quadro n.º 7: Emissões de CO₂ no transporte de agregados convencionais

Transporte Material	Emissões de CO ₂ [kgCO ₂ /km]
Pesado de transporte >33ton	0,929

Para o fabrico e transporte dos agregados convencionais obtiveram-se os resultados indicados no Gráfico n.º 1, considerando as emissões de CO₂ para as 3 pedreiras. Todos os cálculos justificativos encontram-se no anexo I.

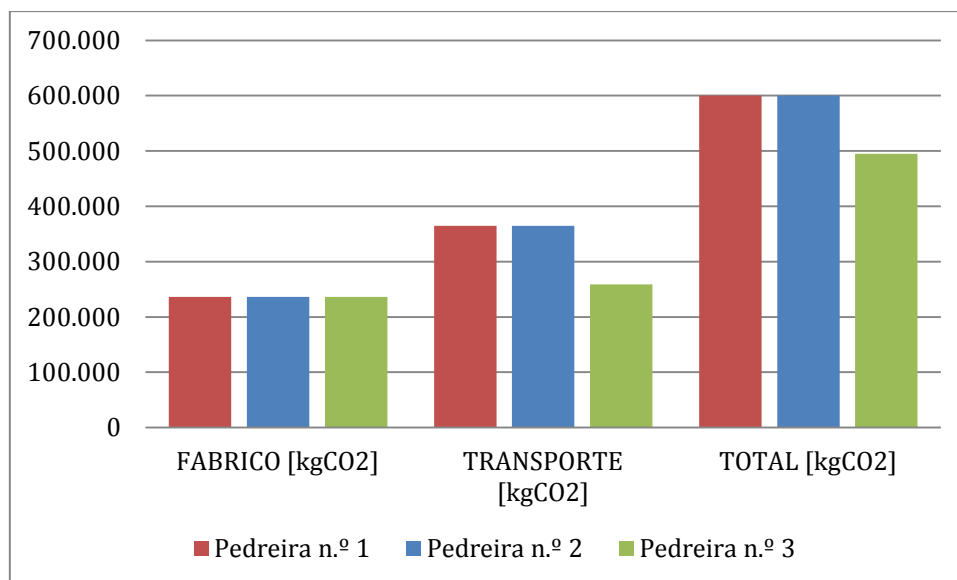


Gráfico n.º 1: Agregados britados convencionais – Emissão de CO₂

Os dados utilizados para o cálculo de valores da Energia dispendida no fabrico dos agregados britados convencionais, foram obtidos a partir de Ferreira (2011) e estão expostos no quadro seguinte (n.º 8).

Quadro n.º 8: Energia consumida no fabrico de agregados convencionais

Fabrico Material	Energia [MJ/ton]
Agregados britados convencionais	52

Recorreu-se também aos valores de Berge, (2007), apresentados no quadro seguinte n.º 9. Para o cálculo da energia no transporte, também foram considerados os trajetos de ida e volta.

Quadro n.º 9: Energia consumida no transporte de agregados convencionais

Transporte Material	Energia [MJ/km]
Pesado de transporte >33ton	1,6

Depois de apresentados os valores unitários para a Energia consumida total na atividade leito de pavimento, apresenta-se um gráfico resumo dos valores aferidos considerando as três explorações de agregados virgens. Junta-se em anexo todos os cálculos justificativos deste gráfico n.º 2 no anexo J.

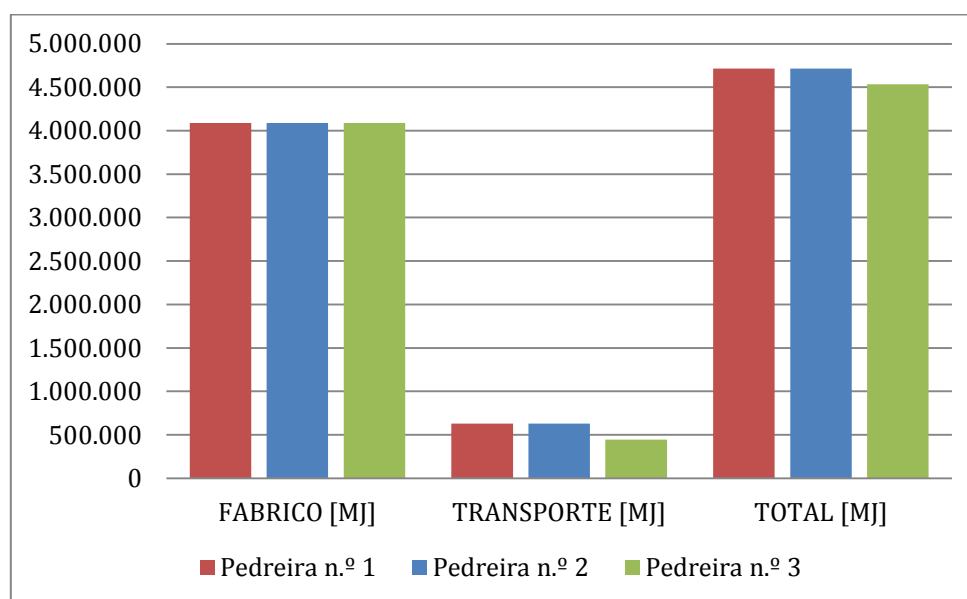


Gráfico n.º 2: Agregados britados convencionais – Energia consumida

5.1.2 – CUSTOS DE PRODUÇÃO

Para este cálculo, não foram considerados os custos do espalhamento e compactação dos agregados, assim como, todos os trabalhos preparatórios, sendo este factor nulo

para a análise que será efetuada no comparativo financeiro, já que seria igual para todas as situações.

Para o cálculo do valor total por tonelada consideraram-se também as três pedreiras (P1, P2 e P3), sendo que o preço do material nas três pedreiras é idêntico, quadro n.º 10.

Quadro n.º 10: Preço/ton de agregados convencionais

Pedreira	Material	Preço Uni. [€/ton]
P1; P2 e P3	Tout-venant	5,00

O preço considerado pelo adjudicatário na data da obra foi de 5,00€/ton “à boca da central”, quer isto dizer que é apenas o fornecimento do material sem transporte para a obra, logo a este preço acresce o valor do transporte à tonelada, que será calculado mais à frente. O custo do transporte de um agregado ou de um simples movimento de terras, está relacionado diretamente com o gasto de combustível que é consumido num trajeto de ida e volta, daí o preço final do transporte ser um preço com bastantes oscilações, devido às alterações do mercado petrolífero. Além do combustível, existem muitos outros fatores que condicionam o preço final do transporte, e são eles: o tipo de pesado envolvido no frete, se o trajeto é efetuado em rodovias que possuem portagens, a quantidade que cada camião consegue suportar, a velocidade média que o pesado atingirá, o tempo em trânsito, o tempo de carga e descarga, veículos envolvidos para o transporte. O cálculo do custo do transporte por tonelada, foi efectuado através de uma folha de cálculo *excel*, fornecida pelo adjudicatário, e encontra-se no anexo L. De referir que o custo direto (fixo) do preço do transporte é de aproximadamente 1,30€/ton para este caso, sem se considerar custo da distância do transporte, ou seja, sobre este adiciona-se ainda o custo variável do percurso de ida e volta. De seguida apresenta-se um mapa comparativo (quadro n.º 11) com o custo do transporte de tout-venant das três pedreiras ao aeroporto de Faro. No cálculo do custo do transporte, é sempre considerado o trajeto total, ou seja, ida e volta, neste caso distância do local da obra à pedreira a duplicar.

Quadro n.º 11: Comparativo custo de transporte das pedreiras à obra

Origem	Destino Final	Distância [km]	Custo transporte [€/ton]
P1 Monchique	Aeroporto Faro	82,3	7,00
P2 Monchique	Aeroporto Faro	82,3	7,00
P3 Castro Marim	Aeroporto Faro	58,5	5,50

Tal como em muitos mapas comparativos com várias propostas, o parâmetro analisado e o único que se têm em conta é o do preço mais baixo. Para o empreiteiro, ou adjudicatário este também é o principal factor a ter em conta, uma vez que é o seu interesse realizar poupanças económicas em todos os itens da empreitada.

Na análise do mapa comparativo, verifica-se que a P3, a que se encontra mais próxima do local da obra, representa o menor custo de transporte. Ou seja, a ilação retirada desta questão é simples de compreender, quando mais próximo estiver o fornecedor de agregados, mais garantias nos dá de obter um valor mais baixo para o transporte.

Após a decomposição do custo total do transporte de agregado britado para a obra do Aeroporto de Faro nos pontos anteriores, é agora a fase em que é realizado o somatório dos custos destas atividades. Ou seja, o custo do fabrico do tout-venant e o preço do transporte. No quadro n.º 12, apresentam-se os custos totais por tonelada para cada uma das pedreiras.

Quadro n.º 12: Comparativo custo final tonelada entre pedreiras

Origem	Destino Final	Preço tout-venant [€/ton]	Preço Transporte [€/ton]	Preço Total [€/ton]
Pedreira N.º - 1 Monchique	Aeroporto Faro	5,00	7,00	12,00
Pedreira N.º - 2 Monchique	Aeroporto Faro	5,00	7,00	12,00
Pedreira N.º - 3 Castro Marim	Aeroporto Faro	5,00	5,50	10,50

Após os resultados obtidos, verifica-se que o preço mais económico, está associado à exploração mineral mais próxima da empreitada, neste caso a P3, localizada a 58,5 km. Além da proximidade, tem aliado o factor preço à tonelada, o que torna este valor o mais baixo das três situações, ou seja, 10,50 €/ton.

Para se obter o preço final para a atividade da camada de leito de pavimento considerando materiais convencionais previstos para a empreitada, basta multiplicar o valor unitário pela quantidade e obtêm-se os seguintes valores da tabela n.º 13.

Quadro n.º 13: Comparativo custo final total entre pedreiras

Material Proveniente	Unidade	Quantidade	Preço Uni. [€/ton]	Preço Total [€]
Pedreira N.º - 1 Monchique	ton.	78 632,16	12,00	943 585,92
Pedreira N.º - 2 Monchique	ton.	78 632,16	12,00	943 585,92
Pedreira N.º - 3 Castro Marim	ton.	78 632,16	10,50	825 637,68

5.2. SOLUÇÃO NÃO TRADICIONAL

5.2.1 – EMISSÕES DE CO₂ E CONSUMO DE ENERGIA

Neste capítulo serão abordados os principais consumos de CO₂ e Energia consumidas por tonelada de produção de tout-venant reciclado utilizado na empreitada Aeroporto de Faro.

Então, para o fabrico de RCD, apresentam-se os valores de emissão de CO₂ por cada tonelada de material reciclado, sendo que os valores no processo de fabrico são idênticos aos materiais reciclados, quadro n.º14 (Ferreira, 2011).

Quadro n.º 14: Emissão de CO₂ para a produção de agregados reciclados

Fabrico Material	Emissões de CO ₂ [kgCO ₂ /ton]
Agregados britados reciclados	3

Quanto às emissões de CO₂ por tonelada, relativo ao transporte, com o trajeto entre a empresa transformadora de resíduos e o local de obra, foi considerado o valor do quadro n.º 15 (Code for Sustainable Homes, 2010).

Quadro n.º 15: Emissão de CO₂ devidas ao transporte de agregados reciclados

Transporte Material	CO ₂ [kgCO ₂ /km]
Pesado de transporte >33ton	0,929

Após o somatório das atividades, fabrico e transporte de materiais reciclados, considerando as quantidades envolvidas na empreitada, assim como a distância entre

a obra e o fornecedor, conseguiu obter os valores das emissões de CO₂ na atividade leito de pavimento da empreitada (gráfico n.º 3; Anexo M).

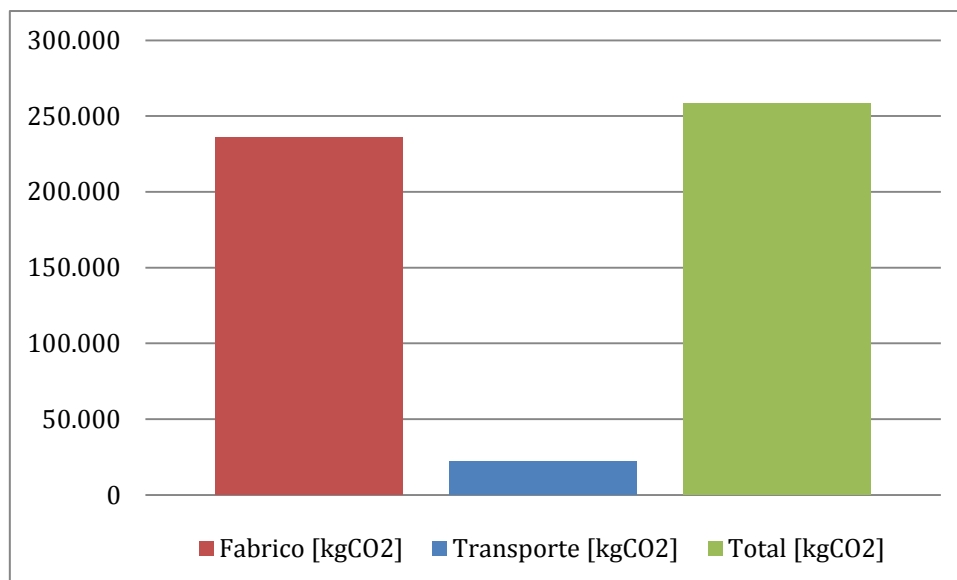


Gráfico n.º 3: RCD – Emissão de CO₂

Após a apresentação dos valores das emissões de CO₂, aborda-se de seguida para as mesmas atividades, fabrico e transporte de RCD, os consumos de energia envolvidos nestes processos. Os dados utilizados para o cálculo de valores da Energia dispendida no fabrico dos RCD, foram obtidos por Ferreira (2011).

Quadro n.º 16: Energia consumida no fabrico de agregados reciclados

Fabrico Material	Energia [MJ/ton]
Agregados britados reciclados	42

Relativamente aos valores de energia consumidos no transporte dos agregados reciclados, foram utilizados os dados de Berge, (2007), quadro n.º 9.

Utilizando a mesma metodologia adotada para os valores totais das emissões de CO₂ da empreitada do Aeroporto de Faro, para a Energia consumida total na atividade leito de pavimento, apresenta-se um gráfico resumo dos valores aferidos. Junta-se em anexo todos os cálculos justificativos deste gráfico no anexo N.

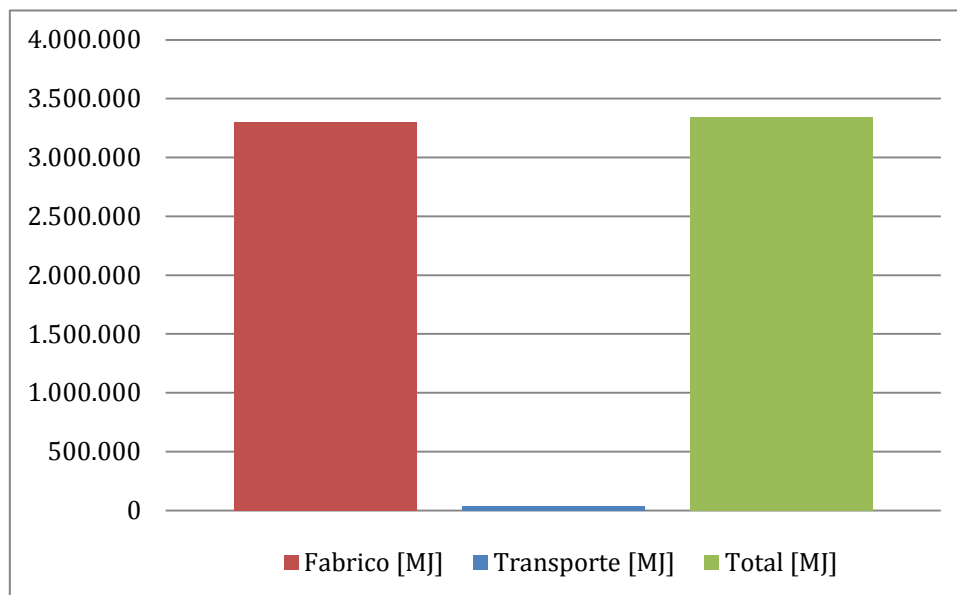


Gráfico n.º 4: RCD – Energia consumida

5.2.2 – CUSTOS DE PRODUÇÃO

Neste capítulo serão avaliados os custos de produção que envolvem a atividade, leito de pavimento, isto é, o fornecimento e o transporte do material até ao local da empreitada. Na atividade do fornecimento de material, incluem-se as operações de fabrico/transformação de RCD em tout-venant reciclado.

Tal como no ponto n.º 5.1.2, ao custo total por tonelada, não será considerado o custo da aplicação do material, ou seja, espalhamento e compactação do material. Estes processos são idênticos para qualquer material envolvido.

No fornecimento do material reciclado está incluído o valor que a empresa adjudicatária terá de pagar à empresa para adquirir o material desejado, neste caso o tout-venant reciclado. Significa então que a empresa transformadora de RCD, tem imputados todos os custos inerentes ao fabrico do material, e é este o valor que vai

ser reportado neste ponto do trabalho. De referir ainda, que o preço a pagar na pedreira pelo adjudicatário será o preço de fabrico do material mais a margem de lucro da empresa transformadora de resíduos.

Para o cálculo do valor total por tonelada consideram-se os preços da empresa de gestão de resíduos Arvela, Lda, localizada a apenas 5 km da empreitada, expressos no quadro n.º 17.

Quadro n.º 17: Preço/ton de agregados reciclados

Arvela, Lda	Material	Preço Uni. [€/ton]
Centro de Produção da Torre	Tout-venant 0/31,5 reciclado	2,00

O preço considerado é de 2,00€/ton² “à boca da central”, preço que será cobrado apenas para a sua aquisição, faltando somar a este o valor o do transporte até à empreitada.

O preço do transporte condiciona fortemente o preço final de um agregado, assim como o preço do agregado, mas sem um peso tão forte como a distância entre a pedreira e o local de descarga em obra.

Nesta situação, o material reciclado tem vantagem nestas duas questões, local de fornecimento de tout-venant muito próximo do local da empreitada, e um preço relativamente baixo comparativamente ao material virgem das pedreiras.

O valor do transporte por tonelada está indicado no quadro n.º 18, considerando o centro de gestão de resíduos Arvela, Lda como local de fornecimento.

Quadro n.º 18: Preço/ton transporte de agregados reciclados

Origem	Destino Final	Distância [km]	Custo transporte [€/ton]
Torre - Arvela, Lda	Aeroporto Faro	5	1,40 ³

Após a aferição dos custos totais do tout-venant, ou seja, o custo do fabrico do tout-venant e o preço do transporte, resta agora obter a soma destas atividades, para se conhecer o preço final da atividade.

² Preço praticado em 2010 pela empresa Arvela, Lda

³ Preço de transporte facultado pela empresa Adjudicatária

Também para este cálculo, foi suprimido o valor da atividade “Execução da camada de leito de pavimento”, por ser um procedimento construtivo idêntico na utilização de qualquer um destes materiais analisados neste trabalho de dissertação.

De referir que com este custo incluído, estariam assim todos os custos considerados na atividade “Execução da camada de leito de pavimento”.

De seguida (quadro n.º 19), apresenta-se o valor final do tout-venant reciclado por tonelada, considerando todos os custos envolvidos.

Quadro n.º 19: Preço/ton fornecimento + transporte de agregados reciclados

Origem	Destino Final	Preço tout-venant [€/ton]	Preço Transporte [€/ton]	Preço Total [€/ton]
Torre - Arvela, Lda	Aeroporto Faro	2,00	1,40	3,40

Sendo assim, o preço final do artigo de Leito de pavimento, sem considerar a sua aplicação, é de:

- Preço final: Quantidade x preço uni = 78 632,16ton x 3,40 €/ton = **267 349,34€**

De referir que o preço do transporte inclui o trajeto de ida e de volta.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste ponto do trabalho, irão ser expostos todos os resultados obtidos das duas soluções, a solução adotada e a solução tradicional, avaliando assim o impacto da solução tradicional, caso se optasse por cumprir o estipulado inicialmente. Os resultados apresentados e que serão alvo de comparação, referem-se aos aspetos analisados nos capítulos anteriores, ou seja, ambiental e económico.

Quanto à análise comparativa ambiental, irão ser analisados as emissões de CO₂, e a energia incorporada, para as duas soluções estudadas.

Relativamente às emissões de CO₂, é possível ver no Gráfico n.º 5 os valores para as duas soluções.

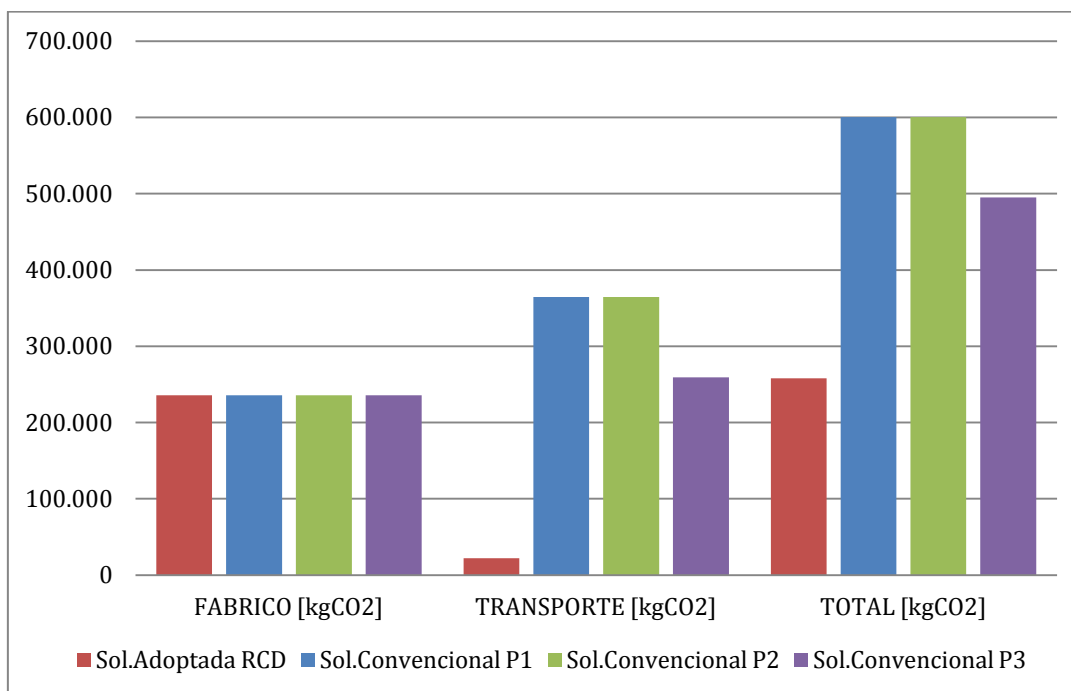


Gráfico n.º 5: Emissões de CO₂ para a solução adotada e convencional

O Gráfico n.º 5 revela que a solução adotada na empreitada, através da introdução de RCD é a melhor solução sob o ponto de vista de emissões de CO₂, comparativamente à solução convencional prevista na empreitada. Sendo o transporte do material até ao local da obra o processo que se destaca mais devido à grande diferença de distância dos itinerários.

Por sua vez, através do Gráfico n.º 6 verifica-se que a solução convencional é a que tem mais consumo de energia tanto no fabrico como no transporte dos agregados. No que diz respeito ao transporte, a solução adotada representa sempre melhor que a solução convencional, o que se justifica pela maior proximidade da central de reciclagem de RCD com o local da obra. Globalmente a solução adotada representa danos menores no ecossistema.

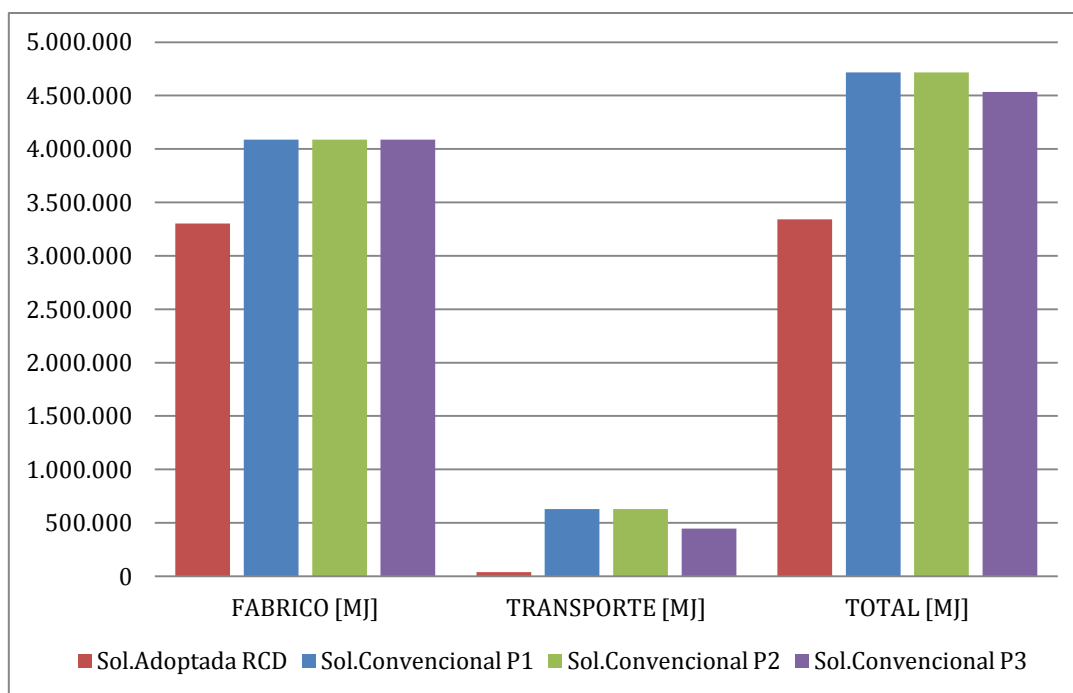


Gráfico n.º 6: Consumos de energia para a solução adotada e convencional

Em termos de custos verifica-se no Gráfico n.º 7 que a solução adotada é claramente a mais económica, com uma diferença superior a 500 000 €. A forma mais fácil de baixar os custos das soluções convencionais é reduzir a despesa afectada ao transporte, a qual só será possível se houver pedreiras mais próximas do local da obra.

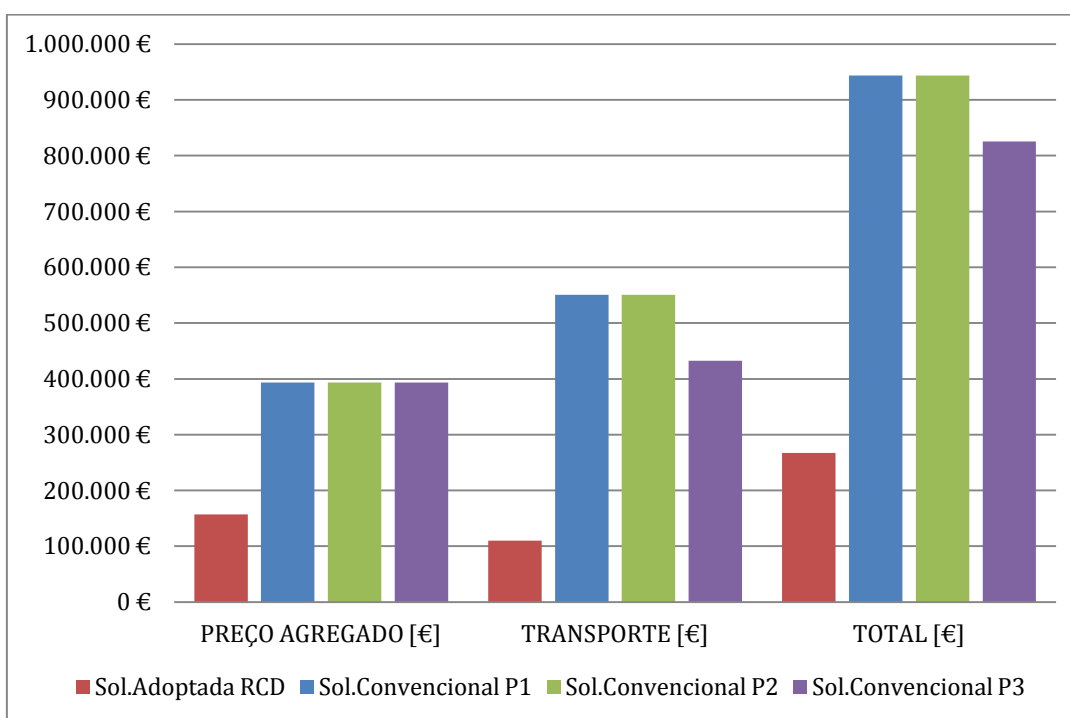


Gráfico n.º 7: Custo de produção por tonelada da solução adotada e convencional

Quanto à solução adotada, principal alvo deste estudo, verifica-se que sob o ponto de vista ambiental, mais concretamente na análise das emissões de CO₂ e energia dispendida, esta solução representa índices mais baixos relativamente à solução inicialmente prevista com materiais virgens. Significa isto, que a solução adotada, poderá representar para o meio ambiente uma mais-valia, garantindo assim uma maior sustentabilidade nos processos construtivos desta infraestrutura aeroportuária. Claro que os RCD terão que atingir sempre os requisitos mínimos exigidos para este material. Neste caso, a solução tradicional, sob o ponto de vista ambiental ficará associada a valores mais elevados, sinónimo de maior ameaça para o meio ambiente, não sendo aconselhável a utilização destes materiais. Sob o ponto de vista económico, a solução mais económica é a solução adotada, isto porque a matéria-prima (RCD) é mais barata e devido ao transporte, derivado da curta distância entre o local de fornecimento e o local da empreitada.

A solução tradicional prevista inicialmente na empreitada do Aeroporto de Faro, traduz um valor muito mais elevado, em relação à solução adotada, isto porque inclui processos mais complexos, que necessitam de equipamento e mão-de-obra especializada na obtenção de agregados minerais virgens, assim como, na tarefa de mobilização destes materiais para a obra, uma vez, que as pedreiras referenciadas apresentam-se a uma distância considerável do Aeroporto de Faro. Pode-se dizer que estes dois aspetos (ambiental e económico) estão proporcionalmente ligados, uma vez que quanto menor é o consumo de recursos naturais, também menores serão os custos financeiros e, vice-versa.

De um modo geral, nas empreitadas o factor económico tem um peso muito superior ao aspeto ambiental e também à qualidade, mas nesta dissertação foi possível provar que a utilização de material reciclado é perfeitamente viável em obras aeroportuárias. Em que o agregado reciclado cumpriu os requisitos mínimos em termos de qualidade e por sua vez, mostrou ter um melhor desempenho em termos ambientais e económicos. Pode-se concluir que a solução adotada no Aeroporto de Faro foi a adequada.

Além desta análise, decidiram-se considerar também as seguintes situações:

1. Caso se verificasse o inverso na localização das pedreiras de agregados convencionais e da central de reciclagem, que resultado teríamos;
2. A partir de que distância deixa a solução dos agregados reciclados de ser viável;

3. Supondo que a pedreira de agregados convencionais estava localizada a 5 km, a que distância tinha de estar localizada a central de reciclagem dos RCD, para se tornar viável economicamente.

Para estas três situações, irão ser avaliados os parâmetros: financeiro, emissões de CO₂ e consumo de energia.

Situação 1:

Caso se verificasse o inverso na localização das pedreiras de agregados convencionais e da central de reciclagem, que resultado teríamos.

Neste caso, a situação é invertida no que diz respeito à localização da pedreira (P3) e central de reciclagem, sendo que será a pedreira P3 a ficar mais perto do local da obra.

Na análise financeira, verificou-se que os agregados reciclados teriam um custo de 7,50 €/ton, enquanto que os convencionais têm um custo de 6,40 €/ton, visualizar quadro n.º 20. Pode-se dizer que a proximidade dos agregados convencionais torna esta solução viável economicamente.

Quadro n.º 20: Preços/ton de fornecimento e transporte de agregado reciclado e de agregado convencional para Situação n.º 1

Custo unitário por ton.	Agregados reciclados a 58,5km	Solução convencional a 5km
PREÇO À BOCA DA CENTRAL [€/ton]	2,00	5,00
TRANSPORTE [€/ton]	5,50	1,40
TOTAL [€/ton]	7,50	6,40

Do ponto de vista das emissões de CO₂ verifica-se que também a solução convencional é a mais sustentável, Gráfico n.º 8.

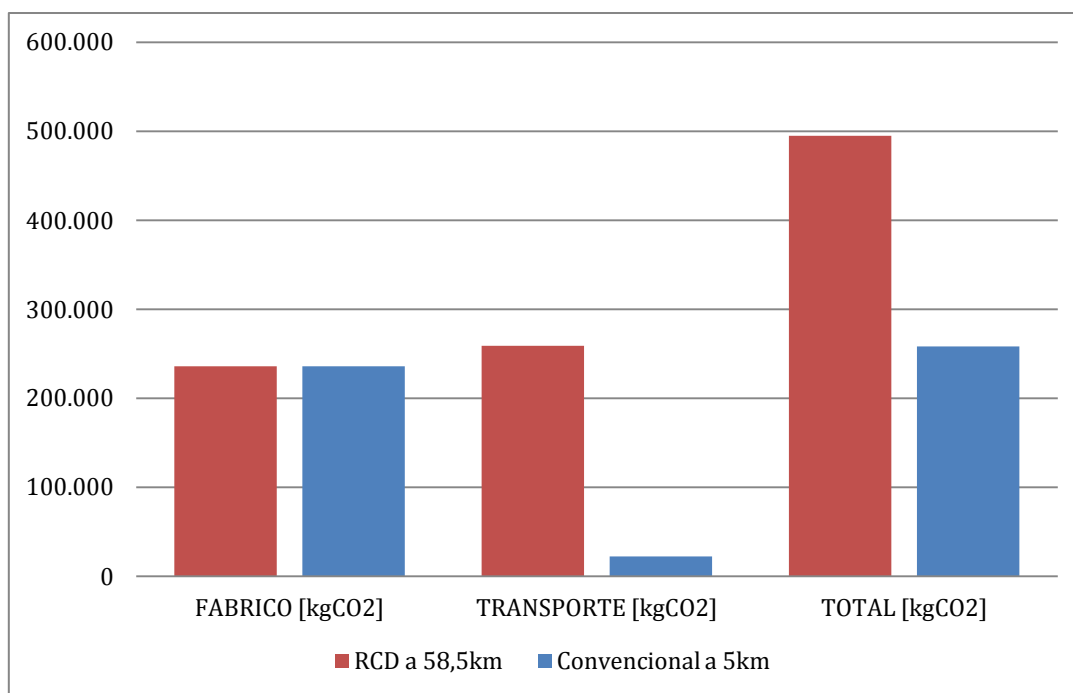


Gráfico n.º 8: Emissões de CO₂ para a Situação n.º 1

Relativamente aos consumos de Energia a situação inverte-se em relação ao consumo de CO₂. Pois neste caso a situação de aquisição de RCD a 58,5km corresponde a menor consumo de energia, Gráfico n.º 9.

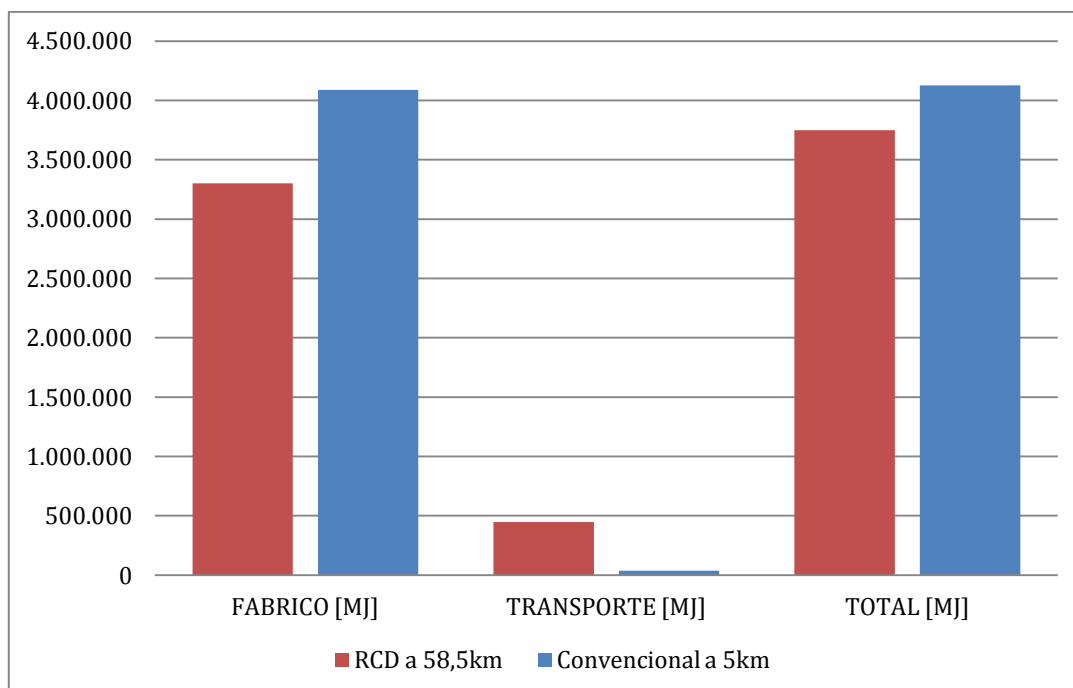


Gráfico n.º 9: Consumo de energia para a Situação n.º 1

Após a apresentação de resultados, verifica-se que a sob o ponto de vista financeiro, é mais económica a solução convencional, em detrimento da solução reciclável. Deve-se à grande diferença do preço de transporte de um e outro trajeto, uma vez que o preço dos agregados reciclados é muito inferior ao material convencional. No que diz respeito às emissões de CO₂, acompanha os resultados obtidos na análise acima feita, ou seja, uma distância mais longa irá provocar maiores emissões de CO₂. Em relação à análise de consumo de energia, verifica-se que a opção reciclável é a mais favorável. Contrariando assim os outros fatores anteriormente analisados. Os cálculos justificativos da Situação n.º 1 encontram-se no anexo O.

Situação 2:

A partir de que distância deixa a solução dos agregados reciclados de ser viável.

Interessam analisar duas situações distintas que são: atividades de fabrico e transporte dos agregados reciclados (considerando ida e volta); e fabrico e transporte dos agregados convencionais (também ida e volta). No caso dos materiais convencionais a distância a considerar é a que tinha inicialmente a pedreira que estava mais próxima, ou seja, a P3, que estava a 58,5 km.

Para a análise financeira, foi considerado que os preços dos agregados se teriam de manter, logo, os preços de fabrico e transporte dos agregados reciclados teria de ser superior a 10,50 €/ton, Quadro 21. Tal situação só ocorre quando a central de reciclagem se encontra a uma distância superior a **100 km**, como se pode ver no Quadro 21.

Quadro n.º 21: Preços/ton de fornecimento e transporte de agregado reciclado e de agregado convencional para a Situação n.º 2

Custo unitário por ton.	RCD localizados a 100 km	Solução convencional P3 - Pedreira mais próxima a 58,5 km
PREÇO À BOCA DA CENTRAL [€/ton]	2,00	5,00
TRANSPORTE [€/ton]	8,50	5,50
TOTAL [€/ton]	10,50	10,50

No que diz respeito às emissões de CO₂, foi efetuada uma análise semelhante, sendo que o total das emissões de CO₂ não poderia ultrapassar o valor de 494.928,58 kg/CO₂. Uma vez que os valores de emissões de CO₂ utilizados neste trabalho são idênticos para as duas soluções (RCD e convencional) na fase de fabrico e de transporte, a distância no transporte de RCD, não poderá ser superior à localização da pedreira convencional. Sendo que o valor de CO₂ é ultrapassado quando a central de reciclagem está a mais de 58,5 km do local da obra. Nos consumos de energia, procurou-se também aferir até que distância seria benéfico a aquisição de RCD, nunca ultrapassando o consumo total de energia dos materiais convencionais de 4.534.969,92 MJ. Nos cálculos realizados, até uma distância de 161 km do local da obra, poderá obter-se pela aquisição de RCD, Gráfico n.º 10.

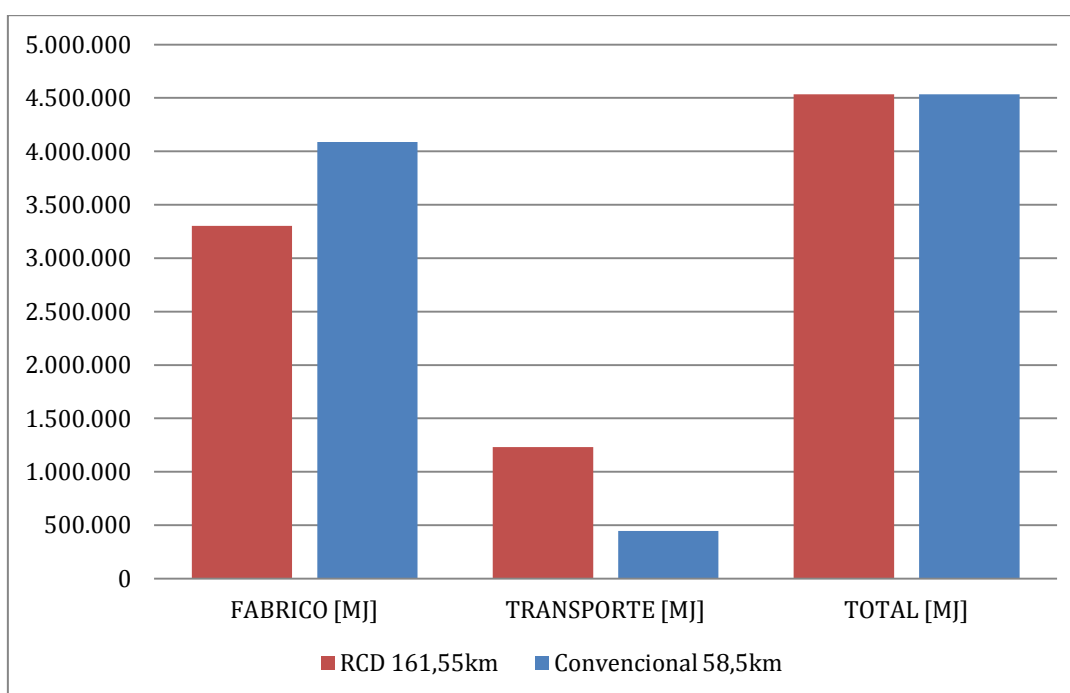


Gráfico n.º 10: Consumo de energia para a Situação n.º 2

Verifica-se que a nível financeiro, a solução da aquisição de RCD até um raio de 100 km ainda se torna viável, a partir dessa distância, já não compensará. Porém a nível ambiental e mais concretamente para as emissões de CO₂, só irá compensar até um raio de 58,5 km; relativamente ao consumo de energia, compensará adquirir RCD até um raio de 161 km. Os cálculos justificativos da Situação n.º 2 encontram-se no anexo P.

Situação 3:

Supondo que a pedra de agregados convencionais estava localizada a 5 km, a que distância tinha de estar localizada a central de reciclagem dos RCD, para se tornar viável economicamente

Nesta situação pretende-se avaliar a que distância teria de estar a central de reciclagem para que deixasse de ser sustentável, tendo a pedra P3 a apenas 5 km do local da obra.

Para a análise financeira, foi considerado que os preços dos agregados se teriam de manter, logo, os preços de fabrico e transporte dos agregados reciclados teria de ser superior a 6,40 €, Quadro 23. Tal situação só ocorre quando a central de reciclagem se encontra a uma distância superior a 45 km, como se pode ver no Quadro 22.

Quadro n.º 22: Preços/ton de fornecimento e transporte de agregado reciclado e de agregado convencional para situação n.º 3

Custo unitário por ton.	Agregados reciclados a 45 km	Solução convencional a 5km
PREÇO À BOCA DA CENTRAL [€/ton]	2,00	5,00
TRANSPORTE [€/ton]	4,40	1,40
TOTAL [€/ton]	6,40	6,40

No que diz respeito às emissões de CO₂, foi efetuada uma análise semelhante, sendo que o total das emissões de CO₂ não poderiam ultrapassar o valor de 258 034,55 kg/CO₂. Verificou-se que o valor é ultrapassado quando a central de reciclagem está a

mais de 5 km do local da obra. Situação idêntica à anterior, como os valores de emissão de CO₂ tanto no fabrico como no transporte são iguais, a distância terá que ser rigorosamente a mesma para que seja viável o aspeto ambiental. Relativamente aos consumos de energia, tal como na situação 2 procurou-se saber qual distância limite para a aplicação RCD, até um valor de consumo total de energia dos materiais convencionais de 4 127 000 MJ. Assim através dos cálculos, até uma distância de 108 km do local da obra, poderá obter-se pela aquisição de RCD, Gráfico n.º 11.

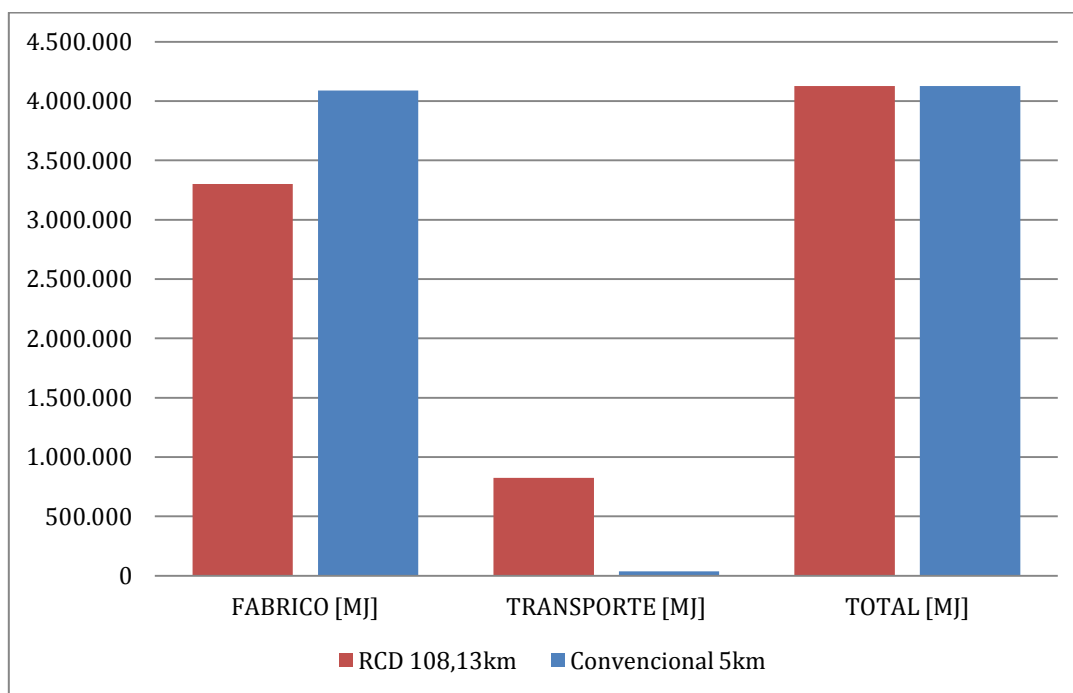


Gráfico n.º 11: Consumo de energia para a Situação n.º 3

Verifica-se que a nível financeiro, a solução da aquisição de RCD até um raio de 45 km ainda se torna viável, a partir dessa distância, já não compensará. Porém a nível ambiental e mais concretamente para as emissões de CO₂, só irá compensar até um raio de 5 km. A nível de consumos de energia, verificou-se que até uma distância de 108 km ainda compensará a aquisição de RCD. Os cálculos justificativos da Situação n.º 3 encontram-se no anexo Q.

7. CONCLUSÕES FINAIS

Do decurso do presente trabalho podem ser tiradas as seguintes conclusões:

1. Cumprindo toda a legislação em vigor, é possível aplicar RCD em camadas de leito de pavimento na obra aeroportuária analisada no caso de estudo;
2. O aproveitamento de RCD mostrou ser a solução mais adequada para este caso de estudo;
3. A análise ambiental deste caso de estudo revelou que o uso de RCD nesta obra aeroportuária consegue uma redução de 48% de emissões de CO₂, comparativamente às soluções convencionais;
4. A análise ambiental deste caso de estudo revelou que o uso de RCD na obra do Aeroporto de Faro traduz-se numa redução de 26% de energia, comparativamente às soluções convencionais;
5. Sob o ponto de vista económico, a solução adotada representa uma redução de 68% em relação à solução inicialmente prevista, levando a uma poupança superior a 500 000€;
6. De acordo com as 3 situações complementares estudadas, pode-se dizer que sempre que as pedreiras se encontrem mais próximas da obra em 40 km do que as centrais de reciclagem, não compensará sob o ponto de vista financeiro a solução de agregados reciclados;
7. De acordo com as 3 situações complementares estudadas, pode-se dizer que sempre que as pedreiras se encontrem mais próximas da obra do que as centrais de reciclagem, não compensará sob o ponto de vista das emissões de CO₂ a solução de agregados reciclados.
8. De acordo com as 3 situações complementares estudadas, pode-se dizer que os consumos de energia são idênticos, mesmo quando as centrais de reciclagem se encontraram mais distantes do que as pedreiras;
9. Na aplicação de RCD provou-se que não são necessários equipamentos específicos para a sua colocação, o que não incrementa um valor extra na obra;

TRABALHOS FUTUROS

Dando continuidade ao presente trabalho, considerar o mesmo material reciclado RCD, para aplicação em camadas de base e sub-base da estrutura de um pavimento aeroportuário, neste caso Aeroporto de Faro. Avaliando as suas potencialidades, benefícios ambientais e económicos, e executar uma análise comparativa relativamente ao material convencional.

BIBLIOGRAFIA

Lista de Obras:

- ANA Aeroportos de Portugal (2008), “Caderno de Encargos - Condições Técnicas Terraplenagem”, Empreitada do Aeroporto de Faro
- ANA Aeroportos de Portugal (2008), “Memória Descritiva e Justificativa”, Empreitada do Aeroporto de Faro
- APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2008), “Resíduos da Construção e Demolição”, Lisboa: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional
- Berge, Bjorn (2007), “Ecologia dos Materiais de Construção - Volume I”, Guimarães: Universidade do Minho. Tradução e adaptação, Said Jalali, Marcelo F. da Eira, Nelson J.A
- Department for Communities and local government (2010), “Code for sustainable Homes - Technical guide November 2010”, Reino Unido
- Estradas de Portugal, S.A (2009), “Caderno de Encargos Tipo Obra, 14.01 - Terraplenagem Características dos Materiais”, Almada
- Ferreira, Paulo Miguel Sá (2011), “Análise Comparativa da Sustentabilidade de diferentes tipos de betões com a incorporação de resíduos de construção e demolição - Mestrado em Engenharia Civil”, Évora: Universidade de Évora
- Freire, Ana Cristina (2010), “Opinião sobre Aplicação de RCD em infraestruturas rodoviárias”, Ambinews n.º 14, Lisboa: Ambinews, página 12 e 13
- Lipsmeier, Klaus; Günther, Marko (2002), “WAMBUCO Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios - Volume I” Alemanha: Institute for Waste Management and Contaminated Sites Treatment of Dresden University of Technology. Tradução: Said Jalali, Luís Pereira, TecMinho/Universidade do Minho
- Pinheiro Alves, Teresa (2009), “Terminologia de Construção Sustentável”, Aula n.º 3 Construção Sustentável, Évora: Universidade de Évora
- Santos, Jaime A., (2008), “Obras Geotécnicas Compactação Elementos Teóricos” Lisboa: Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura - Instituto Superior Técnico

Lista de legislação e normas:

- Norma Portuguesa NP EN 13242:2002+A1:2010 - Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária

- Decreto-Lei nº 46/2008, de 12 de Março – Gestão de RCD
- Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro - Regime Geral de Gestão de Resíduos
- Especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil LNEC E 474 - 2006 - Guia para a Utilização de Resíduos de Construção e Demolição em Aterro e Camada de Leito de Infraestruturas de Transporte
- Norma Portuguesa NP EN 1097-6:2003 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água
- Norma Portuguesa NP EN 1097-2:2002 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação
- Norma Portuguesa NP EN 1097-5:2002 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 5: Determinação do teor de humidade por secagem em estufa ventilada
- Norma Espanhola NLT 357 – 1986 - Ensaio de placa con carga
- Norma Portuguesa NP 143 – 1969 - Solos. Determinação dos limites de consistência
- Especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC E 198 – 1967 - Solos. Ensaio do CBR
- Especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC E 199 – 1967 - Solos. Ensaio de equivalente de areia
- Especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC E 204 - 1967 - Solos - Determinação da baridade seca "in situ" pelo método da garrafa de areia
- Especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC E-240 – 1967 - Solos. Classificação para fins rodoviários
- Especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC E 196 – 1966 - Solos. Análise granulométrica
- Especificação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC E 197 – 1966 - Solos. Ensaio de compactação
- Norma Portuguesa NP 83 – 1965 - Solos. Determinação da densidade das partículas
- Norma Portuguesa NP 84 – 1965 - Solos. Determinação do teor em água

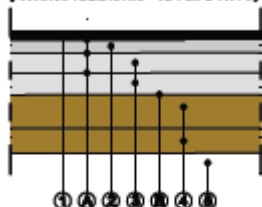
Lista de sites:

- Município de Montemor-o-Novo: <http://www.cm-montemornovo.pt/reagir/classificacao%20rcd.htm> – Consultado em 2/2/2013

ANEXO A

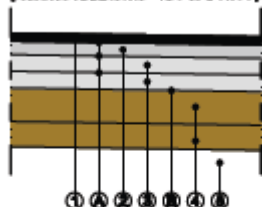
Pormenores tipo

**PAVIMENTAÇÃO TIPO I
(FLEXÍVEL RESISTENTE - RET 28 e TWY F)**



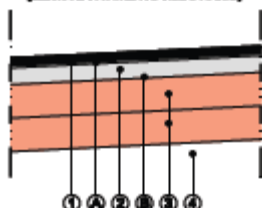
- 1 - Camada de desgaste em betão betuminoso (esp.=0,08)
- 2 - Camada de regularização (esp.=0,03)
- 3 - Macadame bituminoso (esp.=0,12 e 0,10)
- 4 - Agregado bituminoso (esp.=0,20 e 0,14)
- 5 - Loteio do pavimento
- A - Placa de reforço tipo ECR-2m
- B - Placa de impermeação tipo ECI

**PAVIMENTAÇÃO TIPO II
(FLEXÍVEL RESISTENTE - RET 10 e TWY F)**



- 1 - Camada de desgaste em betão betuminoso (esp.=0,03)
- 2 - Camada de regularização (esp.=0,03)
- 3 - Macadame bituminoso (esp.=0,10 e 0,10)
- 4 - Agregado bituminoso (esp.=0,20 e 0,10)
- 5 - Loteio do pavimento
- A - Placa de reforço tipo ECR-2m
- B - Placa de impermeação tipo ECI

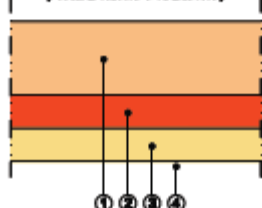
**PAVIMENTAÇÃO TIPO III*
(BERMA E PAVIMENTO RODOVIÁRIO)**



- 1 - Camada de desgaste em betão betuminoso (esp.=0,08)
- 2 - Macadame bituminoso (esp.=0,10)
- 3 - Agregado bituminoso (esp.=0,20 e 0,20)
- 4 - Loteio do pavimento
- A - Placa de reforço tipo ECR-2m
- B - Placa de impermeação tipo ECI

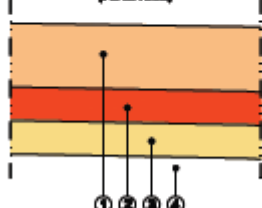
*NOTA: Nos parques de material, de placa aplica-se-á o pavimento TIPO III com betão anti-contracção na camada de desgaste.

**PAVIMENTAÇÃO TIPO IV
(PLACA NORTE E NASCENTE)**



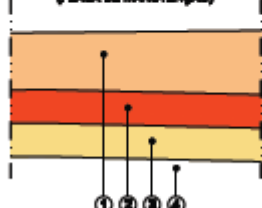
- 1 - Loteio de betão B4,0P (esp.=0,44)
- 2 - Base-cimento (esp.=0,10)
- 3 - Agregado bituminoso (esp.=0,20)
- 4 - Loteio do pavimento

**PAVIMENTAÇÃO TIPO V
(PLACA SUL)**



- 1 - Loteio de betão B4,0P (esp.=0,30)
- 2 - Base-cimento (esp.=0,10)
- 3 - Agregado bituminoso (esp.=0,20)
- 4 - Loteio do pavimento

**PAVIMENTAÇÃO TIPO VI
(PLACA DE MANUTENÇÃO)**



- 1 - Loteio de betão B4,0P (esp.=0,30)
- 2 - Base-cimento (esp.=0,10)
- 3 - Agregado bituminoso (esp.=0,20)
- 4 - Loteio do pavimento


ANEXO B

	FICHA TÉCNICA DO PRODUTO	DQ-13
		Rev.02/22-06-09
		Página 1 de 1

Designação do Agregado: Tout-Venant – 0/31,5 | Centro de produção: Torre

Aplicações: Materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária.

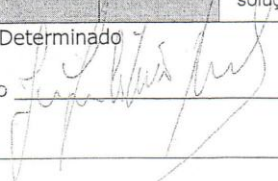
CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO

		
1515 ARVELA, Lda – Pontal – Montenegro cx. 100 Z 8005-319 Faro Tel. 289 817 869 / Fax. 289 817 891 09 1515-CPD-0125		
CENTRO DE PRODUÇÃO DA TORRE		
Características		EN 13242: 2002+A1:2007
Descrição Petrográfica		—
Tamanho das Partículas		0/31,5
Classificação dos constituintes		Rcug ₇₀ , X ₁ , FL ₅
Granulometria		G ₈₅ GT _A 20
Massa volúmica das partículas secas		2,15 Mg/m ³
Massa volúmica das partículas impermeáveis		2,33 Mg/m ³
Massa volúmica das partículas saturadas		2,23 Mg/m ³
Absorção de água (%)		3,6
Equivalente de Areia (%SE)		DND ¹
Azul de metileno (% MB)		DND
Teor dos Finos		f ₉
Cloretos		DND
Sulfatos solúveis		DND
Enxofre total		S ₁
Teor de húmus		Mais claro que a solução padrão

Peneiro (mm)	Valores declarados (%)	Limite inferior	Limite Superior (%)
63	100	100	100
40	100	100	100
31,5	97	92	100
20	84	-	-
16	77	57	97
14	72	-	-
12,5	68	-	-
10	61	-	-
8	54	-	-
6,3	49	-	-
4	42	-	-
2	35	-	-
1	27	-	-
0,5	19	-	-
0,250	12	-	-
0,125	8	-	-
0,063	5,1	1,1	9,1

1) Desempenho Não Determinado

Aprovado



Data 2009 10/06/09

© Arvela, Lda

ANEXO C

Especificação LNEC E 474 - 2006

ANEXO D

Resíduos da construção e demolição – Alves Ribeiro, S.A.

Ensaio Limite de Liquidez – Tecnovia, S.A

ANEXO E

Especificação LNEC E197-1966

ANEXO F

Ensayo de Carga con Placa – Método NLT 357/98

ANEXO G

Relatórios de ensaio de compactação da camada de leito de pavimento

ANEXO H

Relatórios de ensaios de carga com placa

ANEXO I

Cálculos justificativos das emissões de CO₂ nos agregados convencionais

1. Fabrico

- Área = $131\,053,60\text{ m}^2 \times 0,30\text{m}$ (espessura) = $39\,316,08\text{ m}^3$
- Quantidade em toneladas = $39\,316,08 \times 2$ (densidade tout-venant) = $78\,632,16\text{ton}$
- Quantidade de CO₂ envolvida
- CO₂: 3 Kg/ton
- CO₂ total: $78\,632,16\text{ ton} \times 3\text{ Kg} = 235\,896,48\text{ Kg CO}_2$

2. Transporte

A – Pedreira n.º 1 Monchique

- Quantidade (ton): $78\,632,16\text{ ton}$
- Distância entre obra e central de RCD: $82,3\text{km}$
- Distância total: $82,3 \times 2 = 164,6\text{ Km}$
- Valor (kg.CO₂/Km) camião articulado superior a 33 ton: $0,929$
- CO₂: $164,6 \times 0,929 = 152,91\text{ Kg CO}_2$
- Número de viagens: $\text{Peso total}/33 : 78\,632,16/33 = 2\,383,00$ viagens
- CO₂: n.º viagens x valor Co₂: $2\,383,00 \times 152,91 = 364\,384,53\text{ Kg CO}_2$

B – Pedreira n.º 2 Monchique

A pedreira B fica à mesma distância da pedreira A, ao local da empreitada, logo apresenta os mesmos valores.

- CO₂: $364\,384,53\text{ Kg CO}_2$

C – Pedreira n.º 3 Castro Marim

- Quantidade (ton): $78\,632,16\text{ ton}$
- Distância entre obra e central de RCD: $58,5\text{km}$
- Distância total: $58,5 \times 2 = 117\text{Km}$
- Valor (kg.CO₂/Km) camião articulado superior a 33 ton: $0,929$
- CO₂: $117 \times 0,929 = 108,7\text{ Kg CO}_2$
- Número de viagens: $\text{Peso total}/33 : 78\,632,16/33 = 2\,383,00$ viagens
- CO₂: n.º viagens x valor Co₂: $2\,383,00 \times 108,7 = 259\,032,1\text{ Kg CO}_2$

3. Quantidade total (fabrico + transporte)

A/B – Pedreira n.º 1 e n.º 2 Monchique: CO₂ total: $235\,896,48 + 364\,384,53 = 600\,281,01\text{ Kg CO}_2$

C – Pedreira n.º 3 Castro Marim: CO₂ total: $235\,896,48 + 259\,032,1 = 494\,928,58\text{ Kg CO}_2$

ANEXO J

Cálculos justificativos dos consumos de Energia nos agregados convencionais

1. Fabrico

- Área = $131\,053,60\text{ m}^2 \times 0,30\text{m}$ (espessura) = $39\,316,08\text{ m}^3$
- Quantidade em toneladas = $39\,316,08 \times 2$ (densidade tout-venant) = $78\,632,16\text{ton}$
- Energia consumida durante fabrico
- Energia: 52 MJ/ton
- Energia total: $78\,632,16\text{ ton} \times 52\text{ MJ/ton} = 4\,088\,872,32\text{ MJ}$

2. Transporte

A – Pedreira n.º 1 Monchique

- Quantidade (ton): $78\,632,16\text{ ton}$
- Distância entre obra e central de RCD: $82,3\text{km}$
- Distância total: $82,3 \times 2 = 164,6\text{ Km}$
- Valor (MJ/Km): $1,6$
- Energia consumida: $164,6 \times 1,6 = 263,36\text{ MJ/viagem}$
- Número de viagens: $\text{Peso total}/33\text{ ton}: 78\,632,16/33 = 2\,383,00\text{ viagens}$
- Energia total: $n.º\text{ viagens} \times \text{valor Energia consumida}: 2\,383,00 \times 263,36 = 627\,586,88\text{ MJ}$

B – Pedreira n.º 2 Monchique

A pedreira B fica à mesma distância da pedreira A, ao local da empreitada, logo apresenta os mesmos valores.

- Energia Total: $627\,586,88\text{ MJ}$

C – Pedreira n.º 3 Castro Marim

- Quantidade (ton): $78\,632,16\text{ ton}$
- Distância entre obra e central de RCD: $58,5\text{km}$
- Distância total: $58,5 \times 2 = 117\text{ Km}$
- Valor (MJ/ton/Km): $1,6$
- Energia consumida: $117 \times 1,6 = 187,2\text{ MJ/ton}$
- Número de viagens: $\text{Peso total}/33\text{ ton}: 78\,632,16/33 = 2\,383,00\text{ viagens}$
- Energia total: $n.º\text{ viagens} \times \text{valor Energia consumida}: 2\,383,00 \times 187,2 = 446\,097,60\text{ MJ}$

3. Energia total (fabrico + transporte)

A/B – Pedreira n.º 1 e n.º 2 Monchique: $4\,088\,872,32 + 627\,586,88 = 4\,716\,459,2\text{ MJ}$

C – Pedreira n.º 3 Castro Marim: Energia total: $4\,088\,872,32 + 446\,097,60 = 4\,534\,969,92\text{ MJ}$

ANEXO L

Folha de cálculo para calcular preço transporte

ANEXO M

Cálculos justificativos das emissões de CO₂ nos agregados reciclados

1. Fabrico de RCD

1.1 Quantidade Total de RCD

Área = 131 053,60 m² x 0,30m (espessura) = 39 316,08 m³

Quantidade em toneladas = 39 316,08 x 2 (densidade tout-venant) = 78 632,16ton

1.2 Quantidade de CO₂ envolvida

CO₂: 3Kg/ton

CO₂ total: 78 632,16 ton x 3 Kg = 235 896,48 Kg CO₂

2. Transporte de RCD

2.1 Quantidade (ton): 78 632,16 ton

2.2 Quantidade de CO₂ envolvida no transporte

Distância entre obra e central de RCD: 5km

Distância total: 5 x 2 = 10Km

Valor (kg.CO₂/Km) camião articulado superior a 33 ton: 0,929

CO₂: 10 x 0,929 = 9,29 Kg/ton CO₂

Número de viagens: Peso total/33 ton: 78 632,16/33 = 2 383,00 viagens

CO₂ total: n.º viagens x valor CO₂: 2 383,00 x 9,29 Kg = 22 138,07 Kg CO₂

3. Quantidade total (fabrico + transporte)

CO₂ total: 235 896,48 + 22 138,07 = 258 034,55 Kg CO₂

ANEXO N

Cálculos justificativos dos consumos de Energia nos agregados reciclados

1. Fabrico de RCD

1.1 Quantidade Total de RCD

Área = 131 053,60 m² x 0,30m (espessura) = 39 316,08 m³

Quantidade em toneladas = 39 316,08 x 2 (densidade tout-venant) = 78 632,16ton

1.2 Energia consumida durante fabrico

Energia : 42 MJ/ton

Energia total: 78 632,16 ton x 42 MJ/ton = 3 302 550,72 MJ

2. Transporte de RCD

2.1 Quantidade (ton): 78 632,16 ton

2.2 Energia consumida no transporte

Distância entre obra e central de RCD: 5km

Distância total: 5 x 2 = 10Km

Valor (MJ/Km): 1,6

Energia consumida: 10 x 1,6 = 16MJ/viagem

Número de viagens: Peso total/33 ton: 78 632,16/33 = 2 383,00 viagens

Energia total: n.º viagens x valor Energia consumida: 2 383,00 x 16 = 38 128,00 MJ

3. Energia total (fabrico + transporte)

Energia total: 3 302.550,72 + 38 128,00 = 3 340 678,72 MJ

ANEXO O

1- Cálculos justificativos das emissões de CO2 na Situação 1

A – Fabrico e transporte de agregados convencionais à distância de 5 km

1. Fabrico é idêntico, uma vez que o valor de emissão é igual ao dos agregados convencionais

- CO2 total: $78\,632,16 \text{ ton} \times 3 \text{ Kg} = 235\,896,48 \text{ Kg CO}_2$

2. Transporte [Central de reciclagem de RCD a 5km]

- Distância entre obra e central de RCD: 5km
- Distância total: $5 \times 2 = 10\text{Km}$
- Valor (kg.CO2/Km) camião articulado superior a 33 ton: 0,929
- CO2: $10 \times 0,929 = 9,29 \text{ Kg CO}_2$
- Número de viagens: $\text{Peso total}/33 : 78\,632,16/33 = 2\,383,00 \text{ viagens}$
- CO2: $n.^\circ \text{ viagens} \times \text{valor Co}_2 : 2\,383,00 \times 9,29 = 22\,138,07 \text{ Kg CO}_2$

3. Quantidade (fabrico + transporte) de CO2 total: $235\,896,48 + 22\,138,07 = 258\,034,55 \text{ Kg CO}_2$

B – Fabrico e transporte de RCD à distância de 58,5 km

1. Fabrico

- Área = $131\,053,60 \text{ m}^2 \times 0,30\text{m (espessura)} = 39\,316,08 \text{ m}^3$
- Quantidade em toneladas = $39\,316,08 \times 2 \text{ (densidade tout-venant)} = 78\,632,16\text{ton}$
- Quantidade de CO2 envolvida
- CO2: 3 Kg/ton
- CO2 total: $78\,632,16 \text{ ton} \times 3 \text{ Kg} = 235\,896,48 \text{ Kg CO}_2$

2. Transporte [Central de reciclagem a 58,5km]

- Distância entre obra e central de RCD: 58,5km
- Distância total: $58,5 \times 2 = 117\text{Km}$
- Valor (kg.CO2/Km) camião articulado superior a 33 ton: 0,929
- CO2: $117 \times 0,929 = 108,7 \text{ Kg CO}_2$
- Número de viagens: $\text{Peso total}/33 : 78\,632,16/33 = 2\,383,00 \text{ viagens}$
- CO2: $n.^\circ \text{ viagens} \times \text{valor Co}_2 : 2\,383,00 \times 108,7 = 259\,032,1 \text{ Kg CO}_2$

3. Quantidade (fabrico + transporte) de CO2 total: $235\,896,48 + 259\,032,1 = 494\,928,58 \text{ Kg CO}_2$

2- Cálculos justificativos de consumos de Energia na Situação 1

A – Fabrico e transporte de agregados convencionais à distância de 5 km

1. Fabrico

- Energia: 52 MJ/ton
- Energia total: 78 632,16 ton x 52 MJ/ton = 4 088 872,32 MJ

2. Transporte [Pedreira a 5km]

- Distância entre obra e pedreira: 5km
- Distância total: 5 x 2 = 10Km
- Valor (MJ/Km): 1,6
- Energia consumida: 10 x 1,6 = 16MJ/viagem
- Número de viagens: Peso total/33 ton: 78 632,16/33 = 2 383,00 viagens
- Energia total: n.º viagens x valor Energia consumida: 2 383,00 x 16 = 38 128,00 MJ

3. Energia total (fabrico + transporte): 4 088 872,32 + 38 128,00 = 4 127 000,32 MJ

B – Fabrico e transporte de RCD à distância de 58,5 km

1. Fabrico

- Energia: 42 MJ/ton
- Energia total: 78 632,16 ton x 42 MJ/ton = 3 302 550,72 MJ

2. Transporte [Central de reciclagem a 58,5km]

- Distância entre obra e central de RCD: 58,5km
- Distância total: 58,5 x 2 = 117Km
- Valor (MJ/Km): 1,6
- Energia consumida: 117 x 1,6 = 187,2 MJ/viagem
- Número de viagens: Peso total/33 ton: 78 632,16/33 = 2 383,00 viagens
- Energia total: n.º viagens x valor Energia consumida: 2 383,00 x 187,2 = 446 097,60 MJ

3. Energia total (fabrico + transporte): 3 302 550,72 + 446 097,60 = 3 748 648,32 MJ

ANEXO P

1- Cálculos justificativos das emissões de CO2 na Situação 2

A – Fabrico e transporte de agregados convencionais à distância de 58,5 km

1. Fabrico

- Área = $131\,053,60\text{ m}^2 \times 0,30\text{m}$ (espessura) = $39\,316,08\text{ m}^3$
- Quantidade em toneladas = $39\,316,08 \times 2$ (densidade tout-venant) = $78\,632,16\text{ton}$
- Quantidade de CO2 envolvida
- CO2: 3 Kg/ton
- CO2 total: $78\,632,16\text{ ton} \times 3\text{ Kg} = 235\,896,48\text{ Kg CO}_2$

2. Transporte [C – Pedreira n.º 3 Castro Marim a 58,5km]

- Distância entre obra e central de RCD: $58,5\text{km}$
- Distância total: $58,5 \times 2 = 117\text{Km}$
- Valor (kg.CO2/Km) camião articulado superior a 33 ton: $0,929$
- CO2: $117 \times 0,929 = 108,7\text{ Kg CO}_2$
- Número de viagens: $\text{Peso total}/33 : 78\,632,16/33 = 2\,383,00$ viagens
- CO2: $n.º\text{ viagens} \times \text{valor Co}_2 : 2\,383,00 \times 108,7 = 259\,032,1\text{ Kg CO}_2$

3. Quantidade (fabrico + transporte) de CO2 total: $235\,896,48 + 259\,032,1 = 494\,928,58\text{ Kg CO}_2$

B – Fabrico e transporte de RCD à distância de 58,5 km

1. Fabrico é idêntico, uma vez que o valor de emissão é igual ao dos agregados convencionais

- CO2 total: $78\,632,16\text{ ton} \times 3\text{ Kg} = 235\,896,48\text{ Kg CO}_2$

2. Transporte [Central de reciclagem a 58,5km]

- Distância entre obra e central de RCD: $58,5\text{km}$
- Distância total: $58,5 \times 2 = 117\text{Km}$
- Valor (kg.CO2/Km) camião articulado superior a 33 ton: $0,929$
- CO2: $117 \times 0,929 = 108,7\text{ Kg CO}_2$
- Número de viagens: $\text{Peso total}/33 : 78\,632,16/33 = 2\,383,00$ viagens
- CO2: $n.º\text{ viagens} \times \text{valor Co}_2 : 2\,383,00 \times 108,7 = 259\,032,1\text{ Kg CO}_2$

3. Quantidade (fabrico + transporte) de CO2 total: $235\,896,48 + 259\,032,1 = 494\,928,58\text{ Kg CO}_2$

2- Cálculos justificativos de consumos de Energia na Situação 2

A – Fabrico e transporte de agregados convencionais à distância de 58,5 km

1. Fabrico

- Energia: 52 MJ/ton
- Energia total: 78 632,16 ton x 52 MJ/ton = 4 088 872,32 MJ

2. Transporte [C – Pedreira n.º 3 Castro Marim a 58,5km]

- Distância entre obra e central de RCD: 58,5km
- Distância total: 58,5 x 2 = 117 Km
- Valor (MJ/Km): 1,6
- Energia consumida: 117 x 1,6 = 187,2 MJ/viagem
- Número de viagens: Peso total/33 ton: 78 632,16/33 = 2 383,00 viagens
- Energia total: n.º viagens x valor Energia consumida: 2 383,00 x 187,2 = 446 097,60 MJ

3. Energia total (fabrico + transporte): 4 088 872,32 + 446 097,60 = 4 534 969,92 MJ

B – Fabrico e transporte de RCD à distância de 161,55 km

1. Fabrico

- Energia: 42 MJ/ton
- Energia total: 78 632,16 ton x 42 MJ/ton = 3 302 550,72 MJ

2. Transporte [Central de reciclagem a 161,55km]

- Distância entre obra e central de RCD: 161,55 km
- Distância total: 161,55 x 2 = 323,10 Km
- Valor (MJ/Km): 1,6
- Energia consumida: 323,1 x 1,6 = 516,96 MJ/viagem
- Número de viagens: Peso total/33 ton: 78 632,16/33 = 2 383,00 viagens
- Energia total: n.º viagens x valor Energia consumida: 2 383,00 x 516,96 = 1 231 808,53 MJ

3. Energia total (fabrico + transporte): 3 302 550,72 + 1 231 808,53 = 4 534 359,25 MJ

ANEXO Q

1- Cálculos justificativos das emissões de CO₂ na Situação 3

A – Fabrico e transporte de agregados convencionais à distância de 5 km

1. Fabrico

- Área = $131\,053,60\text{ m}^2 \times 0,30\text{m}$ (espessura) = $39\,316,08\text{ m}^3$
- Quantidade em toneladas = $39\,316,08 \times 2$ (densidade tout-venant) = $78\,632,16\text{ton}$
- Quantidade de CO₂ envolvida
- CO₂: 3 Kg/ton
- CO₂ total: $78\,632,16\text{ ton} \times 3\text{ Kg} = 235\,896,48\text{ Kg CO}_2$

2. Transporte [Central de reciclagem de RCD a 5km]

- Distância entre obra e central de RCD: 5km
- Distância total: $5 \times 2 = 10\text{Km}$
- Valor (kg.CO₂/Km) camião articulado superior a 33 ton: 0,929
- CO₂: $10 \times 0,929 = 9,29\text{ Kg CO}_2$
- Número de viagens: $\text{Peso total}/33 : 78\,632,16/33 = 2\,383,00$ viagens
- CO₂: n.º viagens x valor Co₂: $2\,383,00 \times 9,29 = 22\,138,07\text{ Kg CO}_2$

3. Quantidade (fabrico + transporte) de CO₂ total: $235\,896,48 + 22\,138,07 = 258\,034,55\text{ Kg CO}_2$

B – Fabrico e transporte de RCD à distância de 5 km

1. Fabrico é idêntico, uma vez que o valor de emissão é igual ao dos agregados convencionais

- CO₂ total: $78\,632,16\text{ ton} \times 3\text{ Kg} = 235\,896,48\text{ Kg CO}_2$

2. Transporte [Central de reciclagem a 5km]

- Distância entre obra e central de RCD: 5km
- Distância total: $5 \times 2 = 10\text{Km}$
- Valor (kg.CO₂/Km) camião articulado superior a 33 ton: 0,929
- CO₂: $10 \times 0,929 = 9,29\text{ Kg CO}_2$
- Número de viagens: $\text{Peso total}/33 : 78\,632,16/33 = 2\,383,00$ viagens
- CO₂: n.º viagens x valor Co₂: $2\,383,00 \times 9,29 = 22\,138,07\text{ Kg CO}_2$

3. Quantidade (fabrico + transporte) de CO₂ total: $235\,896,48 + 22\,138,07 = 258\,034,55\text{ Kg CO}_2$

2- Cálculos justificativos de consumos de Energia na Situação 3

A – Fabrico e transporte de agregados convencionais à distância de 5 km

1. Fabrico

- Energia: 52 MJ/ton
- Energia total: 78 632,16 ton x 52 MJ/ton = 4 088 872,32 MJ

2. Transporte [Pedreira a 5km]

- Distância entre obra e pedreira: 5km
- Distância total: 5 x 2 = 10Km
- Valor (MJ/Km): 1,6
- Energia consumida: 10 x 1,6 = 16MJ/viagem
- Número de viagens: Peso total/33 ton: 78 632,16/33 = 2 383,00 viagens
- Energia total: n.º viagens x valor Energia consumida: 2 383,00 x 16 = 38 128,00 MJ

3. Energia total (fabrico + transporte): 4 088 872,32 + 38 128,00 = 4 127 000,32 MJ

B – Fabrico e transporte de RCD à distância de 108,13 km

1. Fabrico

- Energia: 42 MJ/ton
- Energia total: 78 632,16 ton x 42 MJ/ton = 3 302 550,72 MJ

2. Transporte [Central de reciclagem a 108,13km]

- Distância entre obra e central de RCD: 108,13 km
- Distância total: 108,13 x 2 = 216,26 Km
- Valor (MJ/Km): 1,6
- Energia consumida: 216,26 x 1,6 = 346,02 MJ/viagem
- Número de viagens: Peso total/33 ton: 78 632,16/33 = 2 383,00 viagens
- Energia total: n.º viagens x valor Energia consumida: 2 383,00 x 346,02 = 824 484,41 MJ

3. Energia total (fabrico + transporte): 3 302 550,72 + 824 484,41 = 4 127 035,13 MJ

ESPECIFICAÇÃO LNEC

**GUIA PARA A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO EM ATERRO E CAMADA DE LEITO DE INFRA-
ESTRUTURAS DE TRANSPORTE**

CDU
ISSN
CI/SfB

Setembro 2006

**GUIDE POUR L'UTILISATION DES RESIDUS
DE CONSTRUCTION ET DE DEMOLITION EN
REMBLAI ET EN COUCHE DE FORME
D'INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT**

Objet

Ce document établit les exigences minimales que les résidus de construction et de démolition doivent satisfaire pour leur utilisation en remblai et en couche de forme d'infrastructures de transport.

**GUIDE FOR THE USE OF CONSTRUCTION
AND DEMOLITION RECYCLED MATERIALS IN
EMBANKMENTS AND CAPPING LAYERS**

Scope

This document establishes the minimum requirements that construction and demolition waste must comply with in order to be used in embankment and capping layer of transport infrastructures.

1 – OBJECTO

A presente especificação fornece recomendações e estabelece requisitos mínimos para a utilização de resíduos de construção e demolição em aterros e camadas de leito de infra-estruturas de transporte, nomeadamente rodoviárias, aeroportuárias e ferroviárias.

Os resíduos a que se refere este documento provêm de obras de construção, reabilitação, conservação e demolição de edifícios, infra-estruturas de transporte e outras estruturas de engenharia civil.

No essencial, estes resíduos podem ser constituídos por betões britados, agregados provenientes de camadas não ligadas, alvenaria e misturas betuminosas.

A utilização de resíduos de construção e demolição em camadas não ligadas de pavimentos é contemplada na especificação LNEC E 473.

2 – REFERÊNCIAS NORMATIVAS

EN 12457-4: 2002 – Characterisation of waste – Leaching – Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges – Part 4: One stage batch test at liquid to solid ratio of

10l/kg for materials with particle size below 10mm (without or with size reduction).

LNEC E 196: 1966 – Solos. Análise granulométrica.

LNEC E 473: 2006 – Guia para a utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos.

NF P 94-068: 1998 – Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux.

NP EN 1097-1:2002 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval).

NP EN 1097-2:2002 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação.

NP EN 1744-1: 2000 – Ensaio para determinação das propriedades químicas dos agregados. Parte 1: Análise química.

3 – ENQUADRAMENTO GERAL

De forma a poder contribuir para uma construção sustentável, a reciclagem ou a reutilização de

resíduos surge cada vez mais como um imperativo no sector da construção civil. Neste sentido e tendo em consideração que se encontram em desenvolvimento em Portugal políticas específicas relativas à gestão dos resíduos de construção e demolição, importa definir os requisitos exigidos para a aplicação destes resíduos na construção, em particular em aterros e camadas de leito de infra-estruturas de transporte.

Os resíduos de construção e demolição, catalogados no Capítulo 17 da Lista Europeia de Resíduos, LER (Portaria nº 209/2004), apresentam composição muito variável devido a diversos factores tais como a sua origem e as práticas locais de construção. Esta variabilidade condiciona a valorização destes resíduos pelo que uma triagem apropriada dos resíduos de construção e demolição e a adequada selecção do processo de preparação são requisitos básicos na produção de materiais reciclados de qualidade.

Por outro lado, deve evitar-se a presença de materiais que pela sua natureza sejam prejudiciais para o ambiente ou afectem o desempenho dos aterros e das camadas de leito de infra-estruturas de transporte. No caso particular de resíduos de misturas betuminosas, estes não podem conter alcatrão.

3.1 – Processamento e armazenamento dos resíduos de construção e demolição

O processamento dos resíduos de construção e demolição deve permitir a obtenção de materiais que satisfaçam tanto as exigências técnicas como as ambientais para a aplicação prevista. Como norma geral, o aproveitamento destes materiais, ou fracção dos mesmos, é tanto maior quanto menor for a presença dos poluentes e das matérias indesejáveis. Assim, uma demolição selectiva e criteriosa tem um papel decisivo e deverá ser incentivada. Embora se trate, comparativamente com a demolição tradicional, de um processo mais moroso, as vantagens resultantes são significativas.

O processamento dos resíduos de construção e demolição pode ter lugar em centrais fixas ou em centrais móveis e inclui habitualmente quatro operações principais: triagem, redução primária, britagem e peneiração. A fase de triagem destina-se a eliminar os componentes indesejáveis (por

ex.: gesso, plásticos, borrachas, madeiras, cartão e papel, metais e matéria orgânica), que prejudicam as características técnicas e ambientais do produto reciclado. Na operação seguinte, redução primária, os escombros sofrem uma redução das suas dimensões e procede-se à remoção dos materiais metálicos ou outros ainda existentes. A britagem pode desenvolver-se em duas fases, com redução progressiva das dimensões dos resíduos. Finalmente, com a peneiração obtém-se um material classificado em diferentes granulometrias, de modo a contemplar as diferentes necessidades de aplicação.

Os resíduos de construção e demolição a reciclar deverão ser armazenados separadamente em função da sua origem e dos seus constituintes principais.

Poderão eventualmente utilizar-se combinações de resíduos de diferentes origens, desde que a mistura se efectue adequadamente e em condições controladas que assegurem a homogeneidade do material a reciclar.

3.2 – Condições gerais de utilização

A utilização dos resíduos de construção e demolição como materiais para aterro e camadas de leito não deverá ser permitida em zonas onde não seja possível evitar o contacto directo com as águas subterrâneas e na realização de sistemas drenantes, e deverá efectuar-se fora das zonas frequentemente inundadas.

Pelo facto de os resíduos de construção e demolição apresentarem, regra geral, alcalinidade elevada em contacto com a água (pH > 11), não devem ser utilizados na proximidade de materiais (por ex.: tubagens em alumínio e galvanizadas) susceptíveis à corrosão neste tipo de ambiente.

Para além da satisfação dos requisitos previstos na presente especificação, deverão ser realizados ensaios mecânicos com o material integral nas condições de estado representativas das previstas *in situ*, com vista a uma avaliação global do desempenho do mesmo nas possíveis aplicações.

3.3 – Aspectos ambientais

De acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER) existem resíduos de construção e demolição classificados como inertes, não

perigosos e perigosos, pelo que o seu poder contaminante necessita de ser avaliado.

De entre os constituintes poluentes dos resíduos de construção e demolição enumeram-se o amianto, os metais pesados, as fibras minerais, os solventes, algumas tintas, as resinas e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP's). Dada a possibilidade destes materiais poluentes existirem nos resíduos de construção e demolição, a sua presença deve ser evitada, pelo que só uma adequada gestão como a indicada no § 3.1, permitirá classificá-los como inertes.

Assim, de modo a garantir a protecção do meio ambiente e da saúde pública, foi prevista para já a realização de ensaios de lixiviação, tendo como referência o disposto na legislação portuguesa ou na Comunidade Europeia.

4 – CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Para efeitos de utilização em aterros e em camadas de leito de infra-estruturas de transporte, os resíduos de construção e demolição abrangidos por esta especificação são classificados em três classes (B, MB ou C), definidas com base nas proporções relativas de cada um dos constituintes indicados no Quadro 1.

No que se refere às características geotécnicas, estes resíduos classificam-se em duas categorias (MAT1 e MAT2), conforme indicado no Quadro 2.

A identificação dos materiais que constituem os resíduos de construção e demolição a utilizar nos aterros e camadas de leito é feita através da indicação do produtor (operador de gestão), do local de produção, das siglas da classe e categoria a que pertencem, entre outras informações suplementares.

Quadro 1 – Classificação dos resíduos com base nas proporções relativas dos constituintes

Classe	Constituinte				
	R _C +R _U (%)	R _A (%)	R _B +R _G (%)	FL _S +FL _{NS} (%)	MI (%)
B	≥ 90	≤ 5	≤ 10	≤ 1	≤ 1
MB	≤ 70	≥ 30	≤ 70	≤ 1	≤ 1
C	Sem limite	≤ 30	Sem limite	≤ 1	≤ 1

- R_C – betão, produtos de betão e argamassas
- R_U – agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos
- R_A – materiais betuminosos
- R_B – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante
- R_G – vidro
- FL_S – material pétreo flutuante
- FL_{NS} – material não pétreo flutuante
- MI – matérias indesejáveis: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos) e matérias putrescíveis

5 – PROPRIEDADES E REQUISITOS MÍNIMOS

Sem prejuízo do estabelecido nos Cadernos de Encargos, estabelecem-se no Quadro 2 as propriedades, as respectivas normas de ensaio e os correspondentes limites que os resíduos de construção e demolição das categorias MAT1 e MAT2 devem satisfazer.

As propriedades que constam do Quadro 2 devem ser verificadas com uma frequência mínima, que dependerá da variabilidade dos resíduos de construção e demolição processados e atendendo ao estabelecido no §7 da presente especificação.

Quadro 2 – Propriedades e requisitos mínimos dos materiais para aplicação em aterros e camadas de leito

Categoria		MAT1	MAT2	
Classe		B, MB e C	B e C	MB
Parâmetros de natureza				
Dimensão máxima das partículas (Dmax)		Dmax ≤ 150 mm	Dmax ≤ 80 mm	
Conteúdo máximo em finos (passado no peneiro 80 µm)	LNEC E 196	10%	10%	
Argilidade	NF P 94-068	VBS < 0,20 g/100g	VBS ≤ 0,10 g/100g	
Parâmetros de comportamento mecânico				
Resistência à fragmentação	NP EN 1097 – 2	—	LA ≤ 45	—
Resistência ao desgaste	NP EN 1097 – 1	—	MDE ≤ 45	—
Propriedades químicas				
Teor de sulfatos solúveis em água*	NP EN 1744 – 1	0,7%	0,7%	
Libertação de substâncias perigosas**	EN 12457 – 4	Inerte	Inerte	

* - Para teores de sulfatos superiores a 0,2%, estes resíduos deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de betão.

** - Ver Decisão do Conselho 2003/33/CE. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L11, de 16 de Janeiro de 2003.

6 – REGRAS DE APLICAÇÃO

6.1 – Materiais do tipo MAT1

Os materiais do tipo MAT1 são utilizáveis em aterros de infra-estruturas de transporte (Quadro 3). Na prática, estes materiais podem ser estudados e aplicados em aterro de forma semelhante aos solos naturais com características geotécnicas semelhantes.

Ficam excluídas da presente especificação as aplicações destes materiais com ligantes hidráulicos ou outros. Este tipo de utilização deve estar sujeita a estudos específicos que permitam demonstrar a sua adequação aos objectivos perseguidos em cada caso.

Fica também excluída a utilização de materiais do tipo MAT1 na parte inferior dos aterros construídos em zonas inundáveis.

6.2 – Materiais do tipo MAT2

Os materiais do tipo MAT2, além de poderem ser utilizados em aterro, também podem ser utilizados em camadas de leito de infra-estruturas de

transporte (Quadro 3), à excepção dos da classe MB.

As condições de colocação e compactação dos materiais do tipo MAT2 em aterro e camadas de leito de pavimento são semelhantes às preconizadas para os materiais naturais com características geotécnicas semelhantes.

A aplicação destes materiais em camadas de leito pode exigir a correcção granulométrica dos mesmos, nomeadamente a eliminação das partículas com dimensão superior a 50 mm, ou mesmo 31,5 mm, para evitar possíveis problemas de segregação e dificuldades de regularização da camada.

A espessura da camada de leito a construir com materiais do tipo MAT2 é determinada de acordo com as regras de dimensionamento válidas para os materiais naturais com características geotécnicas semelhantes.

No caso de se pretender aplicar o material tratado com ligantes hidráulicos em camadas de leito, é necessário fazer estudos que viabilizem essa aplicação.

7 – CONTROLO DA QUALIDADE

De forma a assegurar a qualidade final na construção dos aterros e das camadas de leito, deve-se proceder à realização de ensaios com as frequências mínimas especificadas nos Cadernos

de Encargos ou em Planos de Garantia da Qualidade da Construção.

Estas frequências de realização dos ensaios podem ser ajustadas por indicação da fiscalização ou do dono de obra, dependendo da variabilidade das características dos materiais aplicados.

Quadro 3 – Campo de aplicação dos materiais MAT1 e MAT2 em aterros e camadas de leito

Categoria	MAT1			MAT2		
Classe	B	MB	C	B	MB	C
Camada de leito	x	x	x	✓	x	✓
Aterro	✓	✓	✓	✓	✓	✓

8 – BIBLIOGRAFIA

“*Graves de recyclage – Graves recyclées de démolition et mâchefer*”, Guide d'utilisation en travaux publics, Version 2, 2005.

“*Les bétons et produits de démolition recyclées*”, Guide technique pour utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, Première version, 2003.

“*Monografía sobre residuos de construcción y demolición*”, IHOBE, 2004.



Resíduos de Construção e Demolição (RC&D)

Obra: Aeroporto De Faro

Data: Camarate, 25 de Agosto de 2009

Identificação da amostra a analisar
Refª Externa
Resíduos Da Construção E Demolição

Identificação dos Ensaios	
Norma	Título
EN-13286-2	Ensaio de compactação
NP EN 1097-6	Massas Volúmicas e Absorção de Água
NP EN 1097-2	Resistência à Fragmentação
NP EN 1097-1	Resistência ao Desgaste
NP EN 933-9	Azul metileno
NP EN 933-8	Ensaio de equivalente de areia
NP EN 933-1	Análise Granulométrica

NP - Norma Portuguesa.

EN - European Norm

ÍNDICE

1 - Introdução

2 - Caracterização dos Resíduos da Construção e Demolição (RC&D)

2.1. Proveniência

2.2. Tipo de materiais

2.3. Resistência à Fragmentação

2.4. Resistência ao Desgaste (Micro - Deval)

2.5. Equivalente de areia

2.6. Azul metileno

2.7. Índice de plasticidade

2.8. Granulometria

2.8.1-Curva Granulométrica - Serie de peneiros ISSO

2.8.1-Curva Granulométrica – Fuso Caderno de Encargos da obra

2.9. Teor de humidade óptimo / Baridade seca máxima

3. Caracterização do agregado segundo a especificação do LNEC E 473

3.1 Classificação e identificação

3.2 Propriedades

3.3 Categoria

3.4 Campo de aplicação

4. Caracterização do agregado segundo a especificação do LNEC E 474

4.1 Classificação e identificação

4.2 Propriedades

4.3 Categoria

4.4 Campo de aplicação

6. Anexos (boletins de ensaio)

1 - INTRODUÇÃO

Os ensaios foram realizados com o objectivo de determinar as características do material, com base no que é normalmente exigido nos Cadernos de Encargo e nos requisitos das especificações do LNEC **E 473** - Guia para utilização de agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos, **E 474**-Guia para utilização de resíduos de construção e demolição em aterro e camada de leito de infra-estrutura de transporte. Estas especificações prevêm a utilização de RC&D em camadas de aterro, sub-base e base na estrutura do pavimento.

Nas rubricas seguintes, são apresentados os resultados do estudo laboratorial dos materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos.

2 - CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

2.1. Proveniência

Colhido “in situ”, após “Britagem” do material proveniente de Arvela Lda- Pontal-Montenegro.

2.2. Tipo de materiais

Agregados granulares resultantes do aproveitamento e britagem da estrutura em betão

2.3. Resistência à fragmentação (NP EN 1097-2)

É de 43%

2.4. Resistência ao Desgaste (Micro-Deval) (NP EN 1097-1)

É de 40%

2.5. Equivalente de areia (NP EN 933-8)

É de 56%.

2.6. Azul metileno (NP EN 933-9)

É de 1,55

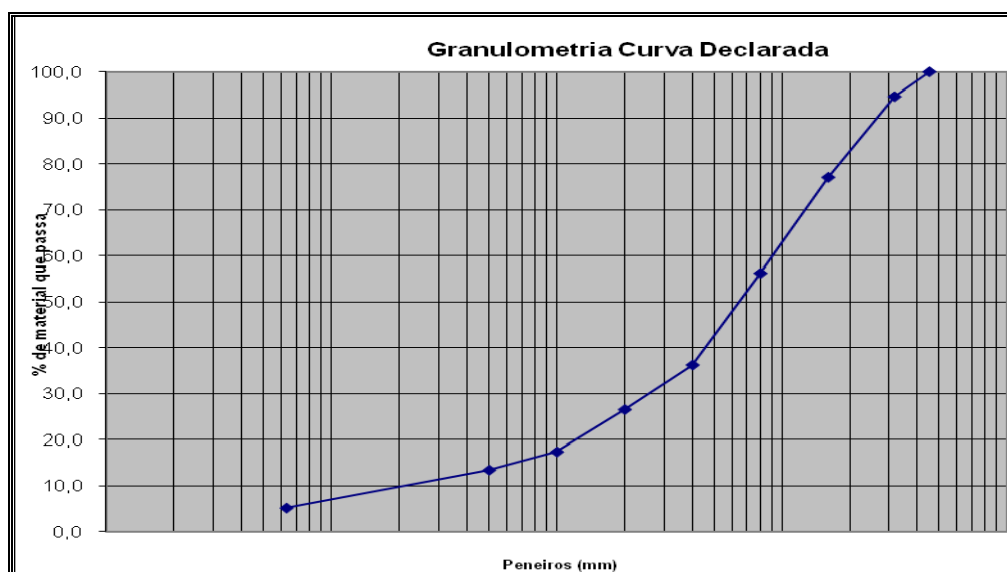
2.7. Índice de plasticidade

É não plástico.

2.8. Granulometria (NP EN 933-1)

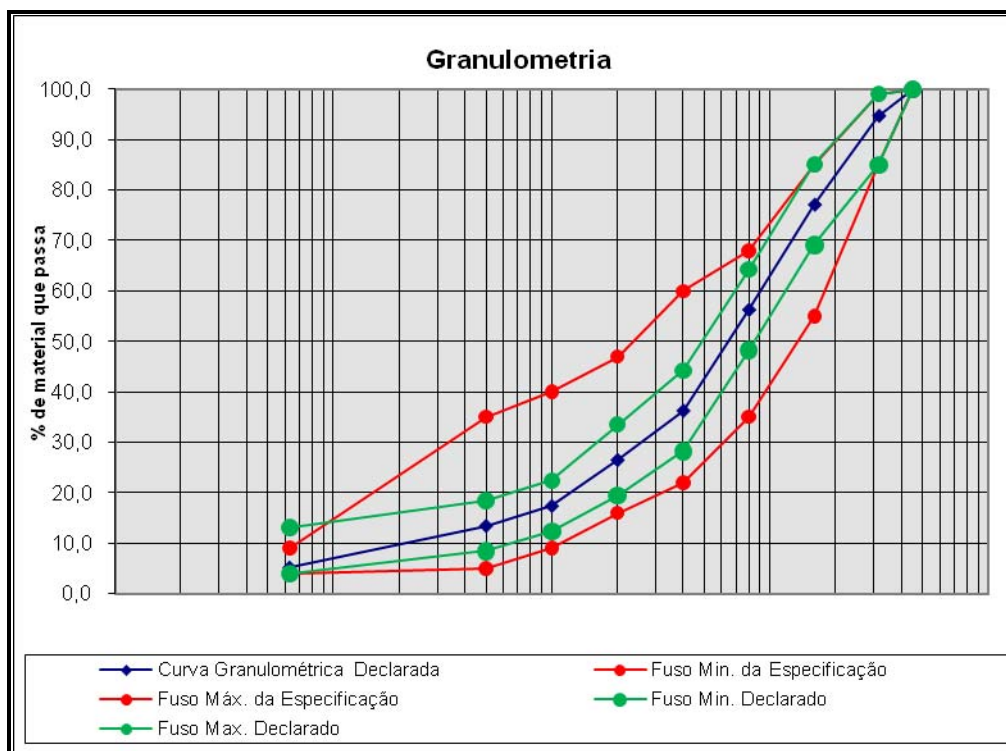
2.8.1 Curva Granulométrica - Série de peneiros ISO

Abertura das malhas dos peneiros (ISO)	Percentagem acumulada do material que passa
31,5 mm	85,5
16,0 mm	59,3
8,0 mm	44,2
4,0 mm	34,0
2,00 mm	29,1
1,00 mm	22,3
0,500 mm	14,4
0,063 mm	4,6



2.8.2 Curva Granulométrica – (Fuso CE Obra)

Peneiros	Curva Declarada	Fuso Declarado		Fuso da Especificação	
		Min (%)	Min (%)	Min (%)	Max (%)
45	100	100	100	100	100
31.5	94.7	85	99	85	99
16	77.1	69	85	55	85
8	56.3	48	64	35	68
4	36.3	28	44	22	60
2	26.5	19	33	16	47
1	17.4	12	22	9	40
0.5	13.4	8	28	5	35
0.063	5.2	4	13	4	9



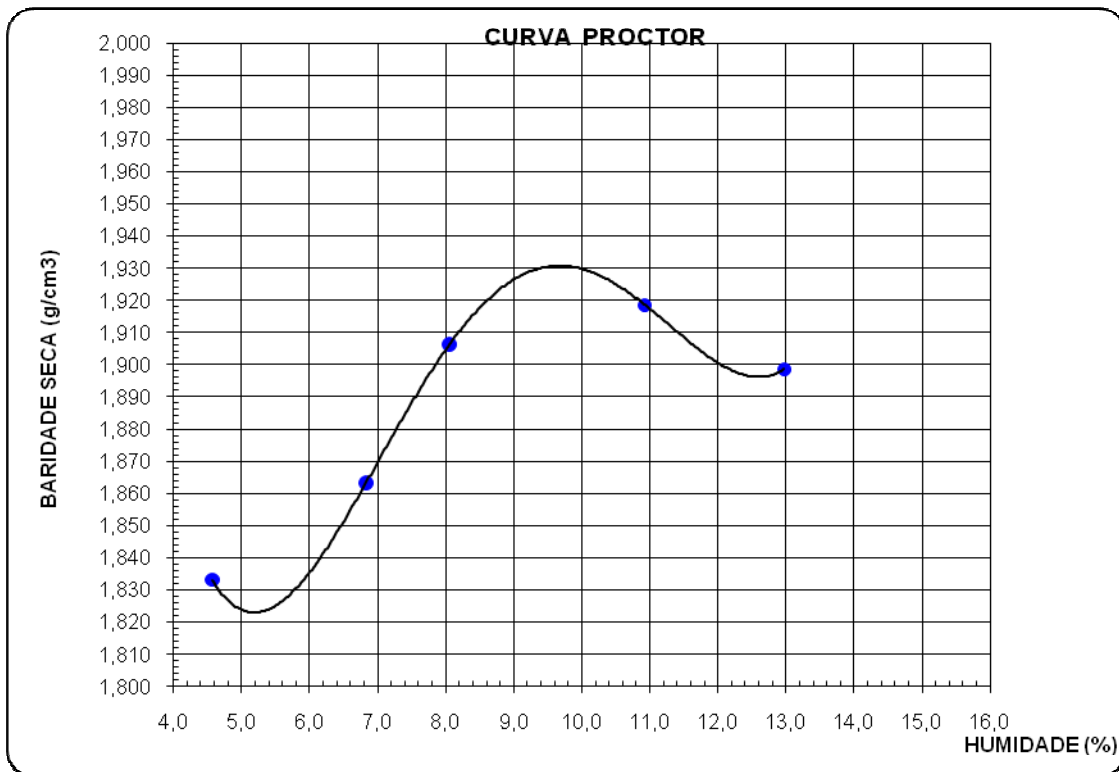
2.9 - Teor de humidade / Baridade seca máxima (LNEC E-197)

No ensaio Proctor Modificado, para a curva teórica descrita anteriormente, os resultados obtidos são os seguintes:

Baridade seca máxima (gr/cm³)..... 1,93

Teor de humidade óptimo (%)..... 9,5

Tal como consta no gráfico:



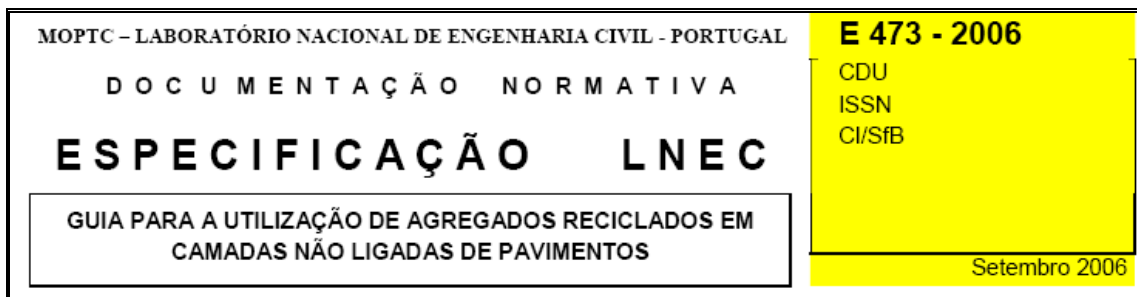
Foi feita uma correcção destes valores devida à composição Granulométrica do agregado, baseada nas seguintes fórmulas:

$$B_{smc} = \frac{100}{\frac{X}{G} + \frac{Y}{\eta + b_{sm}}} \quad \text{e} \quad W_{ac} = \frac{W_a \times Y + W_a \times X}{100}$$

Os valores obtidos foram os seguintes:

Baridade seca máxima corrigida (g/cm ³).....	1,974
Teor de humidade óptimo corrigido (%).....	9.0

3 – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO SEGUNDO A ESPECIFICAÇÃO DO LNEC E 473



3.1 Classificação e identificação

O material a que nos referimos está classificado nestas especificações com a classe de **B (material constituído por mais que 90% de betão)**

Quadro 1 – Classificação dos agregados reciclados de acordo com a natureza dos constituintes da fracção grossa

Classe	Categoria dos constituintes EN 13242:2002/prEN A1:Junho 2006				
	$R_C + R_U + R_G$	R_B	R_A	$FL_S + FL_{NS}$	X
B	$\geq 90\%$ ⁽¹⁾	$\leq 10\%$	$\leq 5\%$	$\leq 1\%$	$\leq 0,2\%$
C	$\geq 50\%$ ⁽¹⁾	$\leq 50\%$	$\leq 30\%$	$\leq 1\%$	$\leq 0,2\%$

(1) Percentagem de vidro inferior ou igual a 10% ($R_G \leq 10\%$)

CONSTITUINTES (prEN 933-11):

R_C – betão, produtos de betão e argamassas;
 R_U – agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos e betão celular não flutuante;
 R_A – materiais betuminosos;
 R_B – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolo, ladrilhos, telhas, etc.), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio;
 R_G – vidro;
 FL_S – material pétreo flutuante;
 FL_{NS} – material não pétreo flutuante;
X – matérias indesejáveis: materiais coesivos (p.ex. solos argilosos), plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos) e matérias putrescíveis.

3.2 Propriedades

- Designação (EN 13285): **0/31,5**
- Sobretamanhos (EN 13285): **OC₈₅**

Peneiros	% de passados
1,4D (63 mm)	100
D (31,5 mm)	94.7

- Classe Granulométrica (EN 13285): **GA**

Peneiros	% de passados
A (16 mm)	77
B(8 mm)	56.3
C(4 mm)	36.3
E(2 mm)	26.5
F(1 mm)	17.4
G(0,5 mm)	13.4

- Teor de Finos (EN 13285): **UF₇**
LF₄

Peneiros	% de passados
0.063 mm	5.2

- Qualidade dos finos: **MB=1,55g/kg**
- Resistência à fragmentação (NP EN 13242): **LA₄₅**
- Resistência ao desgaste (NP EN 13242): **MDE₄₅**
- **LA+MDE =83**

Quadro 2 – Propriedades e requisitos mínimos dos agregados reciclados para aplicação em camadas não ligadas de pavimentos

Categoria		AGER1	AGER2	AGER3
Classe (ver Quadro 1)		B ou C	B ou C	B
Parâmetros geométricos e de natureza				
Designação	EN 13285	0/31,5	0/31,5	0/31,5
Sobretamanhos (NP EN 933-1)	EN 13285	OC ₇₅	OC ₉₀	OC ₉₅
Classe de granulometria (NP EN 933-1)	EN 13285	G _B	G _B	G _A
Teor de finos (NP EN 933-1)	EN 13285	UF ₃ LF ₂	UF ₃ LF ₂	UF ₃ LF ₂
Qualidade dos finos (NP EN 933-9)	NP EN 13242	MB≤0,80 g/kg	MB≤0,80 g/kg	MB≤0,80 g/kg
Porcentagem de partículas totalmente esmagadas ou partidas e totalmente roladas em agregados grossos (NP EN 933-5)	NP EN 13242	C _{50/30}	C _{50/10}	C _{90/3}
Parâmetros de comportamento mecânico				
Resistência à fragmentação e resistência ao desgaste (NP EN 1097-2 e NP EN 1097-1)	NP EN 13242 prA1: 2006	LA ₄₅ MDE ₄₅ LA+MDE≤80	LA ₄₀ MDE ₃₅ LA+MDE≤65	LA ₄₀ MDE ₃₅ LA+MDE≤65
Propriedades químicas				
Teor de sulfatos solúveis em água (EN 1744-1)*	NP EN 13242 prA1: 2006	SS _{0,7}	SS _{0,7}	SS _{0,7}
Libertação de substâncias perigosas	EN 12457-4	Inertes**		

* - Para teores de sulfatos superiores a 0,2%, estes agregados deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de betão.

** - Ver Decisão do Conselho 2003/33/CE.

3.3 Categoria

Dos ensaios realizados podemos concluir que o agregado assemelha-se ao exigido na categoria **AGER1**.

3.4 Campo de aplicação

Quadro 3 – Campo de aplicação dos agregados reciclados em camadas não ligadas de pavimentos

Categoria	AGER1		AGER2		AGER3
	C	B	C	B	B
Natureza dos constituintes	C	B	C	B	B
Aplicação em camadas de sub-base – TMDp	≤ 50	≤ 150	≤ 150	≤ 300	≤ 300
Aplicação em camadas de base – TMDp	NR	≤ 150	≤ 150	≤ 150	≤ 300

LEGENDA
TMDp - Tráfego médio diário de pesados por via;
NR - Não Recomendado.

4 – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO SEGUNDO A ESPECIFICAÇÃO DO LNEC E 474

MOPTC - LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - PORTUGAL DOCUMENTAÇÃO NORMATIVA ESPECIFICAÇÃO LNEC GUIA PARA A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO EM ATERRO E CAMADA DE LEITO DE INFRA-ESTRUTURAS DE TRANSPORTE	E 474 - 2006 CDU ISSN CI/SfB Setembro 2006
--	---

4.1 Classificação e identificação

O material a que nos referimos está classificado nesta especificação com a classe de **B (material constituído por mais que 90% de betão)**

Quadro 1 – Classificação dos resíduos com base nas proporções relativas dos constituintes

Classe	Constituinte				
	R _C +R _U (%)	R _A (%)	R _B +R _G (%)	FL _S +FL _{NS} (%)	MI (%)
B	≥ 90	≤ 5	≤ 10	≤ 1	≤ 1
MB	≤ 70	≥ 30	≤ 70	≤ 1	≤ 1
C	Sem limite	≤ 30	Sem limite	≤ 1	≤ 1

R_C – betão, produtos de betão e argamassas
R_U – agregados não ligados, pedra natural e agregados tratados com ligantes hidráulicos
R_A – materiais betuminosos
R_B – elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos e telhas), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante
R_G – vidro
FL_S – material pétreo flutuante
FL_{NS} – material não pétreo flutuante
MI – matérias indesejáveis: plásticos, borrachas, metais (ferrosos e não ferrosos) e matérias putrescíveis

4.2 Propriedades

- Dimensão máxima das partículas (D_{max}): **31,5 mm**
- Qualidade dos finos: **MB=1,55g/kg**
- Resistência à fragmentação (NP EN 13242): **LA₄₅**
- Resistência ao desgaste (NP EN 13242): **MDE₄₅**

Quadro 2 – Propriedades e requisitos mínimos dos materiais para aplicação em aterros e camadas de leito

Categoria		MAT1		MAT2	
Classe		B, MB e C		B e C	MB
Parâmetros de natureza					
Dimensão máxima das partículas (Dmax)		Dmax ≤ 150 mm		Dmax ≤ 80 mm	
Conteúdo máximo em finos (passado no peneiro 80 µm)	LNEC E 196	10%		10%	
Argilidade	NF P 94-068	VBS < 0,20 g/100g	VBS ≤ 0,10 g/100g		
Parâmetros de comportamento mecânico					
Resistência à fragmentação	NP EN 1097 – 2	—		LA ≤ 45	—
Resistência ao desgaste	NP EN 1097 – 1	—		MDE ≤ 45	—
Propriedades químicas					
Teor de sulfatos solúveis em água [*]	NP EN 1744 – 1	0,7%		0,7%	
Libertação de substâncias perigosas ^{**}	EN 12457 – 4	Inerte		Inerte	

* - Para teores de sulfatos superiores a 0,2%, estes resíduos deverão ser colocados a uma distância não inferior a 0,50 m de elementos estruturais de betão.
** - Ver Decisão do Conselho 2003/33/CE. Jornal Oficial das Comunidades Europeias L11, de 16 de Janeiro de 2003.

4.3 Categoria

Dos ensaios realizados podemos concluir que o agregado responde aos requisitos exigidos para **MAT1** e **MAT2**. Após a análise dos resultados laboratoriais, verifica-se que o agregado britado ensaiado, satisfaz os requisitos exigidos no CE.

4.4 Campo de aplicação

Quadro 3 – Campo de aplicação dos materiais MAT1 e MAT2 em aterros e camadas de leito

Categoria	MAT1			MAT2		
	B	MB	C	B	MB	C
Camada de leito	x	x	x	✓	x	✓
Aterro	✓	✓	✓	✓	✓	✓

O Laboratório:



João P. Cruz

O Responsável:



Luis Valente (Eng.)

6 - ANEXOS



Data: 31-07-2009

Amostra nº: 266/09

Proveniência: Arvela, Lda

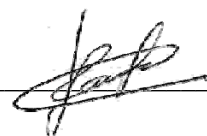
Obra: Aeroporto

**DESGASTE DE LOS ANGELES
NP EN 1097-2**

Massa inicial do provete (g) =		5001,2
Composição granulométrica		
12,5 a 14	Entre 30 % a 40 % que fica retido no peneiro com malha de 12,5mm	1500,0
10 a 12,5	Entre 60 % a 70 % que passam num peneiro com malha de 12,5mm	3501,2
Numero de voltas (31 rpm a 33 rpm)		500
Composição da Carga abrasiva	Nº de Esferas	11
	Massa das Esferas (g)	11,0
Massa do provete (± 5 g) =		5001,20
Massa do material retido no peneiro # 1,6 mm (após lavagem) (g)		2852,00
Coeficiente de Los Angele - LA (%)		43

Observações:

Verificado por: Vitor Santos

Validado por: 

Data: 31/07/09

Data: 20/08/09



Centro Emp. Vialonga, Frc. D2 2625-607 VIALONGA Tel: 21 973 86 90 Fax: 21 973 86 99



**QUADRO RESUMO
AGREGADOS**
Nº 33.13/0415/09/QRAGNE/REV.00

Obra	ENSAIOS DE LABORATÓRIO AEROPORTO DE FARO	OBRA : 33.13
	Cliente CLIENTE : ALVES RIBEIRO, S.ª MORADA : RUA SANCHES COELHO, 3F 1649-029 LISBOA	DATA EMISSÃO : 2009.08.21
Amostra	DESIGNAÇÃO / LOCAL* : RECICLADO(>#10 e <#14) - Nº 266/09 COLHEITA* : .CLIENTE MAT./TIPO : AGREGADO RECICLADO	AMOSTRA : 0415/09 DATA RECEPÇÃO : 2009.08.17

ENSAIO	PROCEDIMENTO USADO	RESULTADOS			UNID.
		63 mm	--	%	
Análise Granulométrica	--	% Total Passada	16 mm	--	%
			4 mm	--	%
			2 mm	--	%
			0.5 mm	--	%
			0.063 mm	--	%
			Índice de achatamento	--	--
Índice de forma	--	--	--	%	
Perc. de part. esmagadas e partidas (N)	--	--	--	--	
Teor em conchas (N)	--	--	--	--	
Equivalente de areia (N)	--	--	--	%	
Azul de metileno (N)	--	--	--	--	
Resist. ao desgaste - micro Deval (N)	NP EN 1097-1	40	--	%	
Resist. à fragmentação - Los Angeles (N)	--	--	--	%	
Determinação da baridade e volume de vazios (N)	--	--	--	Mg/m ³ %	
Teor em água (N)	--	--	--	%	
Fracção granulométrica	--	63 a 31.5	31.5 a 4	4 a 0.063	mm
Massa volúm. mat. imperm. part. (N)	--	--	--	--	Mg/m ³
Massa volúmica das part. Secas (N)	--	--	--	--	Mg/m ³
M. vol. part. satur. c/ superf. Seca (N)	--	--	--	--	Mg/m ³
Absorção de água (N)	--	--	--	--	%
Massa volúmica do filer (N)	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--

OBSERVAÇÕES : _____

* - Elementos da responsabilidade do cliente (N) - Ensaio não incluído no âmbito da acreditação

Visto. Isa Gregório
O Responsável Técnico pelo Laboratório: Isa Gregório (Eng.) Pág. 1/1

Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à amostra e respectivo ensaio discriminados. A sua reprodução é apenas permitida na íntegra, salvo expressa autorização da GEOTEST.



**RESISTÊNCIA AO DESGASTE
MICRO-DEVAL
(NP EN 1097-1)**
BOLETIM DE ENSAIO
Nº 33.13/0415/09/AG261/REV.00

Centro Emp. Vialonga, Frc. D2 2625-607 VIALONGA Tel: 21 973 86 90 Fax: 21 973 86 99

Obra	ENSAIOS DE LABORATÓRIO AEROPORTO DE FARO	OBRA : 33.13
	Cliente	CLIENTE : ALVES RIBEIRO, S. ^a MORADA : RUA SANCHES COELHO, 3F 1649-029 LISBOA
Amostra	DESIGNAÇÃO / LOCAL* : RECICLADO(>#10 e <#14) - Nº 266/09 COLHEITA* : CLIENTE MAT./TIPO : AGREGADO RECICLADO	DATA EXECUÇÃO : 2009.08.20 DATA EMISSÃO : 2009.08.21 AMOSTRA : 0415/09 DATA RECEPÇÃO : 2009.08.17

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Amostra laboratorial		Toma nº 1 (agregado húmido)	Toma nº 2 (agregado seco) ^a
Passada no peneiro (mm)	Retida no peneiro (mm)	Massa total (kg)	
14.0	12.5	7316.4	--
12.5	10.0		

Obs.: A fracção 10mm/14mm da amostra apresentava as características granulométricas exigidas pela Norma NP EN 1097-1

PREPARAÇÃO DO ENSAIO

Provete		1	2	3	4
Massa do provete	(g)	500	500	--	--
Água adicionada	(l)	2.5	2.5	--	--
Massa das esferas	(g)	4500	4500	--	--
Massa total (provete + esferas)	(g)	5000	5000	--	--

DESGASTE

Nº de rotações		12000			
M. retida pen. 1,6 mm (após lavagem)	(g)	306	299	--	--
Coefficiente de micro-Deval - MDE	(adim.)	38.9	40.1	--	--

	M_{DE} (agregado húmido)	M_{DS} (agregado seco) ^a
VALOR MÉDIO	40	--

^a - De acordo com o Anexo A da NP EN 1097-1

OBSERVAÇÕES : _____

* - Elementos da responsabilidade do cliente

Operador : LIDIA

Visto. _____

O Responsável Técnico pelo Laboratório: Isa Gregório (Eng.)

Pág. 1/1

Data: 31-07-2009

Amostra nº: 266/09

Proveniência: Arvela Lda

Identificação da Amostra: RC&D

EQUIVALENTE DE AREIA

NP EN 933-8 2002

Número da Proveta		5	6
K*	Constante do Aparelho*	59	58
d1	Distância do nível superior da suspensão argilosa ao traço superior da proveta (m/m)	225	231
d2	Distância entre a base do peso e o topo superior da espera do pistão (m/m)	145	143
d3	Distância entre a base e o traço superior da proveta (m/m)	380	380
$h1 = d3 - d1$	Distância da base da proveta ao nível superior da suspensão argilosa (m/m)	155	149
$h2 = d2 - K$	Distância da base da proveta ao nível superior da areia (m/m)	86	85
$EA = (h2/h1) \times 100$	Equivalente de Areia (%)	55,5	57,0
Média (%)		56	

* Distância entre a base do peso e o topo superior da peça guia com o pistão introduzido na proveta vazia

Observações: _____

Elaborado por:  _____

Data: 31 / 07 / 09

Data: 31-07-2009

Amostra nº: 266/09

Proveniência: Arvela Lda

Identificação da Amostra: RC&D

**AZUL DE METILENO
NP EN 933-9; 2002**

	Fracção Ensada 0/2 (mm)	
M₁	Massa inicial do provete (g.)	225,6
V₁	Quantidade total de solução adicionada (ml)	35,0
V	Volume de solução absorvida pelo cauline (se utilizada) (ml)	-
V₁ / M₁ X 10	Valor de Azul Metileno	1,55

VALOR DE AZUL METILENO - MB⁽¹⁾ = 1,55

⁽¹⁾ Expresso em gramas de azul absorvido por kg de material

Observações:

Elaborado por: V.M.S

Data: 31/07/09

Verificado por: 

Data: 20 / 08/ 09

Data: 31-07-2009

Amostra nº: 266/09

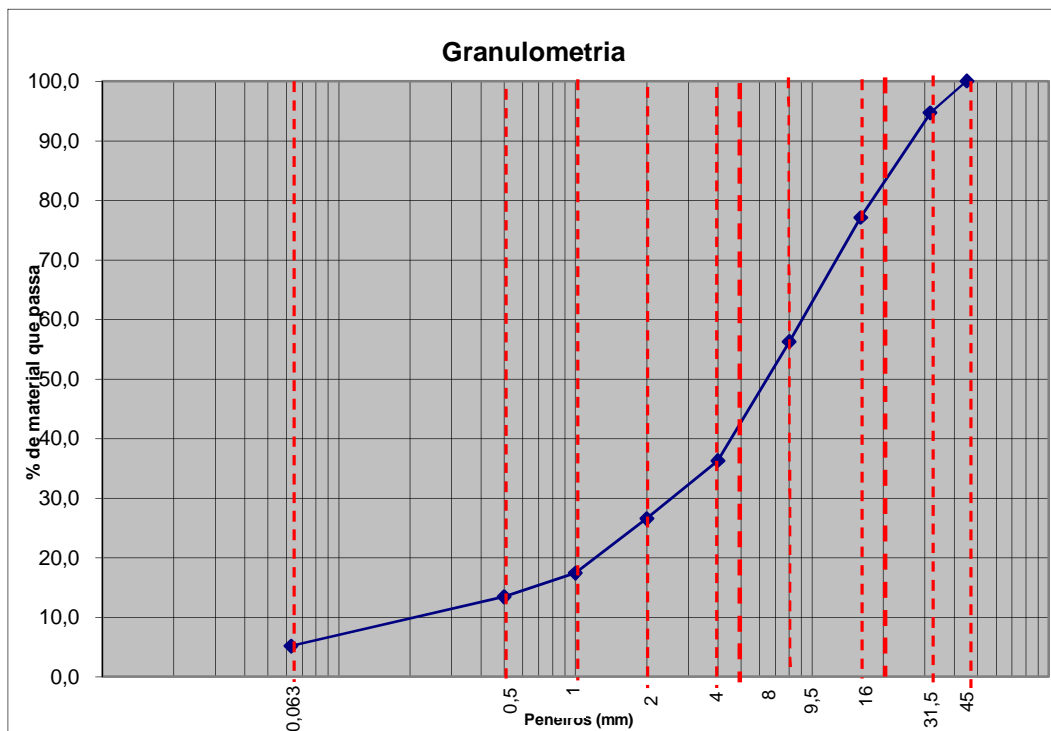
Proveniência: Arvela Lda

Identificação da Amostra: RC&D

GRANULOMETRIA DOS INERTES

Peso da amostra seca (g)	Antes da lavagem	7959,3
	Depois da lavagem	7551

Peneiros Série ISO	mm	Peso retido	Peso retido acumulado	% Retida	% Total que passa
	45	0	0	0,0	100,0
	31,5	422,3	422,3	5,3	94,7
	16	1400,7	1823	17,6	77,1
	8	1658,2	3481,2	20,8	56,3
	4	1592,4	5073,6	20,0	36,3
	2	773,4	5847	9,7	26,5
	1	727	6574	9,1	17,4
	0,5	315	6889	4,0	13,4
	0,063	658	7547	8,3	5,2
< n°200		408,3	7551	5,2	



Observações:

Elaborado por: João Macieira

Verificado por: 

Data: 31 / 07 / 09

Data: 20 / 08 / 09

Data: 31-07-2009

Amostra nº: 266/09

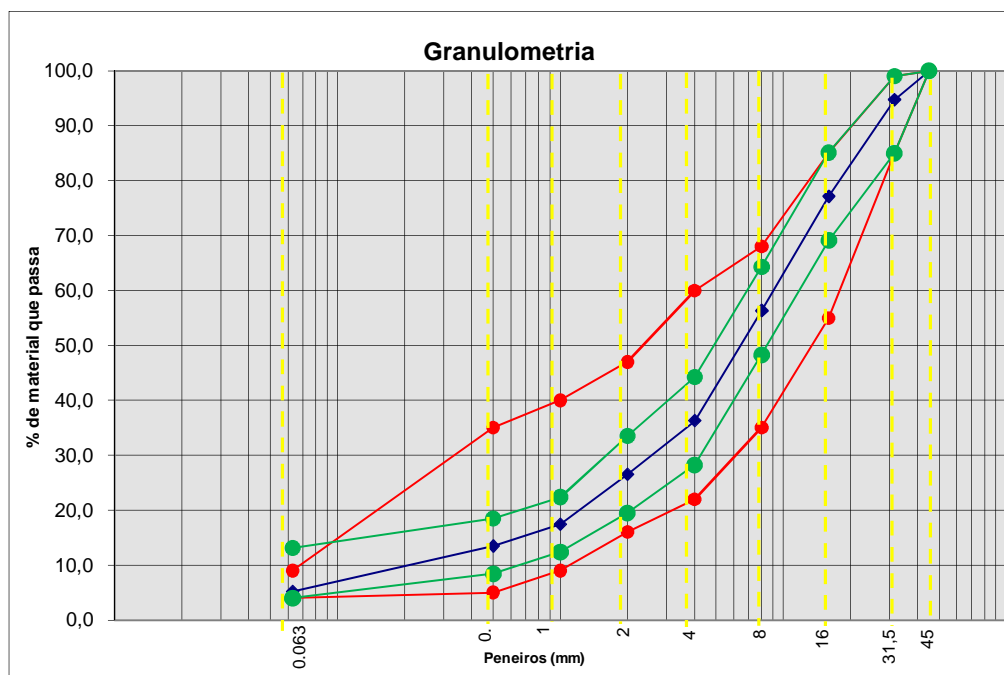
Proveniência: Arvela Lda

Identificação da Amostra: RC&D

GRANULOMETRIA DOS INERTES

Peso total da amostra seca (g)		7959,3
Peso da fracção fina	Total	2885,7
	Antes da lavagem	2872
	Depois da lavagem	2463,4

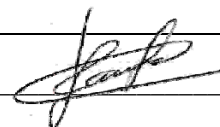
Peneiros ISO		Peso retido	% Retida	% retida acumulada	% Total que passa
nº	mm				
	45	0	0,0	0,0	100,0
	31,5	422,3	5,3	5,3	94,7
	16	1400,7	17,6	22,9	77,1
	8	1658,2	20,8	43,7	56,3
	4	1592,4	20,0	63,7	36,3
Fracção fina					
	2,00	773,4	9,8	73,5	26,5
	1	722	9,1	82,6	17,4
	0,5	312	3,9	86,6	13,4
	0,063	656	8,3	94,8	5,2
< nº200		408,6	5,2	100,0	



Observações:

Elaborado por: João Macieira

Verificado por: _____



Data: 31 / 07 / 09

Data: 20/08/09

Data: 31-07-2009

Amostra nº: 266/09

Proveniência: Arvela Lda

Identificação da Amostra: RC&D

MASSA VOLÚMICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA DE AREIAS

Temperatura de ensaio (°C): 25

	Ensaio nº		1	2		
p1	Peso da amostra saturada com a superfície seca	g	795,8			
p2	Peso do frasco cheio de água	g	1630,0			
p3	Peso do frasco cheio com a amostra saturada e água	g	2068,1			
p4	Peso da amostra seca	g	708,7			
Ga	Peso específico da água à temperatura do ensaio	g/cm3	0,99708			
$p4/(p1+p2-p3)*G_a$	Peso específico das partículas secas	g/cm3	1,975			
$p4/(p4+p2-p3)*G_a$	Peso específico do material impermeável das partículas	g/cm3	2,611			
$p1/(p1+p2-p3)*G_a$	Peso específico das partículas saturadas com superfície seca	g/cm3	2,218			
$100*(p1-p4)/p4$	Absorção	%	12,29			

Peso específico das partículas secas	$G_s =$ 1,975
Peso específico do material impermeável das partículas	$G_h =$ 2,611
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca	$G'_h =$ 2,218
Absorção	$a =$ 12,29

Observações: < # 4

Elaborado por: Nuno Teixeira

Verificado por: 

Data: 31-07-2009

Data: 20 / 08 / 09

Massa Volúmica e Absorção de Água de Britas e Godos

Data: 31-07-2009

Amostra nº: 266/09

Proveniência: Arvela Lda

Identificação da Amostra: RC&D

MASSA VOLÚMICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA DE BRITAS E GODOS

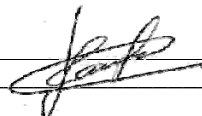
Temperatura de ensaio (°C): 25

	Ensaio nº		1	2		
p ₁	Peso de amostra seca no ar	g	1876,8	1698		
p ₂	Peso, no ar, da amostra saturada com a superfície seca	g	1996,6	1803,5		
p ₃	Peso, na água, da amostra saturada	g	1150,4	1045,1		
G _a	Peso específico da água à temperatura do ensaio	g/cm ³	0,99708	0,99708		
$p_1/(p_2-p_3)*G_a$	Peso específico das partículas secas	g/cm ³	2,211	2,232		
$p_1/(p_1-p_3)*G_a$	Peso específico do material impermeável das partículas	g/cm ³	2,576	2,593		
$p_2/(p_2-p_3)*G_a$	Peso específico das partículas saturadas com superfície seca	g/cm ³	2,353	2,371		
$100*(p_2-p_1)/p_1$	Absorção	%	6,38	6,21		

Peso específico das partículas secas	G _s =	2,222
Peso específico do material impermeável das partículas	G _h =	2,585
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca	G' _h =	2,362
Absorção	a=	6,30

Observação > 3/4#

Elaborado por: Nuno Teixeira

Verificado por: 

Data: 31/07/2009

Data: 20/08/09

Massa Volúmica e Absorção de Água de Britas e Godos

Data: 31-07-2009

Amostra nº: 266/09

Proveniência: Arvela Lda

Identificação da Amostra: RC&D

MASSA VOLÚMICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA DE BRITAS E GODOS

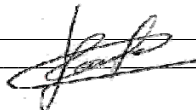
Temperatura de ensaio (°C): 25

	Ensaio nº		1	2		
p ₁	Peso de amostra seca no ar	g	1368,8	1372,3		
p ₂	Peso, no ar, da amostra saturada com a superfície seca	g	1476,2	1474,2		
p ₃	Peso, na água, da amostra saturada	g	846	848		
G _a	Peso específico da água à temperatura do ensaio	g/cm ³	0,99708	0,99708		
$p_1/(p_2-p_3)*G_a$	Peso específico das partículas secas	g/cm ³	2,166	2,185		
$p_1/(p_1-p_3)*G_a$	Peso específico do material impermeável das partículas	g/cm ³	2,611	2,610		
$p_2/(p_2-p_3)*G_a$	Peso específico das partículas saturadas com superfície seca	g/cm ³	2,336	2,347		
$100*(p_2-p_1)/p_1$	Absorção	%	7,85	7,43		

Peso específico das partículas secas	G _s = 2,175
Peso específico do material impermeável das partículas	G _h = 2,610
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca	G' _h = 2,341
Absorção	a= 7,64

Observação #>4 <3/4#

Elaborado por: Nuno Teixeira

Verificado por: 

Data: 31/07/2009

Data: 20/08/09

LIMITES DE CONSISTÊNCIA

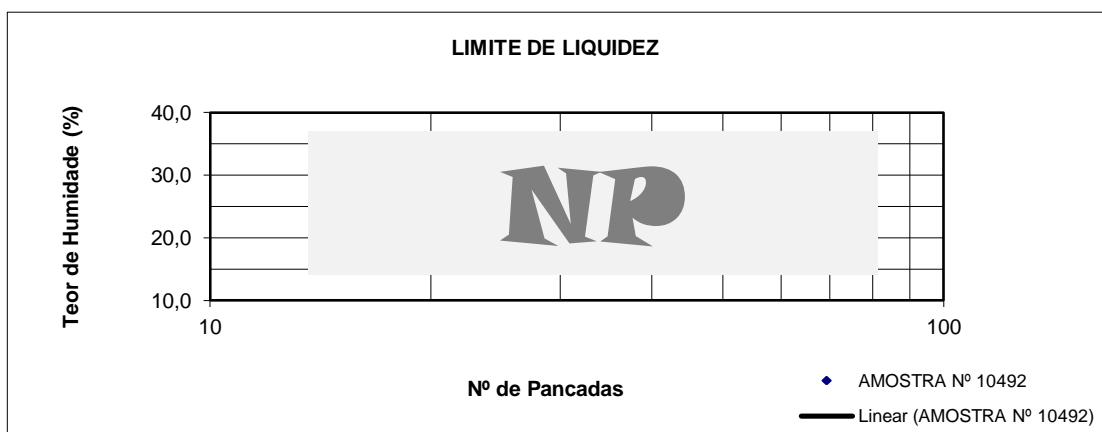
Material: "Tout - Venant" reciclado
Origem: Stock - Obra (Arvela e Inertegarve)

AMOSTRA Nº 10492
Data da Colheita: 13-Jan-10
Local da Colheita: Stock - Obra

EMPREITADA: AFR - Plano de Desenvolvimento - Ampliação e Requalificação das Infraestruturas nas Áreas Operacionais
CLIENTE: ANA - Aeroportos de Portugal, S.A.

Limite de liquidez

		Nº DE ENSAIO
m ₁	Massa do recipiente [0,025g]	NP
m ₂	Massa recipiente + provete húmido [0,025g]	
m ₃	Massa recipiente + provete seco [0,025g]	
w	Teor de humidade [0,1%]	
		N.º DE PANCADAS



LL - LIMITE DE LIQUIDEZ [1%] NP

Limite de plasticidade

		Nº DE ENSAIO
m ₁	Massa do recipiente [0,025g]	NP
m ₂	Massa recipiente + provete húmido [0,025g]	
m ₃	Massa recipiente + provete seco [0,025g]	
w	Teor de humidade [0,1%]	

LP - LIMITE DE PLASTICIDADE [1%] NP

Índice de plasticidade

LL - LP [1%] NP

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS (Tipo / Refª interna)

Almofariz - L00148 / Balança - L00195 / Concha de Casagrande manual - L00268 / Estufa ventilada - L00322 / Peneiro ASTM - L01383

Observações:

Ensaiado por:

Validado por:

Data: 25-Jan-10

Data: 5-Fev-10

SOLOS**ENSAIO DE COMPACTAÇÃO**

SOLOS

SOLS

SOILS

JUNHO 1967

SOLS**Essai de compactage****OBJET**

La présente spécification vise à établir le procédé à suivre pour la détermination du rapport entre la teneur en eau et la densité sèche des sols.

Parmi d'autres applications, l'essai de compactage permet d'établir un étalon pour le contrôle, sur place, de la densité et de l'humidité du sol.

1 — OBJECTO

A presente especificação destina-se a fixar o modo de determinar a relação entre o teor em água e a baridade seca dos solos.

Além de outras aplicações, o ensaio de compactação permite fixar um termo de comparação para o controle da baridade e da humidade no campo.

2 — TIPOS DE COMPACTAÇÃO

Dentre os tipos de compactação existentes, especificam-se os seguintes:

- compactação leve em molde pequeno;
- compactação pesada em molde pequeno;
- compactação leve em molde grande;
- compactação pesada em molde grande.

3 — APARELHOS E UTENSÍLIOS

a) Molde pequeno — Molde cilíndrico de aço, com 102 mm de diâmetro interior e 117 mm de altura, munido de alonga e base (fig. 1 e 3). A tara e a capacidade do molde devem ser registadas.

SOILS**Compaction test****SCOPE**

The present specification establishes the procedure to be followed for determining the water content dry unit weight ratio of soils.

In addition to other applications, the compaction test supplies a comparison term for density and humidity in situ control.

b) Molde grande — Molde cilíndrico de aço, com 152 mm de diâmetro interior e 178 mm de altura, munido de alonga, base e espaçador (fig. 2 e 4). Pode, em alternativa, utilizar-se um molde com o mesmo diâmetro e 114 mm de altura, sem espaçador. A tara e a capacidade do molde devem ser registadas.

c) Pilão de compactação leve, com 2,49 kg de massa, 305 mm de altura de queda e base de compactação de 50 mm de diâmetro (fig. 5).

d) Pilão de compactação pesada, com 4,54 kg de massa, 457 mm de altura de queda e base de compactação de 50 mm de diâmetro (fig. 6).

e) Extractor de provetas, de alavanca ou macaco.

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

g) Peneiros ASTM de malha quadrada de 50,8 mm, 19,0 mm e 4,76 mm (n.º 4) de abertura.

h) Rasoira com aresta biselada.

i) Utensílios diversos, tais como: tabuleiros, espátulas, colheres de jardineiro e pedreiro, provetas graduadas, repartidores.

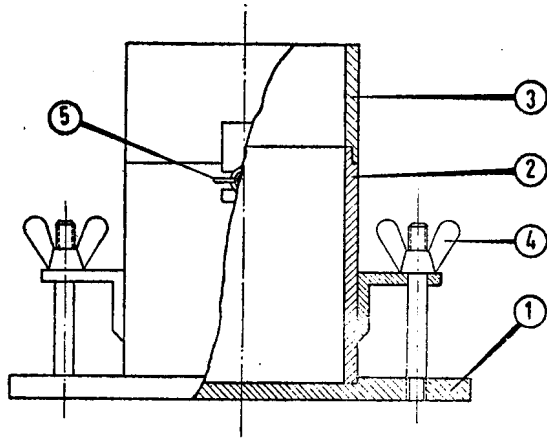


FIG. 1 — MOLDE PEQUENO
Conjunto

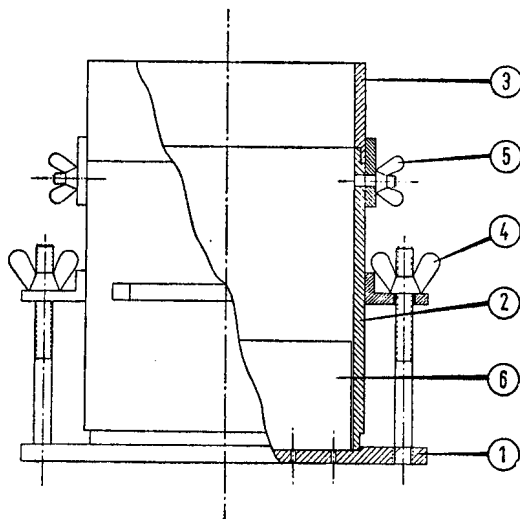


FIG. 2 — MOLDE GRANDE
Conjunto

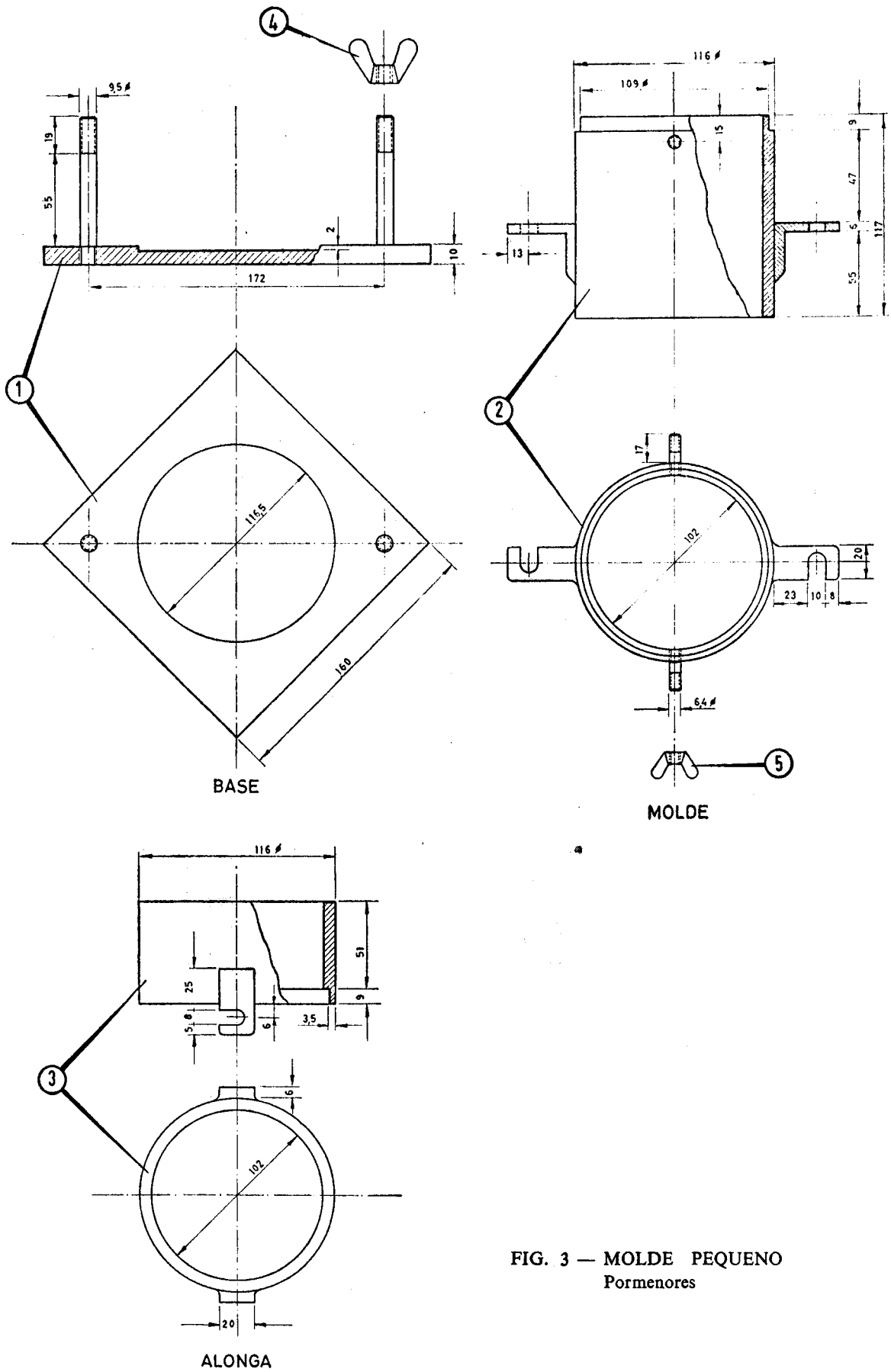


FIG. 3 — MOLDE PEQUENO
Pormenores

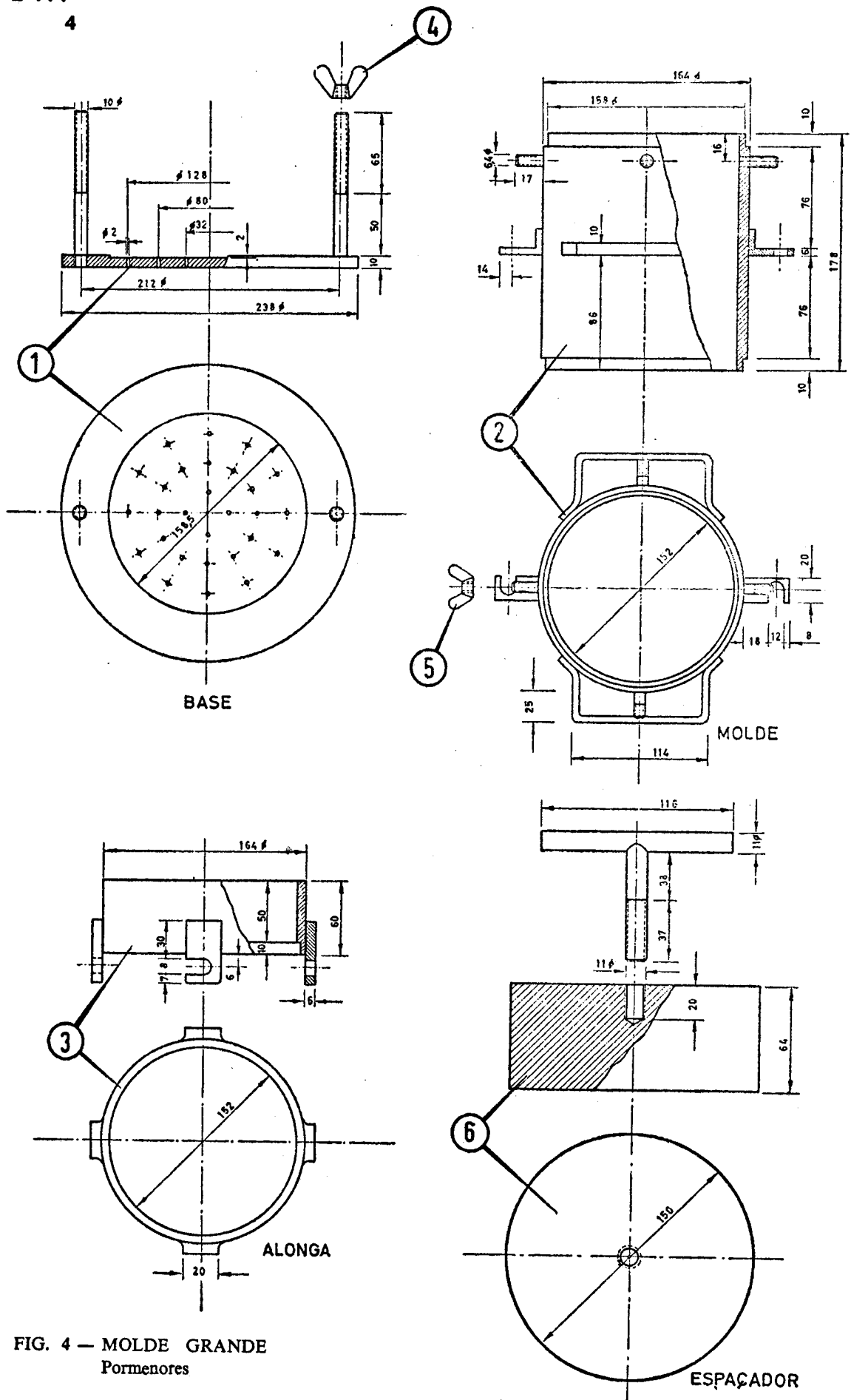


FIG. 4 — MOLDE GRANDE
Pormenores

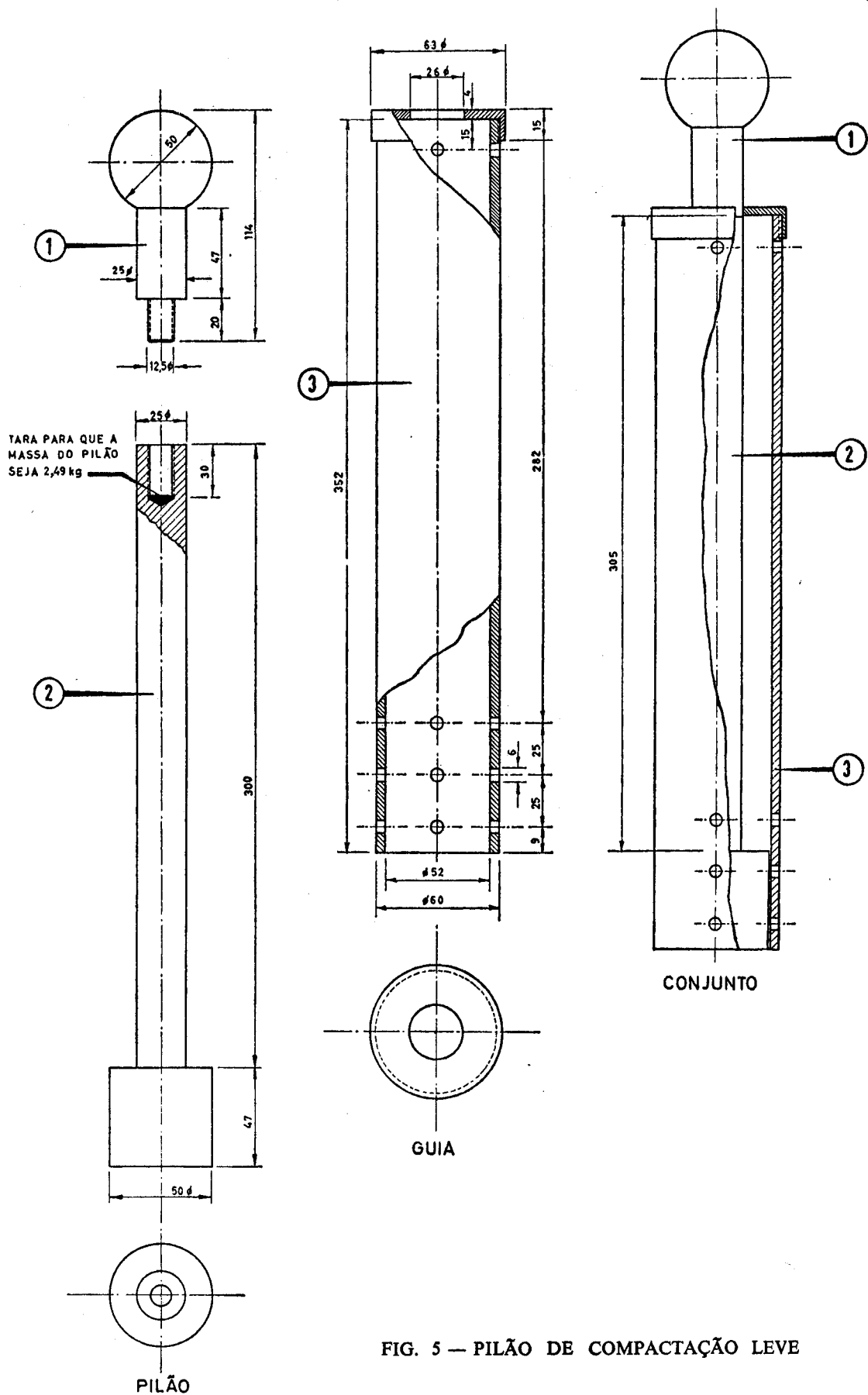


FIG. 5 — PILÃO DE COMPACTAÇÃO LEVE

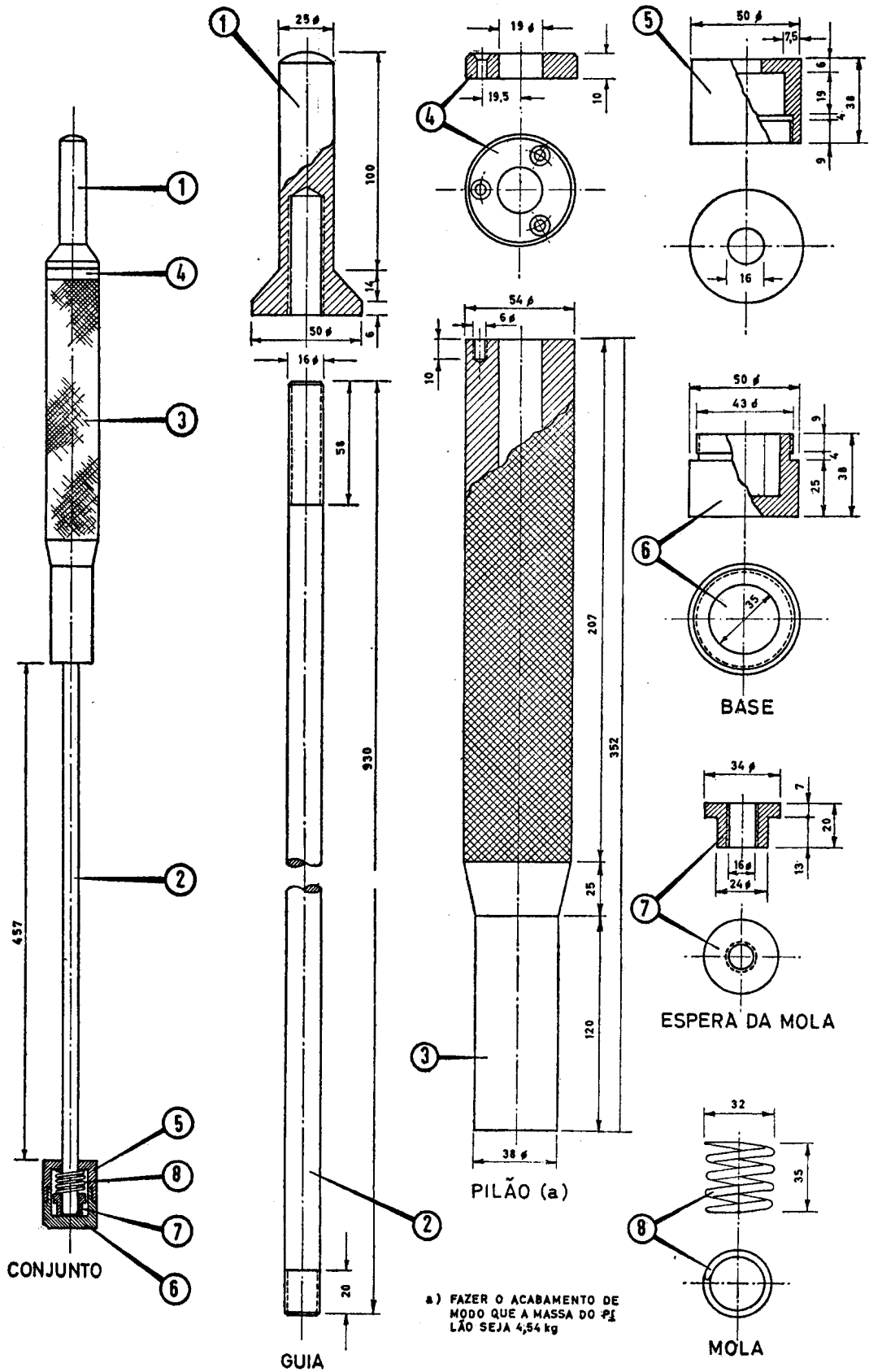


FIG. 6 — PILÃO DE COMPACTAÇÃO PESADA

4 — TÉCNICA

4.1 — Compactação leve em molde pequeno

a) Seca-se a amostra ao ar, espalhando-a em camada pouco espessa sobre um tabuleiro de dimensões adequadas.

Desfazem-se os torrões com cuidado para não reduzir o tamanho natural das partículas.

Esquartela-se a amostra até obter a quantidade de solo necessária para um ensaio (seis provetes, pelo menos). Passa-se o material através do peneiro de 4,76 mm (n.º 4) e rejeita-se a fracção retida; se esta for superior a 20% o ensaio não tem significado, devendo neste caso recorrer-se ao molde grande.

Do material obtido tiram-se pelo menos seis fracções, cada uma com o mínimo de 2 kg.

b) Mistura-se bem cada uma destas fracções de solo com a quantidade de água considerada suficiente para que os provetes fiquem com teores em água diferindo cerca de 2% entre si; quatro destes valores devem situar-se abaixo do valor provável do teor óptimo em água e dois deles devem situar-se acima.

Na compactação dos diferentes provetes com teores em água crescentes, o estacionamento ou a diminuição da massa dos provetes é indicação de se ter ultrapassado o teor óptimo em água.

Tratando-se de materiais argilosos, pode ser difícil misturar bem a água com o solo. Recomenda-se, para estes casos, deixar a mistura de solo e água durante pelo menos 12 horas em recipiente fechado.

c) Compacta-se cada uma das fracções de solo no molde pequeno, efectuando as seguintes operações:

— Aperta-se à base o molde com a alonga fixada.

— Dispõe-se o solo em cordão e divide-se em três partes sensivelmente iguais.

— Deita-se no molde uma das partes em que se dividiu o cordão de solo. Com o molde assente sobre uma base rígida, compacta-se o solo com 25 pancadas do pilão leve, distribuídas uniformemente sobre a superfície; a camada depois de compactada deve ficar com 4 a 4,5 cm de espessura.

— Deita-se no molde outra parte do cordão de solo para a camada seguinte e compacta-se da forma indicada.

— Repete-se a operação para a formação da terceira camada; a superfície desta deve exceder o bordo do molde, dentro da alonga, cerca de 1 cm.

— Retira-se a alonga e rasa-se cuidadosamente o molde, preenchendo-se qualquer concavidade eventualmente formada.

— Retira-se o molde da base, escova-se e pesa-se imediatamente o molde contendo o provete.

d) Extrai-se o provete do molde, retirando-se duas porções de solo do interior do provete a cerca de 2 cm de cada topo, para determinação, por média, do teor em água de acordo com a norma NP-84.

4.2 — Compactação pesada em molde pequeno

Procede-se do modo indicado em 4.1, com as seguintes alterações:

— A compactação faz-se em cinco camadas, em vez de três, daí resultando que o cordão de solo preparado para a operação é dividido em cinco partes e que a espessura de cada camada depois de compactada deve ser cerca de 2,5 cm.

— Emprega-se o pilão de compactação pesada, em vez do pilão leve.

4.3 — Compactação leve em molde grande

a) Seca-se a amostra ao ar, espalhando-a em camada pouco espessa sobre um tabuleiro de dimensões adequadas.

Desfazem-se os torrões com cuidado para não reduzir o tamanho natural das partículas. Rejeita-se todo o material retido no peneiro de 50,8 mm.

Esquartela-se a amostra até obter a quantidade de solo necessária para um ensaio (seis provetes, pelo menos).

Utilizando o peneiro de 19,0 mm, divide-se o material assim obtido em duas fracções que se pesam. Se a fracção retida for superior a 20% o ensaio não tem significado. No caso contrário, substitui-se esta fracção por igual massa de material passado no peneiro de 19,0 mm e retido no peneiro de 4,76 mm (n.º 4), e junta-se à fracção passada no peneiro de 19,0 mm. Homogeniza-se a mistura, que seguidamente se separa em pelo menos seis fracções, cada uma com o mínimo de 4,5 kg.

b) Mistura-se bem cada uma destas fracções de solo com a quantidade de água considerada suficiente para que os provetes fiquem com teores em água diferindo cerca de 2% entre si; quatro destes valores devem situar-se abaixo do valor provável de teor óptimo em água e dois deles devem situar-se acima.

Na compactação dos diferentes provetes com teores em água crescentes, o estacionamento ou a diminuição da massa dos provetes é indicação de se ter ultrapassado o teor óptimo em água.

Tratando-se de materiais argilosos, pode ser difícil misturar bem a água com o solo. Recomenda-se, para estes casos, deixar a mistura de solo e água durante pelo menos 12 horas em recipiente fechado.

c) Compacta-se cada uma das fracções de solo no molde grande, efectuando as seguintes operações:

— Coloca-se o espaçador sobre a base e aperta-se o molde com a alonga fixada.

— Dispõe-se o solo em cordão e divide-se em três partes sensivelmente iguais.

— Deita-se no molde uma das partes em que se dividiu o cordão de solo. Com o molde assente sobre uma base rígida, compacta-se o solo com 55 pancadas do pilão de compactação leve, distribuídas uniformemente sobre a superfície; a camada depois de compactada deve ficar com 4 a 4,5 cm de espessura.

— Deita-se no molde outra parte do cordão de solo para a camada seguinte e compacta-se da forma indicada.

— Repete-se a operação para formação da terceira camada; a superfície desta deve exceder o bordo do molde, dentro da alonga, cerca de 1 cm.

— Retira-se a alonga e rasa-se cuidadosamente o molde, preenchendo-se qualquer concavidade eventualmente formada.

— Retira-se o molde da base e o espaçador. Escova-se e pesa-se imediatamente o molde contendo o provete.

d) Extrai-se o provete do molde e retiram-se três porções de solo do interior do provete, a cerca de 2 cm de cada topo e no meio, para determinação, por média, do teor em água de acordo com a norma NP-84.

4.4 — Compactação pesada em molde grande

Procede-se do modo indicado em 4.3, com as seguintes alterações:

— A compactação faz-se em cinco camadas, em vez de três, daí resultando que o cordão de solo preparado para a operação é dividido em cinco partes e que a espessura de cada camada depois de compactada deve ser cerca de 2,5 cm.

— Emprega-se o pilão de compactação pesada, em vez do pilão leve.

5 — RESULTADOS

5.1 — Cálculos

A baridade seca do solo γ_s é calculada, para cada provete, pela seguinte expressão:

$$\frac{\gamma_w}{100 + W} \times 100$$

em que

γ_w — baridade húmida do solo, que é o quociente da massa do provete, expressa em gramas, pela capacidade do molde utilizado, expressa em centímetros cúbicos

W — teor em água do solo, expresso em percentagem.

Traça-se a curva baridade seca — teor em água, marcando em ordenadas os valores das baridades secas e em abcissas os respectivos teores em água, e determinam-se nesta os valores do teor óptimo em água e da baridade seca máxima, que correspondem ao ponto máximo da curva.

Juntamente com estes valores, anota-se o tipo de compactação usado (ver secção 2).

5.2 — Apresentação

A baridade seca máxima apresenta-se em gramas por centímetros cúbicos, arredondada às centésimas, e o teor óptimo em água apresenta-se em percentagem, arredondado às décimas.

Entidades que colaboraram com o Laboratório Nacional de Engenharia Civil na elaboração desta especificação

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

MINISTÉRIO DA HABITAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS
LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE VIAS DE COMUNICAÇÃO
NÚCLEO DE GEOTECNIA RODOVIÁRIA

COMPACTAÇÃO

DATA
25 / 3 / 80

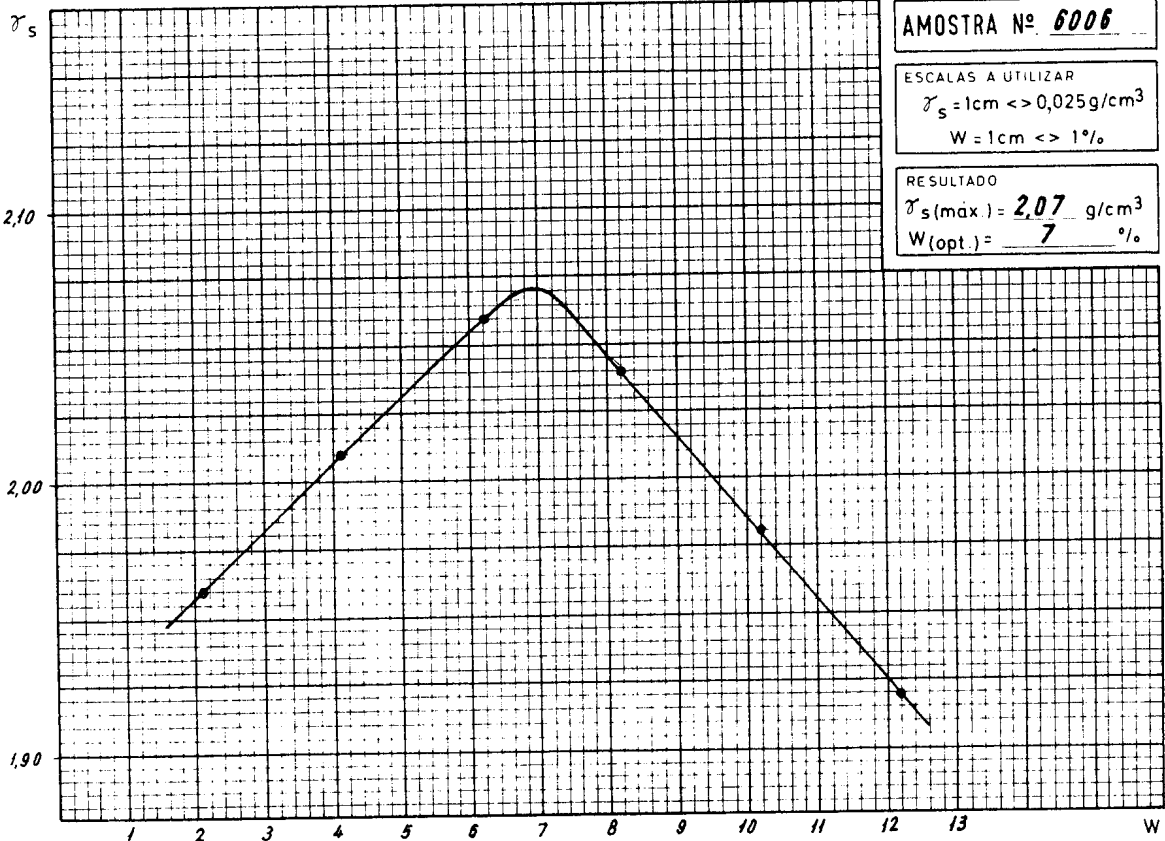
E 197 - 1966

PROCESSO Nº
91 / 3 / 7055

TIPO DE COMPACTAÇÃO **PESADA**

PESO DO PILÃO **4,54 kg** Nº DE CAMADAS **5** P_m-PESO DO MOLDE **4183 g**
 ALTURA DE QUEDA **45,7 cm** Nº DE PANCADAS/CAMADA **55** V -VOLUME DO MOLDE **2068 cm³**

ÁGUA MISTURADA (cm ³)		1	2	3	4	5	6						
P _t	PESO DO MOLDE+SOLO HÚMIDO (g)	8319	8513	8709	8754	8695	8622						
P = P _t - P _m	PESO DO SOLO HÚMIDO (g)	4136	4330	4526	4571	4512	4439						
$\gamma_w = P/V$	BARIDADE HUMIDA (g/cm ³)	2,00	2,09	2,19	2,21	2,18	2,15						
NÚMERO DA CAPSULA		169	562	90	160	547	64	559	79	91	168	538	566
m ₁	PESO DA CAPSULA (g)	20,17	34,31	19,84	20,22	31,18	20,45	30,36	19,83	20,40	20,20	31,48	31,50
m ₂	PESO DA CAPSULA+SOLO HUM (g)	160,40	185,27	96,72	117,39	122,06	98,20	103,84	95,09	121,10	124,68	140,80	147,46
m ₃	PESO DA CAPSULA+SOLO SECO (g)	157,52	182,17	93,73	113,58	116,82	93,69	98,28	89,37	111,78	114,98	128,94	134,96
W _s = m ₃ - m ₁	PESO DO SOLO SECO (g)	137,35	147,86	73,89	93,36	85,64	73,24	67,92	69,54	91,38	94,78	97,46	103,46
W _w = m ₂ - m ₃	PESO DA ÁGUA (g)	2,88	3,10	2,99	3,81	5,24	4,51	5,56	5,72	9,32	9,70	11,86	12,50
$\frac{W_w}{W_s} \times 100$	TEOR EM ÁGUA (%)	2,1	2,1	4,0	4,1	6,1	6,2	8,2	8,2	10,2	10,2	12,2	12,1
W	TEOR EM ÁGUA MÉDIO (%)	2,1	4,1	6,2	8,2	10,2	12,2						
$\gamma_s = \frac{100 \gamma_w}{100 + W}$	BARIDADE SECA (g/cm ³)	1,96	2,01	2,06	2,04	1,98	1,92						



ENSAIOU:

[Signature]

CALCULOU:

[Signature]

VERIFICOU:

Ensayo de carga con placa

1 OBJETO, FUNDAMENTO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma de ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para la realización del ensayo de carga con placa circular rígida.

1.2 El ensayo permite determinar las curvas cargas-asientos y, a partir de ellas, la deformabilidad y la capacidad portante del suelo. De estas curvas se pueden calcular el módulo de compresibilidad E_v y el módulo de reacción K_s .

1.3 El método consiste en medir, con los dispositivos que se describen en el apartado 3, el desplazamiento vertical de un punto de la superficie de un suelo situado en la vertical del centro de gravedad de una placa rígida cargada. En cada punto de ensayo se miden las deflexiones, producidas en dos o más ciclos de carga, respecto a una posición inicial de referencia. Conocidas las deflexiones del suelo y las cargas respectivas transmitidas por la placa se calculan los módulos referidos.

1.4 El método tiene aplicación tanto en obras civiles y de movimiento de tierras como en la construcción de carreteras y aeropuertos. Se puede utilizar en el control de la compactación de suelos y en la definición de los parámetros para el dimensionamiento de los firmes y de las capas de base.

2 DEFINICIONES

2.1 **Curva de cargas-asientos.** En el método se procede, de forma escalonada, a la carga y descarga, repetidas veces, de una placa circular mediante un dispositivo adecuado. Las tensiones normales medias σ_0 debajo de la placa y los correspondientes asientos, s , producidos en los distintos escalones de carga, se representan gráficamente en un diagrama denominado curva de cargas-asientos.

2.2 **Módulo de compresibilidad.** Este módulo, E_v , es una magnitud característica de la deformabilidad del suelo. Sus valores se calculan de la curva cargas-asientos en un primer ciclo de carga y

en un segundo ciclo de carga, a partir de la inclinación de la secante entre los puntos $0,3\sigma_{1\text{máx.}}$ y $0,7\sigma_{1\text{máx.}}$ por medio de la expresión:

$$E_v = 1,5r \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} \left[\frac{MN}{m^2} \right]$$

(Véase apartado 6.2)

2.3 **Módulo de reacción.** Este módulo, K_s , es una magnitud característica que define la elasticidad de la superficie del suelo sometido a carga. Se determina a partir de la curva cargas-asientos obtenida en el primer ciclo de carga mediante la expresión:

$$K_s = \frac{\sigma}{s} \left[\frac{MN}{m^3} \right]$$

(Véase apartado 6.3)

3 APARATOS Y MATERIAL NECESARIO

3.1 Aparato de carga con placa, compuesto por:

3.1.1 Placas de carga. Las placas de carga deben estar construidas de acero de calidad St52-3, como mínimo. La superficie inferior debe ser plana. En la zona superior debe disponer de un nivel de burbuja para ajustar horizontalmente y poder compensar inclinaciones de la placa de hasta 7 grados. Además la placa tendrá dos asas para su transporte. Se debe disponer de placas con los diámetros y características que se especifican:

a) Placas de carga con diámetro de 300 mm. Tendrán un espesor, como mínimo, de 25 mm y los dispositivos adecuados para poder efectuar mediciones en tres puntos distribuidos a 120° (Figura 1).

b) Placas de carga con diámetro de 600 mm y 762 mm. Estarán construidas con refuerzos en la cara superior, dispuestos radial y simétricamente de forma tal que se pueda apoyar sobre dicha cara la placa de 300 mm, descrita en el párrafo anterior, quedando ésta en un plano paralelo a la superficie

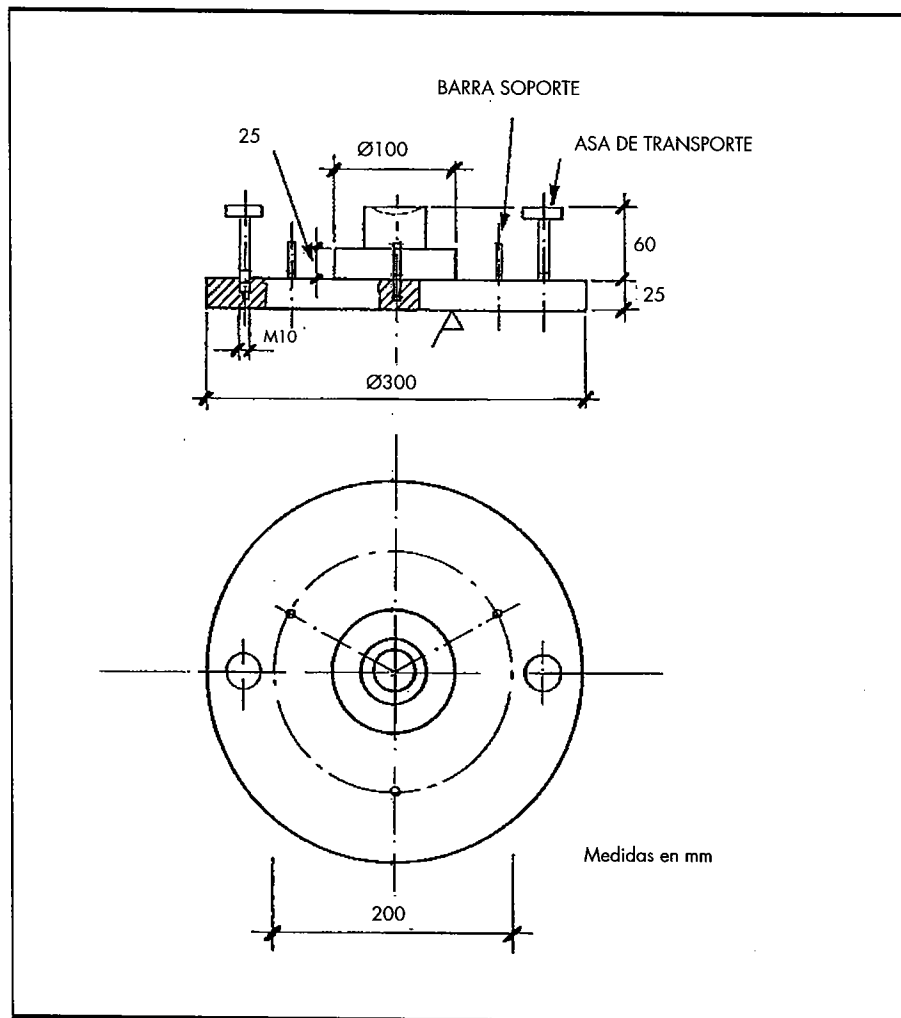


FIGURA 1. Placa de carga de 300 mm, para mediciones en tres puntos con un puente de medición.

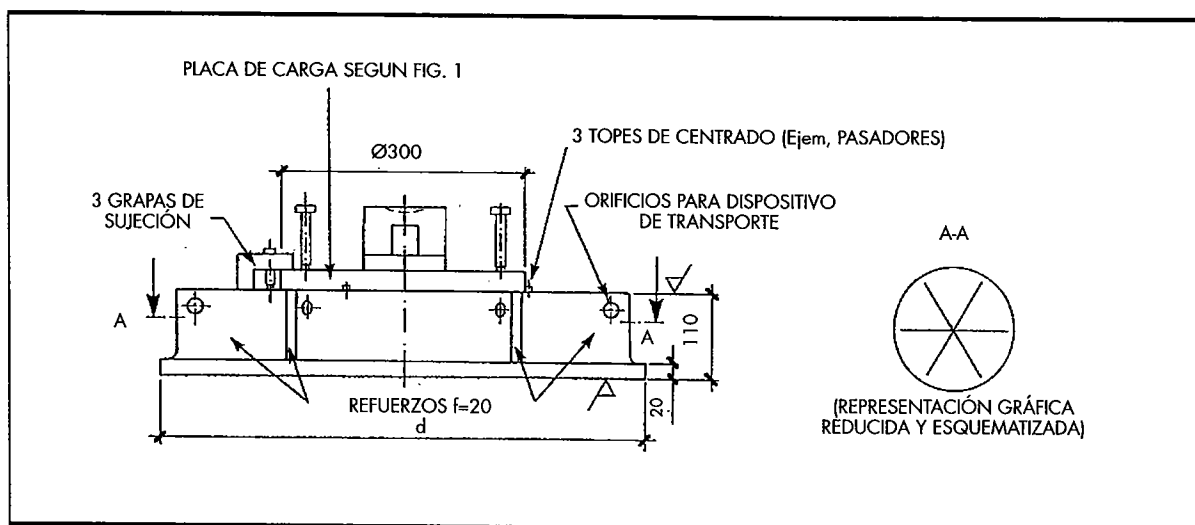


FIGURA 2. Placas de carga de 600 mm y 762 mm, con refuerzos dispuestos de forma radial y simétricamente.

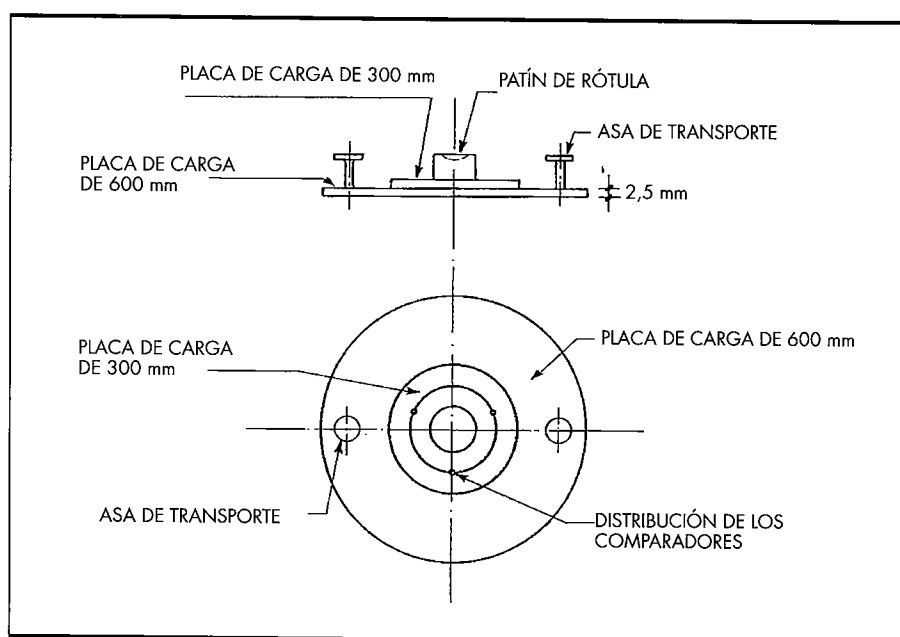


FIGURA 3. Placa de 600 mm. rigidizada mediante la colocación encima de la placa de 300 mm de forma concéntrica.

inferior (Figura 2). El espesor de estas placas será, como mínimo, de 25 mm.

En la mayoría de las ocasiones, para conseguir una rigidez adecuada se dispondrán las placas de la forma siguiente: La placa de 300 mm de diámetro se sitúa, concéntricamente, sobre la cara superior de la placa de 600 mm de diámetro. El contacto entre ambas placas será total en toda la superficie común (Figura 3). En el modo operativo con placa de 762 mm de diámetro se colocarán, análogamente, sobre la superficie superior de ésta las otras dos placas de 600 mm y 300 mm, quedando en la posición superior ésta última que es la que tiene los dispositivos adecuados para efectuar las mediciones en tres puntos equidistantes del centro de la placa (Figura 4). Para conseguir la posición correcta de las placas, tal como se ha descrito, se requiere el empleo de unas grasas de sujeción.

3.2 Reacción. Para la realización del ensayo es necesario un sistema de reacción, cuya carga útil sea, como mínimo, superior en 10 kN a la carga máxima necesaria para el ensayo. Se puede utilizar un camión o un remolque cargados, o bien un apoyo fijo adecuado.

3.3 Dispositivo de carga

3.3.1 El dispositivo de carga debe ser capaz de efectuar la carga y descarga sobre la placa de forma escalonada, rápida y segura. Para ello resulta conveniente el uso de un gato hidráulico co-

nectado a una bomba hidráulica mediante una manguera para altas presiones.

3.3.2 Bomba hidráulica. La presión de aceite debe generarse por medio de una bomba de émbolo de dos etapas que cambie automáticamente de baja a alta presión. Para poder reducir la presión con exactitud y de forma escalonada durante la descarga de la placa, la bomba debe disponer de una válvula reductora de presión. Tras periodos prolongados de inactividad, es necesario evacuar el aire acumulado en el sistema hidráulico antes de iniciar el primer ciclo de carga.

3.3.3 Manguera para alta presión. Se utilizará una manguera para alta presión de 3 m de longitud como mínimo, que disponga de racores de cierre automático en ambos extremos.

3.3.4 Cilindro o gato hidráulico. Para cargar la placa se utilizará un cilindro hidráulico de acción simple. Durante el proceso de descarga, el émbolo debe retornar automáticamente a su posición inicial. Este efecto se logra mediante la acción de un muelle recuperador situado en el interior del émbolo. A fin de conseguir una perfecta transmisión de la carga, el cilindro con el dinamómetro incluido, debe disponer de rótulas en ambos extremos.

El cilindro hidráulico debe incorporar los medios adecuados para evitar que se pueda volcar. Una vez preparado para la realización de la prueba, la altura del conjunto no debe superar los 600 mm. Para compensar posibles diferencias de altura de

los vehículos empleados como reacción, se pueden utilizar unos suplementos de longitud regulable que permitan la prolongación del émbolo hasta alcanzar los 1000 mm, como mínimo. Se debe tener especial precaución para asegurar que el conjunto sea totalmente rígido, utilizando por ejemplo, pasadores entre los diferentes suplementos. Estos pueden ser de longitudes diferentes y uno de ellos debe disponer de una zona roscada con tuerca. El desplazamiento del émbolo debe ser, como mínimo, de 150 mm. Además, para evitar que pandee o se acodale, debe presentar una guía de suficiente longitud en la que se solapan los dos segmentos, aun en la posición de máxima extensión.

3.4 Dispositivos para medición de las cargas.

Entre la placa y el sistema de aplicación de la carga, se sitúa un dispositivo de medida, mecánico o electrónico (células de carga) con objeto de poder medir directamente la carga aplicada, independientemente del control que se realice en el sistema de presión de aceite. Dicho medidor debe indicar la carga correspondiente con un margen de error equivalente, como máximo, al 1% de la carga máxima que se prevea alcanzar en el ensayo. Este dispositivo debe calibrarse cada 2 años.

3.5 Dispositivos para medir los asientos. La medida de los asientos de las superficies sometidas a las cargas durante el ensayo pueden realizarse

con la ayuda de un puente de medición y tres comparadores o tres transductores, calculándose de esta manera el asiento medio de la placa como media de las medidas tomadas en los tres puntos.

Los puentes de medición y los dispositivos de medida deben permitir el cálculo del asiento medio de la placa con una exactitud de 0,01 mm. El movimiento de la placa se medirá a lo largo del eje vertical al plano de la placa situado en el baricentro del triángulo equilátero formado por los tres puntos que, al inicio del ensayo, deben equidistar del centro, y que forman entre sí ángulos de 120°.

La disposición que se describe seguidamente cumple estos requisitos, ya que la placa de carga va provista de barras de soporte para los comparadores o transductores, los cuales apoyan sobre los suplementos de longitud situados en el puente medición. En ocasiones, el apoyo de los comparadores se puede hacer directamente sobre la placa. Lógicamente ésta será siempre la de 300 mm, cualquiera que sea la disposición elegida en los distintos tipos de montaje.

El puente de medición debe ser de fácil transporte, de manipulación segura e inherentemente estable, para lo que se precisa un apoyo sobre tres puntos. Resulta conveniente que la forma sea la de una Y, y que tenga largueros telescópicos (véase la Figura 5) que deben ser de acero inoxidable o de aluminio,

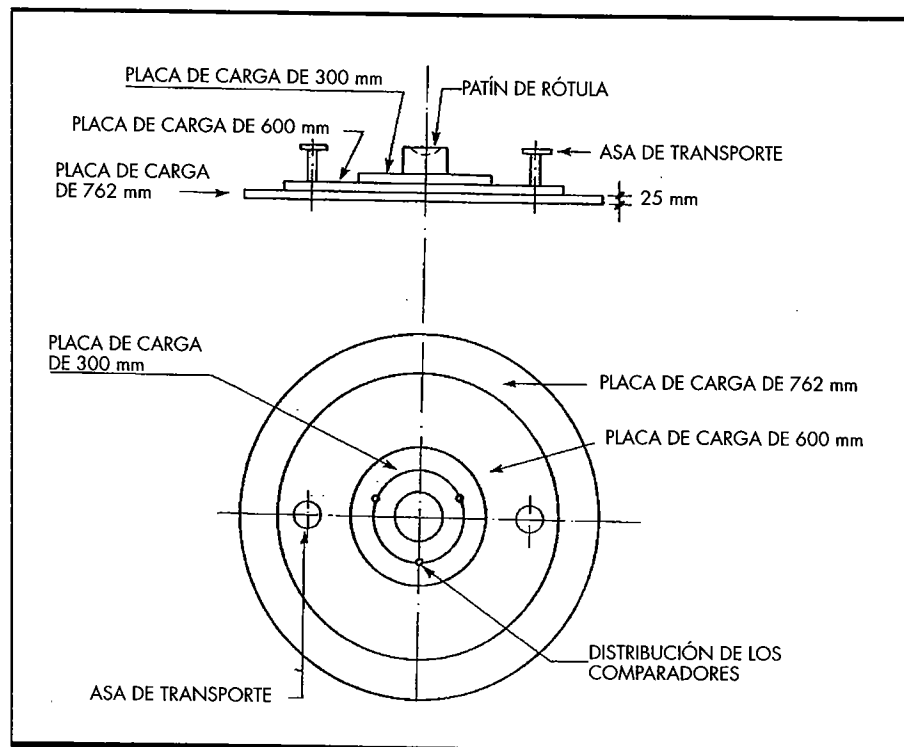


FIGURA 4. Placa de 762 mm, rigidizada mediante la colocación encima de dos placas concéntricas (1ª la de 600 mm y 2ª la de 300 mm).

y resistentes a la flexión. Para compensar las desigualdades del terreno se debe poder regular la altura de los soportes del puente de medición. Con una luz de 4 m, el momento resistente ha de ascender como mínimo a $W = 8 \text{ cm}^3$. También se puede emplear un puente de referencia de madera tratada antihumedad con objeto de que la climatología no le afecte.

Sobre el puente de medición se pueden colocar suplementos de longitud regulable en sentido horizontal, desplazables en toda la longitud del larguero y con superficie plana para situar los comparadores o transductores.

Los comparadores o transductores se fijan previamente a unas barras de soporte que van atornilladas a los casquillos roscados previstos a estos efectos y que se encuentran situados sobre la placa de carga. Dichos casquillos estarán dispuestos de forma simétrica y radial a 100 mm del centro de la placa. Las barras de soporte atornilladas deben tener una longitud de 400 a 600 mm. Los extremos superiores de las barras se unirán y fijarán por medio de un anillo. Los comparadores dispuestos en las barras de soporte deben estar colocados a la misma altura y a una distancia uniforme sobre la placa de carga, así como los soportes encontrarse alineados de tal manera que sus ejes estén orientados hacia el centro de la placa (véase la Figura 6).

3.6 Aparatos auxiliares. Palas, reglas de acero de 400 mm, 700 mm y 850 mm de longitud, cepillo de cerdas, llana, espátula, nivel de burbuja, plomada, metro peglable, arena seca de granulometría media, escayola, aceite, protección contra sol y viento.

4 CONDICIONES DE ENSAYO

El ensayo de carga con placa puede realizarse sobre distintos tipos de suelo, ya sean de granulometría gruesa, media o fina, y que varíen de rígidos a firmes. Directamente debajo de la placa, no debe encontrarse material granular con tamaño superior a una cuarta parte del diámetro de la placa.

En el caso de que se trate de arenas de granulometría uniforme, de arenas que se resequen con rapidez, de suelos que formen costras o se reblandezcan transitoriamente en superficie, así como de suelos que se alteren de cualquier otro modo en su capa superior, el ensayo de carga con placa debe realizarse siempre, por debajo de esta primera capa afectada. La densidad del suelo que se ha de estudiar debe mantenerse lo más inalterada posible.

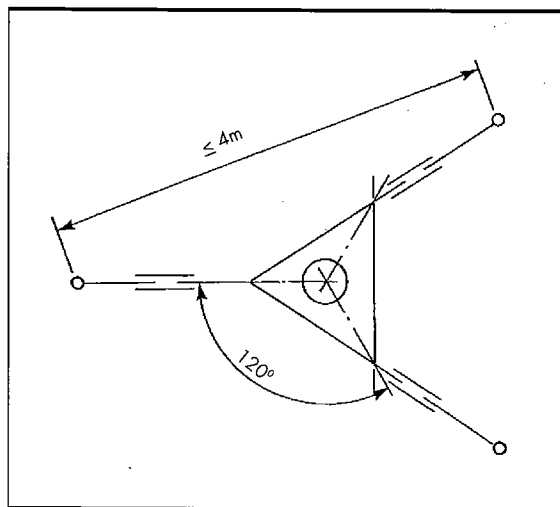


FIGURA 5. Planta del puente de medición.

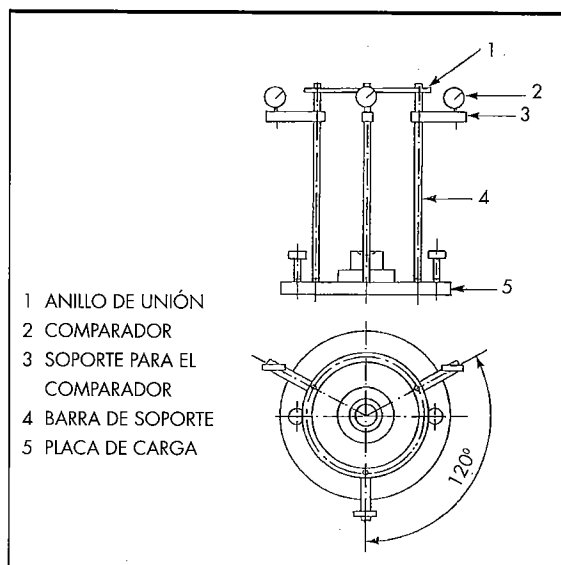


FIGURA 6. Disposición de los tres comparadores o transductores durante la aplicación del método de medición en tres puntos.

En el caso de suelos de granulometría fina (arenas sueltas, arcillas), el ensayo de carga con placa sólo podrá realizarse y valorarse adecuadamente cuando aquéllos posean una consistencia que varíe de rígida a firme. Por esta razón, en caso de duda, se determinará el contenido de agua del suelo a diferentes profundidades hasta llegar a $2r$ (r = radio de la placa de carga) por debajo de la superficie del punto de medición, ya que éste influye de forma decisiva en el resultado del ensayo.

Nota 1. Conviene hacer notar que el resultado del ensayo de carga con placa puede estar afectado por el contenido de humedad del suelo, por lo que conviene asegurar que éste sea representativo de las condiciones para las que se pretende ensayar el suelo.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Preparación de la superficie de ensayo.

Se prepara, en el emplazamiento en que se vaya a realizar el ensayo, una superficie plana lo suficientemente grande para situar adecuadamente la placa de carga. La zona así preparada debe ser lo más llana posible, utilizándose para ello los medios auxiliares necesarios (regla de acero o llana). Se eliminan las partículas granulares que se encuentren sueltas, utilizando el cepillo.

5.2 Instalación del equipo de carga con placa.

Se sitúa la placa en el lugar elegido y se presiona de forma que no queden puntos en los que no exista contacto entre el suelo y aquélla. Si fuera preciso enrasar o nivelar las desigualdades se extiende una capa de arena seca de granulometría media; o bien una pasta de escayola de escasos milímetros de espesor. En este caso último se aplica una película de aceite a la superficie de la placa. A continuación, se ajusta la placa de carga haciéndola girar y golpeándola suavemente sobre su superficie. Si la superficie de ensayo se encuentra inclinada se pondrá horizontalmente con ayuda del nivel esférico.

Si se utiliza pasta de escayola, se retira el material sobrante que rebose lateralmente con una espátula, antes de que solidifique. No debe iniciarse el ensayo antes de que la capa de escayola se haya secado. Se puede controlar el proceso de fraguado por medio de los restos de la escayola anteriormente retirados de los bordes.

Se coloca el cilindro hidráulico sobre la placa de carga formando ángulo recto con ella, y de forma que quede protegido contra posibles vuelcos. La distancia entre la placa de carga y la superficie de apoyo de la reacción debe ser como mínimo de 0,75 m para una placa de 300 mm de diámetro, de 1,10 m, para una placa de 600 mm de diámetro, y de 1,30 m, para una placa de 762 mm de diámetro. A fin de impedir desplazamientos en sentido transversal a la dirección de carga, se debe asegurar convenientemente el apoyo.

Nota 2. Por razones de seguridad laboral, deberá garantizarse una correcta estabilidad de la instalación de carga.

5.3 Colocación de los dispositivos para la medición de asientos. En el apartado 3.5 se indica el procedimiento para seguir en la colocación de los dispositivos de medida de los asientos.

Se aplica sobre la placa una precarga de 0,01 MN/m² durante unos 30 segundos. Se descarga

seguidamente y se ajustan a cero los comparadores o se toman sus lecturas, como valor de referencia para el ensayo. Si fuese preciso, se protege el dispositivo instalado para la toma de mediciones de los asientos con una lona contra sol y viento. Todo el conjunto debe estar adecuadamente protegido contra cualquier tipo de vibración durante la realización del ensayo.

5.4. Procesos de carga y descarga

5.4.1 Principio. La carga máxima, el asiento máximo o ambos para conseguir en el ensayo, dependen en cualquier caso de la finalidad del mismo, así como de las características del suelo y del tamaño de la placa.

5.4.2 Determinación del módulo de compresibilidad E_v . Para determinar el módulo de compresibilidad E_v en obras de movimientos de tierra y en obras de carreteras, es práctica habitual realizar el ensayo utilizando una placa de carga de 300 mm de diámetro, y aumentar progresivamente la carga hasta alcanzar un asiento de unos 5 mm o una tensión normal bajo la placa del orden de 0,5 MN/m².

Si se utiliza una placa de carga de 600 mm de diámetro, los valores límites correspondientes son de 7 mm y 0,25 MN/m²; análogamente, con una placa de 762 mm, los valores son de 13 mm y 0,2 MN/m², respectivamente.

El ensayo se interrumpirá en el caso en que se produzcan hundimientos con la correspondiente descarga, en materiales de baja resistencia (por ej., escoria de lava) o si, al aumentar la carga, se produce un fuerte incremento de las deformaciones indicando la inminencia de una rotura.

El proceso de carga debe incluir, como mínimo, seis escalones con intervalos aproximadamente iguales entre ellos. En caso de comprobarse que a lo largo del ensayo los primeros intervalos de carga elegidos han resultado ser excesivamente elevados o excesivamente pequeños, se seleccionan otros más adecuados según sea el caso. El intervalo de tiempo entre dos escalones de carga sucesivos debe ser de un minuto, como mínimo.

En los ciclos de carga y descarga únicamente se puede pasar al nivel siguiente cuando las variaciones de levantamiento o asentamiento, tomadas cada 2 minutos, no sean superiores a 0,2 mm/min. En el caso de capas de base, el tiempo

entre lecturas en cada escalón de carga se puede reducir a 1 minuto. La carga aplicada debe permanecer constante durante los diferentes escalones de carga.

Si la medición de los asientos se realiza con 3 comparadores, el primer comparador se lee 10 seg antes de la finalización del tiempo de espera. Una vez efectuada la primera lectura del comparador, debe procurarse que el incremento de carga se realice siempre a intervalos iguales.

Si al efectuar la carga se aplicara por error una carga superior a la debida, ésta no se puede reducir, debiendo por tanto mantenerse y efectuar la anotación pertinente en el impreso de datos, conjuntamente con los valores medidos.

El proceso de descarga se debe realizar en 3 escalones: 50%, 25% y 0% de la carga máxima. Una vez finalizada la descarga, se realiza otro nuevo ciclo de carga, aunque sólo se debe llegar hasta el penúltimo escalón de los aplicados en el primer ciclo, a fin de permanecer dentro de la condición de precarga.

Para comprobar el segundo ciclo de carga, se puede efectuar, después de la descarga completa por etapas del segundo ciclo, un tercer ciclo de carga en forma análoga, pero aplicando después del segundo nivel de carga, inmediatamente, la carga final del segundo ciclo, sin necesidad de aplicar las cargas correspondientes a las etapas intermedias.

5.4.3 Determinación del módulo de reacción K_S . Para determinar el módulo de reacción K_S , de aplicación al dimensionamiento de firmes en la construcción de carreteras y aeropuertos, como norma general, se debe realizar el ensayo con una placa de carga circular de 762 mm de diámetro. La precarga de $0,01 \text{ MN/m}^2$ se debe mantener hasta que la variación del asiento de la placa sea inferior a $0,02 \text{ mm/min}$. A partir de este momento, la carga se incrementa en escalones de carga con una tensión normal de $0,04 \text{ MN/m}^2$; $0,08 \text{ MN/m}^2$; $0,14 \text{ MN/m}^2$ y $0,2 \text{ MN/m}^2$. Antes de aplicar cada escalón de carga, se espera hasta que la variación del asiento no supere los $0,02 \text{ mm/min}$. Para la descarga, basta con introducir un escalón intermedio de $0,08 \text{ MN/m}^2$.

Nota 3. Al determinar el módulo elástico de reacción para losas de cimentación, se debe tener en cuenta la dependencia que dicho módulo tiene de la superficie cargada (véase la norma DIN 4018).

5.5 Preparación de la superficie de emplazamiento de la placa mediante excavado. En caso de obtenerse unos resultados de ensayo desproporcionados, por ejemplo una acusada inclinación transversal de la placa de carga (la burbuja del nivel se sale por completo del centro de círculo), o hundimientos muy grandes de la placa, será necesario proceder a la excavación del lugar en el que se ha realizado el ensayo hasta alcanzar una profundidad equivalente al diámetro de la placa. Si en el proceso aparecen piedras, suelos con una consistencia inferior a rígida, o bien suelos con contenido de agua muy altos o muy bajos, se debe hacer constar este hecho en el impreso de ensayo.

6 EVALUACIÓN Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS

6.1 Curva cargas-asientos. La tensión normal media σ , obtenida en cada escalón de carga y el asiento correspondiente medido con los comparadores o transductores, se anotarán en los impresos (veáanse los ejemplos de aplicación).

La presión correspondiente a cada escalón de carga y el valor medio de las lecturas de los asientos medidos, con los tres comparadores o transductores, se representarán gráficamente de

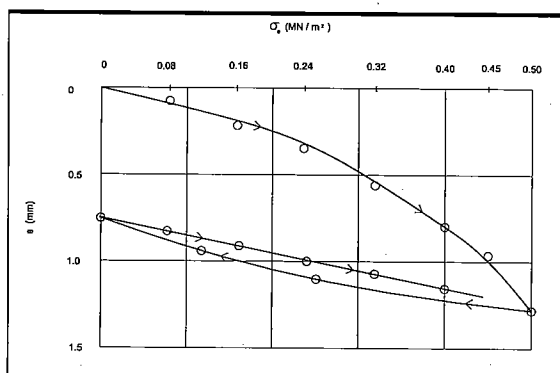


FIGURA 7. Curva cargas-asientos.

la forma que se indica en la Figura 7. Es conveniente identificarlos con facilidad. Además, para diferenciar entre procesos de carga y descarga, se deberá poner flechas que indiquen el sentido de recorrido del ensayo.

En el caso de suelos con módulos de compresibilidad muy elevados y cuando se utilice en el ensayo la placa de carga de 762 mm de diámetro, se deberá tener siempre en cuenta, en su valoración, la flexión que experimenta la placa. Para ello, es preciso controlar el hundimiento medio de la placa mediante la utilización de comparadores o transductores complementarios.

Con el fin de establecer el estado de compactación, además del valor del módulo de compresibilidad obtenido, se puede utilizar también la forma y el tipo de curva cargas-asientos. En el resultado del ensayo deben reflejarse los siguientes datos:

- Situación del lugar de ensayo.
- Diámetro de la placa de carga.
- Tipo de dispositivo utilizado en la medición de asientos; si fuera preciso se utilizará un factor de conversión.
- Tipo de suelo.
- Tipo de base de la placa.
- Tiempos de comienzo y finalización del ensayo.
- Condiciones atmosféricas y temperatura.
- Personal participante en el ensayo.
- Descripción de cualquier anomalía observada durante el ensayo y de los cambios que haya sido necesario efectuar con respecto al procedimiento estándar.
- Valores de las tensiones aplicadas y de las lecturas correspondientes de los medidores de asientos.
- Curvas cargas-asientos.
- Si se considera necesario, comentarios acerca de la excavación llevada a cabo en el lugar de ensayo.

Nota 4. En los impresos 1 y 2 se recogen, a título de ejemplo, los datos correspondientes al primer y segundo ciclo de carga de un ensayo realizado con la placa de 300 mm. De igual manera se recopilan en el impreso 3 los datos obtenidos durante un ensayo realizado con placa de diámetro 762 mm.

6.2 Cálculo del módulo de compresibilidad E_v . Los módulos de compresibilidad se calculan por medio de la curva cargas-asientos del primer ciclo de carga y del segundo ciclo de carga, a partir de la inclinación de la secante entre los puntos $0,3 \sigma_{m\acute{a}x}$ y $0,7\sigma_{m\acute{a}x}$ mediante la expresión:

$$E_v = 1,5r \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} \quad [MN / m^2]$$

$$\Delta\sigma = \sigma_{02} - \sigma_{01}$$

$$\Delta s = s_2 - s_1$$

siendo:

σ_{01} Tensión normal media bajo la placa, para $0,3 \sigma_{m\acute{a}x}$ (MN/m²)

- s_1 Asentamiento medio de la placa correspondiente a la presión anterior (mm).
- σ_{02} Tensión normal media bajo la placa para $0,7 \sigma_{m\acute{a}x}$ (MN/m²)
- s_2 Asentamiento medio de la placa correspondiente a la presión anterior (mm).
- r Radio de la placa de carga (mm).

El módulo de deformación del primer ciclo se identifica con el subíndice 1 (E_{v1}), y el del segundo ciclo con el subíndice 2 (E_{v2}). (Véase ejemplo).

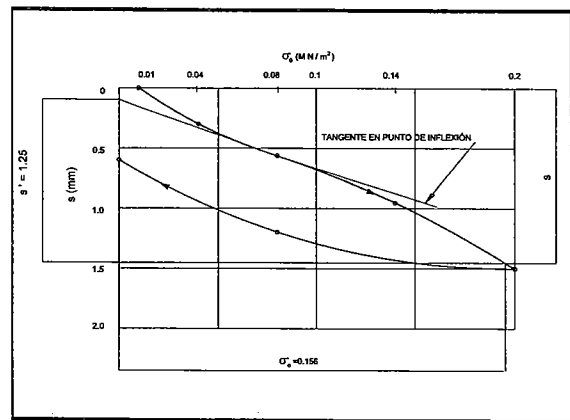


FIGURA 8. Curva cargas-asientos para determinar el módulo de reacción K_s .

6.3 Cálculo del módulo de reacción K_s .

Para determinar el módulo de reacción K_s se utiliza el primer ciclo de carga. En la curva cargas-asientos (véase figura 8) se lee la presión σ_0 que corresponde al asentamiento, s, fijado. El módulo de reacción se calcula mediante la expresión:

$$K_s = \frac{\sigma_0}{s} \quad [MN / m^3]$$

En la construcción de carreteras y aeropuertos se determina la tensión σ_0 medida con una placa de carga con un diámetro de 762 mm, que equivale a un asentamiento medio de $s = 0,00125$ m (1,25 mm).

Según la forma que tenga la curva cargas-asientos, puede ser preciso realizar una corrección del punto cero por medio de la tangente en el punto de inflexión, relacionando el asiento obtenido con el nuevo cero ya corregido (véase el ejemplo del apartado 7.2).

ENSAYO DE CARGA CON PLACA									
ENSAYO N°: 1		SITUACIÓN: XXXXXXXX		FECHA: 12-5-97		TEMPERATURA: 18°C		DIÁMETRO DE LA PLACA: 300 mm	
CLASE DE SUELO: Arena de miga			HORA COMIENZO : 10			HORA TERMINACIÓN: 12			
PRIMER CICLO DE CARGA Y DESCARGA									
CICLO N°	Carga (kN)	Tensión Normal (MN/m ²)	Tiempo (Min.)	Lectura de comparadores (10 ² mm)			(a+b+c) × 1/3 (10 ² mm)	Asiento (mm)	Observaciones
				a	b	c			
	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	5,65	0,08	2,00	7,00	6,00	8,00			
	5,65	0,08	4,00	7,00	6,00	8,00			
	5,65	0,08	6,00	7,00	6,00	8,00	7,00	0,07	
	11,31	0,16	2,00	19,00	18,00	20,00			
	11,31	0,16	4,00	20,00	19,00	21,00			
	11,31	0,16	6,00	20,00	19,00	21,00	20,00	0,20	
	16,86	0,24	2,00	30,00	31,00	30,00			
	16,86	0,24	4,00	31,00	31,00	31,00			
	16,86	0,24	6,00	31,00	31,00	31,00	31,00	0,31	
	22,62	0,32	2,00	52,00	53,00	51,00			
	22,62	0,32	4,00	53,00	54,00	53,00			
	22,62	0,32	6,00	53,00	54,00	53,00	53,00	0,53	
	28,27	0,40	2,00	79,00	78,00	81,00			
	28,27	0,40	4,00	80,00	79,00	81,00			
	28,27	0,40	6,00	80,00	82,00	81,00	80,00	0,80	
	31,81	0,45	2,00	95,00	84,00	95,00			
	31,81	0,45	4,00	96,00	86,00	97,00			
	31,81	0,45	6,00	96,00	96,00	97,00	95,00	0,95	
	35,34	0,50	2,00	127,00	127,00	128,00			
	35,34	0,50	4,00	128,00	128,00	129,00			
	35,34	0,50	6,00	128,00	128,00	129,00	128,00	1,25	
	17,67	0,25	2,00	113,00	112,00	113,00			
	17,67	0,25	4,00	113,00	113,00	113,00			
	17,67	0,25	6,00	113,00	113,00	113,00	113,00	1,13	
	8,48	0,12	2,00	94,00	96,00	95,00			
	8,48	0,12	4,00	94,00	96,00	95,00			
	8,48	0,12	6,00	95,00	96,00	95,00	95,00	0,95	
	0,00	0,00	2,00	75,00	74,00	74,00			
	0,00	0,00	4,00	75,00	74,00	75,00			
	0,00	0,00	6,00	75,00	75,00	75,00	75,00	0,75	

IMPRESO 1.

N°	Carga F (kN)	Tensión normal σ_o (MN/m ²)	Asiento centro de placa s (mm)
0	0	0	0
1	5,65	0,08	0,07
2	11,31	0,16	0,20
3	16,86	0,24	0,31
4	22,62	0,32	0,53
5	28,27	0,40	0,80
6	31,81	0,45	0,96
7	35,34	0,50	1,28
8	17,67	0,25	1,13
9	8,48	0,12	0,95
10	0	0	0,75

TABLA 1. Valores medidos, primer ciclo de carga y descarga.

ANEJO (informativo)

7 EJEMPLOS DE APLICACIÓN**7.1 Determinación del módulo de compresibilidad E_v .**

Diámetro de la placa de carga: 300 mm

Base de la placa : escayola

De los impresos 1 y 2 se toman los datos para confeccionar las tablas 1 y 2, así como la curva cargas-asientos de la fig. 7. En la tabla 3 se resumen los datos obtenidos de esta curva, aplicando la expresión del apartado 6.2.

7.2 Determinación del módulo de reacción K_s

Diámetro de la placa: 762 mm

Base de la placa: arena fina

Véanse la tabla 4 y la figura 8, obtenidos con los datos procedentes del impreso 3

8 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

DIN 18134, "Baugrund, Untersuchung von Böden. Platten druckversuch" 1976. ("Subsoil; testing procedure and testing apparatus; plate load test").

N°	Carga F (kN)	Tensión normal σ_o (MN/m ²)	Asiento centro de placa s (mm)
10	0	0	0,75
11	5,65	0,08	0,81
12	11,31	0,16	0,88
13	16,86	0,24	0,97
14	22,62	0,32	1,04
15	28,27	0,40	1,15
16	31,81	0,45	1,23

TABLA 2. Valores medidos, segundo ciclo de carga.

ENSAYO DE CARGA CON PLACA

ENSAYO N°: 1 SITUACIÓN: XXXXXX FECHA: 12-5-97 TEMPERATURA: 18°C DIÁMETRO DE LA PLACA: 300 mm.
 CLASE DE SUELO: Arena de miga HORA COMIENZO : 10 HORA TERMINACIÓN: 12

SEGUNDO CICLO DE CARGA

CICLO N°	Carga (kN)	Tensión Normal (MN/m ²)	Tiempo (Min.)	Lectura de comparadores (10 ⁻² mm)			(a+b+c) x 1/3 (10 ⁻² mm)	Asiento (mm)	Observaciones
				a	b	c			
2	0,00	0,00		75,00	75,00	75,00	75,00	0,75	
	5,65	0,08	2,00	79,00	81,00	80,00			
	5,65	0,08	4,00	80,00	82,00	81,00			
	5,65	0,08	6,00	80,00	82,00	81,00	81,00	0,81	
	11,31	0,16	2,00	88,00	87,00	85,00			
	11,31	0,16	4,00	89,00	88,00	85,00			
	11,31	0,16	6,00	89,00	88,00	86,00	88,0	0,88	
	16,86	0,24	2,00	96,00	97,00	96,00			
	16,86	0,24	4,00	97,00	97,00	96,00			
	16,86	0,24	6,00	97,00	97,00	96,00	97,00	0,97	
	22,62	0,32	2,00	104,00	104,00	104,00			
	22,62	0,32	4,00	104,00	105,00	104,00			
	22,62	0,32	6,00	104,00	105,00	104,00	104,00	1,04	
	28,27	0,40	2,00	115,00	116,00	114,00			
	28,27	0,40	4,00	115,00	116,00	115,00			
	28,27	0,40	6,00	115,00	116,00	115,00	115,00	1,15	
	31,81	0,45	2,00	123,00	123,00	124,00			
31,81	0,45	4,00	123,00	123,00	124,00				
31,81	0,45	6,00	123,00	123,00	124,00	123,00	1,23		

IMPRESO 2.

	Primer ciclo de carga	Segundo ciclo de carga
$\Delta\sigma = \sigma_{02} - \sigma_{01}$ [MN/m ²]	0,20	0,20
$\Delta S = S_2 - S_1$ [mm]	0,47	0,21
$E_v = 1,5 r \frac{\Delta\sigma}{\Delta S}$ [MN/m ²]	95,7	214,2
E_{v2} / E_{v1}	2,23	

TABLA 3. Fusión de los resultados.

Nº	Carga F (kN)	Tensión normal σ_o (MN/m ²)	Asiento centro de placas (mm)
0	4,38	0,01	0
1	18,24	0,04	0,31
2	36,48	0,08	0,56
3	63,85	0,14	0,97
4	91,21	0,20	1,53
5	36,48	0,08	1,16
6	0,00	0,00	0,57

Resultado de la valoración con punto cero corregido 0 :

$$K_s = \frac{\sigma_o}{s} = \frac{0,186}{0,00125} = 148,8 \text{ MN/m}^3$$

TABLA 4. Valores medidos

ENSAYO DE CARGA CON PLACA									
ENSAYO N°: 3 SITUACIÓN: XXXXXXXX FECHA: 12-4-97 TEMPERATURA: 15°C DIÁMETRO DE LA PLACA: 762 mm.									
CLASE DE SUELO: Arena de miga HORA COMIENZO : 11 HORA TERMINACIÓN: 13									
PRIMER CICLO DE CARGA									
CICLO N°	Carga (kN)	Tensión normal (MN/m ²)	Tiempo (Min.)	Lectura de comparadores (10 ⁻² mm)			(a+b+c)x1/3 (10 ⁻² mm)	Asiento (mm)	Observaciones
				a	b	c			
1	4,38	0,01	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	18,24	0,04	2,00	29,00	31,00	30,00			
	18,24	0,04	4,00	30,00	32,00	31,00			
	18,24	0,04	6,00	30,00	32,00	31,00	31,00	0,31	
	36,48	0,08	2,00	54,00	57,00	54,00			
	36,48	0,08	4,00	55,00	58,00	55,00			
	36,48	0,08	6,00	55,00	58,00	55,00	56,00	0,56	
	63,85	0,14	2,00	96,00	97,00	97,00			
	63,85	0,14	4,00	96,00	98,00	97,00			
	63,85	0,14	6,00	96,00	98,00	97,00	97,00	0,97	
	91,21	0,20	2,00	153,00	152,00	151,00			
	91,21	0,20	4,00	154,00	153,00	152,00			
	91,21	0,20	6,00	154,00	153,00	152,00	153,00	1,53	
	36,48	0,08	2,00	115,00	116,00	116,00			
	36,48	0,08	4,00	116,00	116,00	117,00			
	36,48	0,08	6,00	116,00	116,00	117,00	116,00	1,16	
	0,00	0,00	2,00	127,00	127,00	128,00			
	0,00	0,00	4,00	128,00	128,00	129,00			
0,00	0,00	6,00	58,00	57,00	56,00	57,00	0,57		

CONTROLO DE COMPACTAÇÃO - BARIDADE E TEOR EM ÁGUA IN SITU

Amostra de Ref.ª / Amostra N.º :

10492

Descrição da Amostra:

ARBE Reciclado

EMPREITADA:

AFR - Ampliação e requalificação das infra-estruturas nas áreas de

CLIENTE:

ANIA - Anónimos de Portugal

Aparelho Nuclear:	344n	Calibração Real do aparelho		Calibração do dia	Desvio
Troxler nº	16266	DS- Baridade Standard	2441	2400	-0,2
		MS- Humidade Standard	661	654	-0,2

Baridade máxima seca / corrigida:	1,91	Média Ponderada [MVAA]:		W / W _{corrigido} :	8,9
-----------------------------------	------	-------------------------	--	------------------------------	-----

N.º do Ensaio	N.º	21	22	23	24	25	26	27	28
Perfil / Km	PK								
Faixa	ESQ/DIR								
Cota	Z								
Profundidade a que se efectuou o ensaio	"	0	15	0	15	0	15	0	15
Baridade Húmida	BW	2119	2076	2130	2135	2081	2132	2102	2071
Teor em Água (%)	W	12,7	9,9	10,6	9,7	10,0	10,4	10,8	8,8
Baridade Seca (g/cm ³)	BS	1891	1899	1927	1946	1892	1931	1897	1903
Grau de Compactação (%)	GC	99,0	98,9	100,7	101,9	99,9	101,1	99,3	99,6
Índice de Vazios	IV								

N.º do Ensaio	N.º								
Perfil / Km	PK								
Faixa	ESQ/DIR								
Cota	Z								
Profundidade a que se efectuou o ensaio	"								
Teor em Água (%)	BW								
Teor em Humidade (%)	W								
Baridade Seca (g/cm ³)	BS								
Grau de Compactação (%)	GC								
Índice de Vazios	IV								

Observações:

camada do leito do pavimento
Ensaio realizado com o aparelho da plataforma nascente lado norte
aparelho condicionada ao ensaio de carga com placa

Esquema de localização

10492

Ensaiado por:

Validado por:

Data:

Data:

CONTROLO DE COMPACTAÇÃO - BARIDADE E TEOR EM ÁGUA IN SITU

Amostra de Ref.^a / Amostra N.º :

10492

Descrição da Amostra:

AB66 recortado

EMPREITADA:

AFR: Ampliação e requalificação das infra-estruturas nos eixos op

CLIENTE:

ANA Aeroportos do Portugal

Aparelho Nuclear:	3440	Calibração Real do aparelho		Calibração do dia	Desvio
Troxler nº	16266	DS- Baridade Standard	2441	2400	-0,2
		MS- Humidade Standard	661	654	-0,2

Baridade máxima seca / corrigida:	1,91	Média Ponderada [MVAA]:		W / W _{corrigido} :	8,9
-----------------------------------	------	-------------------------	--	------------------------------	-----

N.º do Ensaio	N.º	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Perfil / Km	PK										
Faixa	ESQ/DIR										
Cota	Z										
Profundidade a que se efectuou o ensaio	"	0	15	0	15	0	15	0	15	0	15
Baridade Húmida	BW	2100	2097	2113	2056	2100	2071	2100	2099	2118	2057
Teor em Água (%)	W	9,1	8,0	9,9	9,5	9,6	10,1	8,7	8,5	10,4	8,9
Baridade Seca (g/cm ³)	BS	1974	1942	1923	1878	1915	1881	1932	1927	1979	1869
Grau de Compactação (%)	GC	100,8	101,7	100,4	98,3	100,3	98,5	101,2	100,9	100,4	98,9
Índice de Vazios	IV										

N.º do Ensaio	N.º	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Perfil / Km	PK									
Faixa	ESQ/DIR									
Cota	Z									
Profundidade a que se efectuou o ensaio	"	0	15	0	15	0	15	0	15	0
Teor em Água (%)	BW	2150	2105	2115	2105	2136	2076	2129	2099	2081
Teor em Humidade (%)	W	13,9	12,1	11,6	11,5	10,9	10,8	9,6	9,6	13,8
Baridade Seca (g/cm ³)	BS	1888	1870	1895	1871	1927	1892	1942	1897	1882
Grau de Compactação (%)	GC	98,8	98,3	99,2	98,0	100,7	99,1	101,7	99,3	98,0
Índice de Vazios	IV									

Observações: camada do leito de pavimento platifonins recentemente colocado Norte
ensaio realizado com o aparelho da fiscalização
aproveito condicionado ao ensaio de carga com placa

Esquema de localização

PAU 92

Ensaiado por: *[assinatura]* Validado por: *[assinatura]*
Data: 11/Mar/2010 Data: 11/Mar/2010

ENSAIO DE CARGA COM PLACA

Material ensaiado: "Tout Venant" reciclado Esp. da camada: 0,30 m Ensaio N.º 1/10
Local do ensaio: Plataforma Nascente Camada ensaiada: Leito do Pavimento Data: 8-Jan-10

Empreitada: AFR - Plano de Desenvolvimento - Ampliação e Requalificação das Infra-estruturas nas Áreas Operacionais
Cliente: ANA – Aeroportos de Portugal

PLACA Ø	600	(mm)	RAIO	300	(mm)	ÁREA DA PLACA	2827	(cm ²)
---------	-----	------	------	-----	------	---------------	------	--------------------

TENSÃO	1º CICLO	2,50 bar	0,25 Mpa
	2º CICLO	2,50 bar	0,25 Mpa

Tensão		Assentamento (mm)	
Bar	Mpa	1º Ciclo	2º Ciclo
0,000	0,000	0,00	0,86
0,500	0,050	0,61	1,23
1,000	0,100	1,00	1,37
1,500	0,150	1,35	1,50
2,000	0,200	1,62	1,70
2,500	0,250	1,88	1,80
1,250	0,125	1,80	
0,625	0,063	1,60	
0,000	0,000	0,86	

	Primeiro ciclo de carga	Segundo ciclo de carga
$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$ [MPa]	0,10	0,10
$\Delta s = s_2 - s_1$ [mm]	0,68	0,30
$EV1 = 1,5 \cdot r \cdot \Delta\sigma_1 / \Delta s_1$ [Mpa]	66,2	150,0
EV2/EV1	2,3	
EV2 [Mpa]	150,0	

OBSERVAÇÕES

Parâmetros mínimos para aprovação de camada (Caderno de Encargos):

- a) Camada Sub-Leito do pavimento: $Ev_2 \geq 80$ Mpa e $Ev_2/Ev_1 \leq 2,2$
- b) Camada Leito do pavimento: $Ev_2 \geq 100$ Mpa e $Ev_2/Ev_1 \leq 2,2$
- c) Camada Sub-Base em ABGE: $Ev_2 \geq 190$ Mpa e $Ev_2/Ev_1 \leq 2,2$
- d) Camada Base em ABGE: $Ev_2 \geq 350$ Mpa e $Ev_2/Ev_1 \leq 2,2$

Elaborado por: _____

Verificado por: _____

Data: 8-Jan-10

Data: 13-Jan-10

RELATÓRIO DE ENSAIO

NLT 357/98

ENSAIO DE CARGA COM PLACA

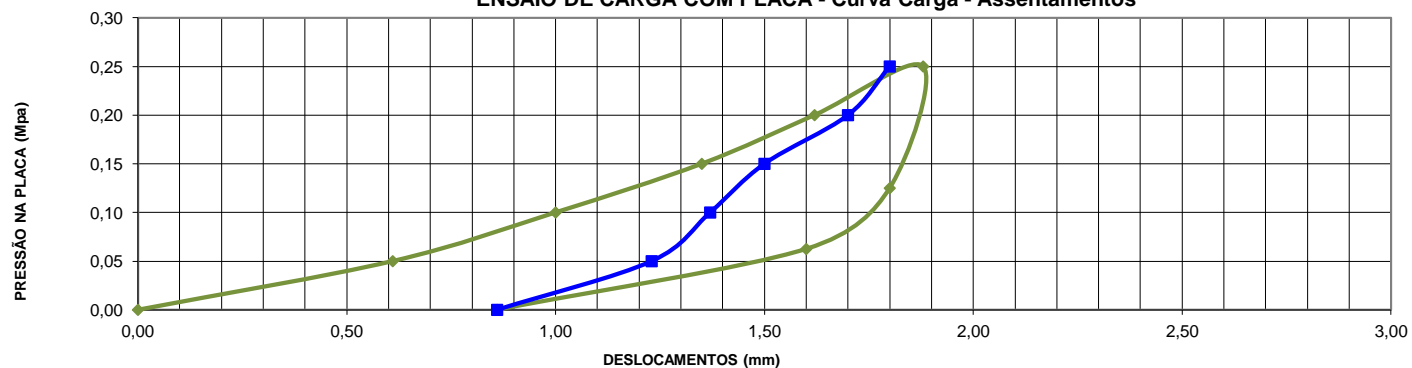
Material ensaiado: "Tout Venant" reciclado Esp. da camada: 0,30 m Ensaio N.º 1/10
Local do ensaio: Plataforma Nascente Camada ensaiada: Leito do Pavimento Data: 8-Jan-10

Empreitada: AFR - Plano de Desenvolvimento - Ampliação e Requalificação das Infra-estruturas nas Áreas Operacionais
Cliente: ANA – Aeroportos de Portugal

PLACA Ø	600	(mm)	RAIO	300	(mm)	ÁREA DA PLACA	2827	(cm ²)
---------	-----	------	------	-----	------	---------------	------	--------------------

TENSÃO	1º CICLO	2,50 bar	0,25 Mpa
	2º CICLO	2,50 bar	0,25 Mpa

ENSAIO DE CARGA COM PLACA - Curva Carga - Assentamentos



OBSERVAÇÕES

Parâmetros mínimos para aprovação de camada (Caderno de Encargos):

- Camada Sub-Leito do pavimento: $Ev2 \geq 80$ Mpa e $Ev2/Ev1 \leq 2,2$
- Camada Leito do pavimento: $Ev2 \geq 100$ Mpa e $Ev2/Ev1 \leq 2,2$
- Camada Sub-Base em ABGE: $Ev2 \geq 190$ Mpa e $Ev2/Ev1 \leq 2,2$
- Camada Base em ABGE: $Ev2 \geq 350$ Mpa e $Ev2/Ev1 \leq 2,2$

Elaborado por: _____

Verificado por: _____

Data: 8-Jan-10

Data: 13-Jan-10

ENSAIO DE CARGA COM PLACA

Material ensaiado: "Tout Venant" reciclado Esp. da camada: 0,30 m Ensaio N.º 09/10
 Local do ensaio: Plataforma Nascente - Lado Norte Camada ensaiada: Leito do Pavimento Data: 28-Jan-10
 Empreitada: AFR - Plano de Desenvolvimento - Ampliação e Requalificação das Infra-estruturas nas Áreas Operacionais
 Cliente: ANA – Aeroportos de Portugal

PLACA Ø	600	(mm)	RAIO	300	(mm)	ÁREA DA PLACA	2827	(cm ²)
---------	-----	------	------	-----	------	---------------	------	--------------------

TENSÃO	1º CICLO	2,50 bar	0,25 Mpa
	2º CICLO	2,50 bar	0,25 Mpa

Tensão		Assentamento (mm)	
Bar	Mpa	1º Ciclo	2º Ciclo
0,000	0,000	0,00	2,66
0,500	0,050	2,26	2,89
1,000	0,100	2,62	3,13
1,500	0,150	2,93	3,25
2,000	0,200	3,20	3,37
2,500	0,250	3,43	3,48
1,250	0,125	3,35	
0,625	0,063	3,20	
0,000	0,000	2,66	

	Primeiro ciclo de carga	Segundo ciclo de carga
$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$ [MPa]	0,10	0,10
$\Delta s = s_2 - s_1$ [mm]	0,63	0,30
$EV1 = 1,5 \cdot r \cdot \Delta\sigma_1 / \Delta s_1$ [Mpa]	72,0	150,0
EV2/EV1	2,1	
EV2	150,0	

OBSERVAÇÕES

Parâmetros mínimos para aprovação de camada (Caderno de Encargos):

- a) Camada Sub-Leito do pavimento: $Ev_2 \geq 80$ Mpa e $Ev_2/Ev_1 \leq 2,2$
 - b) Camada Leito do pavimento: $Ev_2 \geq 100$ Mpa e $Ev_2/Ev_1 \leq 2,2$
 - c) Camada Sub-Base em ABGE: $Ev_2 \geq 190$ Mpa e $Ev_2/Ev_1 \leq 2,2$ (Pavimento Tipo I) e $Ev_2 \geq 150$ Mpa e $Ev_2/Ev_1 \leq 2,2$ (Pavimento Tipo II)
 - d) Camada Base em ABGE: $Ev_2 \geq 350$ Mpa e $Ev_2/Ev_1 \leq 2,2$ (Pavimento Tipo I) e $Ev_2 \geq 330$ Mpa e $Ev_2/Ev_1 \leq 2,2$ (Pavimento Tipo II)
- Pavimento Tipo I (RET 28 e TWY E) / Pavimento Tipo II (RET 10 e TWY F)

Elaborado por: _____

Verificado por: _____

Data: 28-Jan-10

Data: 28-Jan-10

RELATÓRIO DE ENSAIO

NLT 357/98

ENSAIO DE CARGA COM PLACA

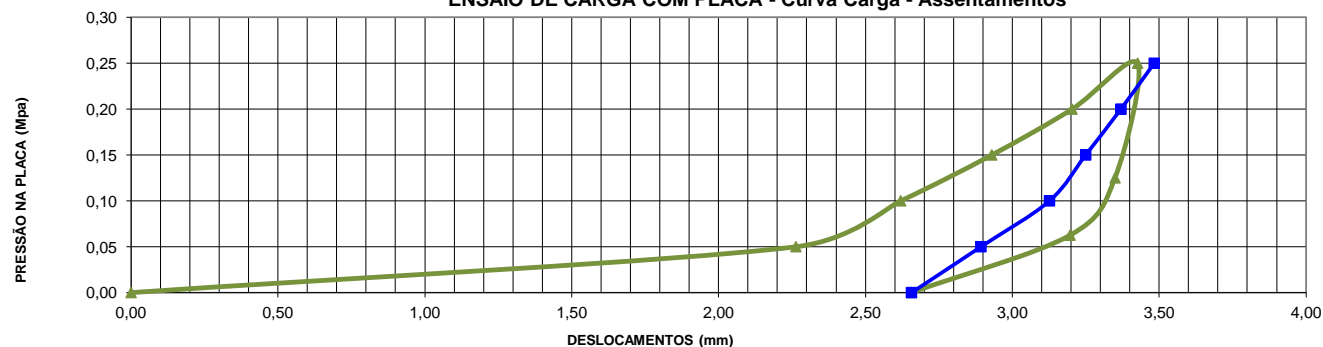
Material ensaiado: "Tout Venant" reciclado Esp. da camada: 0,30 m Ensaio N.º 09/10
 Local do ensaio: Plataforma Nascente - Lado Norte Camada ensaiada: Leito do Pavimento Data: 28-Jan-10

Empreitada: AFR - Plano de Desenvolvimento - Ampliação e Requalificação das Infra-estruturas nas Áreas Operacionais
 Cliente: ANA – Aeroportos de Portugal

PLACA Ø	600	(mm)	RAIO	300	(mm)	ÁREA DA PLACA	2827	(cm ²)
---------	-----	------	------	-----	------	---------------	------	--------------------

TENSÃO	1º CICLO	2,50 bar	0,25 Mpa
	2º CICLO	2,50 bar	0,25 Mpa

ENSAIO DE CARGA COM PLACA - Curva Carga - Assentamentos



OBSERVAÇÕES

Parâmetros mínimos para aprovação de camada (Caderno de Encargos):

- a) Camada Sub-Leito do pavimento: $Ev2 \geq 80$ Mpa e $Ev2/Ev1 \leq 2,2$
 - b) Camada Leito do pavimento: $Ev2 \geq 100$ Mpa e $Ev2/Ev1 \leq 2,2$
 - c) Camada Sub-Base em ABGE: $Ev2 \geq 190$ Mpa e $Ev2/Ev1 \leq 2,2$ (Pavimento Tipo I) e $Ev2 \geq 150$ Mpa e $Ev2/Ev1 \leq 2,2$ (Pavimento Tipo II)
 - d) Camada Base em ABGE: $Ev2 \geq 350$ Mpa e $Ev2/Ev1 \leq 2,2$ (Pavimento Tipo I) e $Ev2 \geq 330$ Mpa e $Ev2/Ev1 \leq 2,2$ (Pavimento Tipo II)
- Pavimento Tipo I (RET 28 e TWY E) / Pavimento Tipo II (RET 10 e TWY F)

Elaborado por: _____

Verificado por: _____

Data: 28-Jan-10

Data: 28-Jan-10

[Descrição do Transporte]

Rendimento Carga	100 ton/h	Tempo associado à descarga	5 min
Rendimento Descarga	50 ton/h	Distância do percurso (ida e volta)	2 km
Carga Camião	25 ton	Velocidade média do percurso	66 km/h
Tempo associado à carga	5 min	Portagens (ida e volta)	

Rendimento Condicionante	50 ton/h	Tempo de descarga	35 min
Tempo de frete	57 min	Tempo em trânsito	2 min
Tempo de carga	20 min		

Camiões teóricos necessários **1,89**

Camiões a requisitar **3 camiões**

Custo Transporte para **3 camiões**

1,34 € / ton

Obs: