



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
Núcleo de Infra-estruturas Rodoviárias
e Aeroportuárias

Proc. 0702/14/17383

SUPREMA – APLICAÇÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM INFRAESTRUTURAS RODOVIÁRIAS

Relatório de progresso do projeto PTDC/ECM/100931/2008 – Ano 2

Projeto PTDC/ECM/100931/2008

Lisboa • fevereiro 2012

I&D TRANSPORTES

RELATÓRIO 234/2012 – DT/NIRA

**“SUPREMA – APLICAÇÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)
EM INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS ”**

RELATÓRIO DE PROGRESSO DO PROJETO PTDC/ECM/100931/2008 – ANO 2

**"SUPREMA – SUSTAINABLE APPLICATION OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION RECYCLED
MATERIALS (C&DRM) IN ROAD INFRASTRUCTURES "**

PROGRESS REPORT OF PROJECT PTDC/ECM/100931/2008 – YEAR 2

**“SUPREMA – APPLICATION SOUTENUE DE DECHETS DE CONSTRUCTION ET DEMOLITION DANS
DES INFRASTRUCTURES ROUTIERES ”**

RAPPORT D'ACTIVITES DE PROJECT PTDC/ECM/100931/2008 – ANNEE 2

**“SUPREMA – APLICAÇÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)
EM INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS ”**

RELATÓRIO DE PROGRESSO DO PROJETO PTDC/ECM/100931/2008 – ANO 2

Índice

1 	INTRODUÇÃO	1
2 	CONSTITUIÇÃO DA EQUIPA	4
3 	REUNIÕES EFETUADAS	5
4 	AQUISIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO E SERVIÇOS	7
5 	ESTUDO EXPERIMENTAL.....	8
5.1	AÇÕES DESENVOLVIDAS	8
5.2	CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL DOS MATERIAIS	12
5.2.1	<i>Considerações gerais</i>	<i>12</i>
5.2.2	<i>Propriedades geométricas dos agregados.....</i>	<i>13</i>
5.2.3	<i>Propriedades físicas e mecânicas dos agregados.....</i>	<i>20</i>
5.2.4	<i>Características de compactação</i>	<i>23</i>
5.2.5	<i>Caracterização ambiental.....</i>	<i>25</i>
5.3	TRECHOS EXPERIMENTAIS	28
5.3.1	<i>Localização e geometria dos trechos experimentais</i>	<i>28</i>
5.3.2	<i>Ensaio de carga com deflectómetro de impacto (FWD).....</i>	<i>30</i>
5.3.3	<i>Dimensionamento do pavimento.....</i>	<i>34</i>
5.3.4	<i>Instrumentação das secções experimentais</i>	<i>41</i>
6 	PUBLICAÇÕES.....	44
7 	MISSÕES	45
8 	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
9 	REFERÊNCIAS	48
10 	ANEXO I - PROPOSTA DE PROGRAMAÇÃO DO PROJETO SUPREMA.....	49
11 	ANEXO II - RESULTADOS DOS ENSAIOS	55

Índice de Figuras

Figura 5.1 Central móvel de britagem de RCD, no Seixal	12
Figura 5.2 Colheita de amostras de RCD, no Seixal, para caracterização laboratorial	12
Figura 5.3 Constituintes das amostras de Betão Britado (ARB_R1) e Betão Britado Misto (ARM_R2), de acordo com a norma EN 933-11:2009	13
Figura 5.4 Constituintes das amostras de Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1) e de Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2), de acordo com a norma EN 933-11:2009	14
Figura 5.5 Constituintes da amostra de Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	15
Figura 5.6 Constituintes da amostra de Betão Britado Misto (ARM_R2)	15
Figura 5.7 Constituintes da amostra de Betão Britado (ARB_R1)	16
Figura 5.8 Curvas granulométricas dos vários tipos de RCD analisados	17
Figura 5.9 Aspeto do cesto de rede metálica para ensaio da fração 63/31,5 mm	20
Figura 5.10 Aspeto do picnómetro de vidro para ensaio da fração 31,5/0,063 mm	21
Figura 5.11 Aspeto das partículas dos RCD após o ensaio de desgaste micro-Deval	23
Figura 5.12 Curvas de compactação Proctor dos materiais estudados	24
Figura 5.13 Compactação da amostra 70% ABGE_N + 30% Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	25
Figura 5.14 Ensaio de lixiviação	26
Figura 5.15 Localização dos trechos experimentais	29
Figura 5.16 Geometria de implantação dos trechos experimentais	29
Figura 5.17 Equipamento FWD do LNEC	30
Figura 5.18 Resultados dos ensaios com FWD	31
Figura 5.19 Ajustamento dos defletogramas experimental e de cálculo	33
Figura 5.20 Classes de tráfego	36
Figura 5.21 Instrumentação das secções experimentais	42

Índice de Quadros

Quadro 3.1 Reuniões realizadas no âmbito do projeto FCT	5
Quadro 5.1 Ensaios realizados.....	9
Quadro 5.2 Constituintes das amostras de RCD.....	14
Quadro 5.3 Granulometria dos vários tipos de RCD analisados	17
Quadro 5.4 Índice de Forma (SI) dos vários tipos de RCD analisados.....	18
Quadro 5.5 Índice de Achatamento (FI) dos vários tipos de RCD analisados	18
Quadro 5.6 Valores do equivalente de areia (SE) das amostras submetidas a ensaio	19
Quadro 5.7 Valores do Azul de Metileno (MB) das amostras submetidas a ensaio.....	20
Quadro 5.8 Valores das massas volúmicas e da absorção de água dos RCD	21
Quadro 5.9 Coeficiente de Los Angeles dos vários tipos de RCD analisados.....	22
Quadro 5.10 Coeficiente de micro-Deval dos vários tipos de RCD analisados.....	23
Quadro 5.11 Resultados do ensaio de compactação Proctor	25
Quadro 5.12 Resultados dos ensaios de lixiviação – EN 12457-4	26
Quadro 5.13 Resultados dos ensaios de lixiviação – NP EN 1744-3.....	27
Quadro 5.14 Valores associados às deflexões normalizadas (μm).....	32
Quadro 5.15 Estrutura do pavimento tipo.....	35
Quadro 5.16 Tráfego inicial (Ano 0)	36
Quadro 5.17 Temperatura anual do ar, pela metodologia da Shell.....	37
Quadro 5.18 Previsão do módulo de deformabilidade da mistura betuminosa	39
Quadro 5.19 Características de deformabilidade das camadas do pavimento	39
Quadro 5.20 Cálculos da análise estrutural do pavimento.....	40
Quadro 5.21 Verificação da capacidade de carga do pavimento projetado	41
Quadro 5.22 Número de equipamentos	42
Quadro 6.1 Documentos elaborados no âmbito do projeto SUPREMA	44
Quadro 7.1 Deslocações efetuadas no âmbito do projeto SUPREMA	45

**“SUPREMA – APLICAÇÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)
EM INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS ”**

RELATÓRIO DE PROGRESSO DO PROJETO PTDC/ECM/100931/2008 – ANO 2

1 | INTRODUÇÃO

O presente projeto visa contribuir para a aplicação sustentável de materiais provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) em infra-estruturas rodoviárias, através da viabilização da sua utilização em camadas granulares não ligadas de base e de sub-base e de leito de pavimento.

O principal objetivo do Projeto SUPREMA é dar resposta às questões colocadas pelo meio técnico nacional e internacional sobre a reciclagem de RCD nas aplicações acima mencionadas, através do desenvolvimento das seguintes linhas de investigação:

- avaliação das características geomecânicas e geoambientais de diferentes tipos de RCD, função da origem, metodologia de triagem e composição final,
- comportamento de RCD enquanto materiais granulares não ligados e sua comparação com os materiais naturais,
- determinação dos parâmetros a utilizar no dimensionamento de pavimentos, considerando a aplicação de RCD,
- estudo dos aspetos construtivos a desenvolver e aplicar, função do tipo de RCD, para a utilização destes materiais em camadas não ligadas de base e de sub-base e de leito de pavimento.

Os principais resultados esperados com o desenvolvimento deste projeto são a elaboração de recomendações práticas para projeto e construção de pavimentos rodoviários com a utilização de RCD, que incluirá um guia para a aplicação de misturas betuminosas fresadas como materiais granulares não ligados em camadas de sub-base e de leito de pavimento.

Os membros da equipa de investigação pertencentes às duas instituições integradas neste projeto, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC) e o Instituto Superior Técnico (IST), participam em todas as tarefas listadas acima, como investigadores, líderes das tarefas e supervisores científicos.

As tarefas previstas para o Ano 2 dizem respeito ao desenvolvimento das ações a seguir apresentadas.

- I. Execução de ensaios triaxiais cíclicos sobre amostras selecionadas de RCD e de agregados naturais previamente selecionados a partir do conjunto de materiais caracterizados laboratorialmente (sub-tarefas 3a e 3b).
- II. Planeamento e início da execução de um trecho de pavimento à escala real, a construir em instalações experimentais ou num trecho. Durante a construção das camadas do trecho experimental proceder ao controle sistemático da qualidade de construção e à instrumentação do trecho, com a colocação de extensómetros, células de carga e lisímetros (Tarefa 4 - sub-tarefas 4a e 4b).
- III. Análise dos resultados obtidos quer no estudo de laboratório (Tarefa 3), quer no acompanhamento da execução do trecho experimental (Tarefa 5 - sub-tarefas 5a e 5b).
- IV. Promoção da divulgação dos resultados obtidos, através da publicação de artigos em revistas nacionais e internacionais e da apresentação de trabalhos em seminários nacionais e internacionais (Tarefa 7).

Durante o Ano 1 de execução do Projeto SUPREMA foi efetuado um estudo preliminar sobre amostras de RCD recolhidas numa obra em Torres Vedras, tendo-se considerado que o material apresentava aptidão para vir a ser estudado e aplicado em trecho experimental.

No entanto, após trocas de impressão havidas com a AMBIGROUP¹ sobre a possibilidade de prosseguir o estudo em apreço com a construção de um trecho experimental na obra de Torres Vedras, considerou-se que esta seria inviável por razões de natureza logística, uma vez que o local estava nas proximidades de uma zona comercial, sendo urgente a conclusão da obra. Acresce ainda que por razões de ordem topográfica existiam limitações à instalação dos lisímetros, designadamente no que respeita à cota necessária para permitir a recolha do lixiviado.

Deste modo, foi apresentada pela AMBIGROUP, em Novembro de 2010, a possibilidade de realização do trecho experimental nas suas instalações do Seixal, onde decorria uma obra com aplicação de RCD. Posteriormente foi acordado com a AMBIGROUP quais os materiais a aplicar no trecho experimental e que seriam objeto de caracterização laboratorial, para avaliação das suas características ambientais, geométricas, físicas e mecânicas. Esta atividade decorreu durante o Ano 2 de execução do projeto. Foi ainda adquirido e instalado o sistema de produção de água Tipo I (água ultra-pura), tendo em vista a realização de ensaios de lixiviação em coluna sobre as amostras de RCD em estudo.

¹ A AMBIGROUP, SGPS, S.A. é um grupo de gestão ambiental integrada, sendo constituído por diversas empresas, em que cada uma delas se ocupa de um fluxo específico dentro do sector do Ambiente. O Grupo presta serviços de gestão, tratamento, reciclagem e valorização de todo o tipo de resíduos, com exceção dos resíduos urbanos orgânicos.

Paralelamente foram sendo adquiridos os dispositivos necessários à instrumentação do trecho experimental a realizar, bem como outro material complementar para esta atividade.

A realização dos ensaios triaxiais cíclicos, dado estar condicionada pela adaptação do equipamento servo-hidráulico existente no LNEC, não foi efetuada durante o Ano 2 do projeto SUPREMA, estando presentemente em curso o processo de alteração do equipamento.

No final do ano de 2011, durante uma visita às instalações da AMBIGROUP, no Seixal, local onde irá ser construído o trecho experimental, verificou-se que, quer os RCD quer o material natural existentes em depósito, e que já tinham sido objeto de uma extensa caracterização laboratorial, tinham sido alienados. Na sequência do sucedido foi solicitada uma reunião de urgência com a AMBIGROUP, que, lamentando o incidente, não encontrava uma explicação para esta situação.

Dada a gravidade da ocorrência, em que todos os materiais selecionados e já caracterizados laboratorialmente para posterior aplicação no trecho experimental deixaram de estar disponíveis, e tendo em vista a concretização do projeto SUPREMA, considerou-se necessário reformular toda a programação das diferentes tarefas, com a conseqüente necessidade de prever um aumento do prazo de execução total do projeto em 18 meses.

Neste relatório apresenta-se a atividade desenvolvida durante o segundo ano de execução do Projeto SUPREMA, identificado como "Ano 2" (de 2011/02/01 a 2012/01/31). Apresenta-se igualmente uma nova *Timeline* com a proposta da nova programação dos trabalhos a realizar tendo em vista a concretização das tarefas constantes do projeto SUPREMA.

A constituição da equipa manteve-se inalterada durante o Ano 2 de execução do projeto SUPREMA, sendo, nesta data, formada pelos seguintes elementos:

- Ana Cristina Ferreira de Oliveira Rosado Freire, Investigadora Responsável do Projeto, LNEC
- José Manuel Coelho das Neves, IST/CESUR
- António José Pereira Mendes Roque, LNEC
- Isabel Maria Milagre Martins, LNEC
- Maria de Lurdes Baptista da Costa Antunes, LNEC
- Gonçalo Alexandre Ruas Faria, Bolseiro de Investigação FCT

No seguimento dos trabalhos desenvolvidos durante o primeiro ano do projeto de investigação foi dada continuidade à metodologia de trabalho já utilizada anteriormente. Deste modo foram realizadas, durante o Ano 2 de projeto, as reuniões indicadas no Quadro 3.1.

O fato de todos os intervenientes no projeto estarem em Lisboa, possibilitou, mais uma vez, a realização de um elevado número de reuniões de projeto.

Quadro 3.1| Reuniões realizadas no âmbito do projeto FCT

Reunião	Data de realização	Assuntos tratados
8ª reunião	Fevereiro 2011	Discussão sobre o ponto da situação do relatório de progresso e do documento relativo ao Estado da Arte.
9ª reunião	Março 2011	<p>Ponto da situação sobre os ensaios laboratoriais de caracterização dos diferentes tipos de RCD e de materiais naturais a aplicar no trecho experimental.</p> <p>Previsto que a caracterização decorra durante os próximos seis meses.</p> <p>Referido que, do ponto de vista da caracterização ambiental, a avaliação laboratorial da libertação de substâncias perigosas implica a análise de diversos parâmetros, inorgânicos e orgânicos, sobre os eluatos/lixiviados e orgânicos sobre os resíduos, em acordo com o DL 183/2009, de 10 Agosto. Assim, serão solicitados ensaios a um laboratório exterior certificado, por forma a abranger a totalidade das determinações exigidas no DL.</p>
10ª reunião	Julho 2011	Discussão sobre a estrutura do pavimento e composição do trecho experimental a realizar, nomeadamente no que respeita ao posicionamento da instrumentação a instalar.
11ª reunião	Setembro 2011	<p>Discussão do ponto da situação do projeto SUPREMA, designadamente no que concerne à divulgação dos resultados obtidos.</p> <p>Análise da viabilidade da recuperação do equipamento de ensaio servo-hidráulico existente para a realização do ensaio triaxial cíclico.</p> <p>Balanço dos ensaios laboratoriais de caracterização ambiental, geométrica, física e mecânica.</p>
12ª reunião	Outubro 2011	<p>Apreciação da situação da obra no Seixal com a AMBIGROUP, tendo em vista a realização do trecho experimental:</p> <p>- alteração da localização dos trechos;</p>

Reunião	Data de realização	Assuntos tratados
		<ul style="list-style-type: none"> - limpeza da zona para implementação do trecho; - definição da zona de implantação dos lisímetros; - discussão da constituição dos pavimentos.
13ª reunião	Dezembro 2011	<p>Informações diversas sobre a aquisição do equipamento para a instrumentação do trecho experimental: foram já adquiridos os extensômetros bem como todo o material acessório necessário para a montagem <i>in situ</i>.</p> <p>Estão em fase de aquisição as células de carga e os materiais para a construção dos lisímetros e das colunas de lixiviação.</p> <p>Ponto da situação sobre a construção do trecho experimental: a chuva intensa ocorrida no local de construção do trecho deixou o terreno completamente inundado, não se prevendo que antes de três meses a situação esteja regularizada.</p> <p>Definição das diferentes fases de atuação para a recuperação do equipamento para o ensaio triaxial – avaliação dos componentes mecânicos, hidráulicos e de aquisição de dados, sendo que será um processo relativamente demorado.</p> <p>Definição da constituição do relatório anual de progresso do projeto.</p>
14ª reunião	Dezembro 2011	<p>Análise das consequências para o desenvolvimento do projeto SUPREMA, resultantes da alienação dos materiais em estudo, ocorrida nas instalações do Seixal.</p>

Foi adquirida uma máquina fotográfica digital compacta, de modo a ser efetuado o registo de todas as atividades experimentais relacionadas com o Projeto SUPREMA.

Foi concluída a aquisição e instalação dos equipamentos necessários à climatização de duas salas de ensaio para a realização de ensaios de caracterização de agregados conforme as normas europeias.

Foi ainda adquirido o material necessário para a instrumentação do trecho experimental, nomeadamente, extensómetros, condutas de proteção, cabos elétricos e buçins de ligação, encontrando-se presentemente em curso a montagem e ligação de todos os elementos adquiridos, para posterior aplicação nos trechos experimentais.

Relativamente aos restantes equipamentos necessários para a instrumentação do trecho experimental (células de pressão, sensor de pressão e araldite), encontra-se em curso o processo de seleção e aquisição.

Após uma primeira apreciação do estado geral do equipamento de ensaio servo-hidráulico existente no LNEC para a realização de ensaios triaxiais sobre amostras de RCD e de agregados naturais, está em curso o processo de recuperação deste, a concretizar por fases.

No âmbito da avaliação do comportamento ambiental das diferentes amostras de RCD pelo método de coluna, procedeu-se à aquisição de uma unidade de purificação para obtenção de água Tipo I (água ultra-pura), tendo ainda sido adquirido diversos consumíveis (recipientes de plástico, filtros, seixo limpo, tubos de plástico) e reagentes químicos (ácido nítrico).

Foi ainda adjudicada à empresa ALS Laboratory Group da República Checa, através da sua representada nacional, a caracterização ambiental das amostras de RCD selecionadas, que consistiu na realização dos ensaios sobre os materiais selecionados, bem como dos respetivos eluatos.

5.1 Ações desenvolvidas

Os materiais previamente selecionados para o estudo experimental foram identificados pelas siglas que se seguem:

- agregados naturais, britados e de granulometria extensa (**ABGE_N**);
- agregados reciclados provenientes de resíduos da britagem de betão (**ARB_R1**);
- agregados reciclados provenientes de resíduos mistos (alvenaria e betão) (**ARM_R2**);
- agregados reciclados provenientes de resíduos asfálticos
 - misturas betuminosas britadas (**ARA_R3.1**),
 - misturas betuminosas fresadas (**ARA_R3.2**).

Todos estes materiais foram submetidos a ensaios laboratoriais de identificação e caracterização geométrica, física, mecânica, química e ambiental das suas principais propriedades.

Os constituintes dos agregados grossos presentes em cada RCD foram identificados e classificados de acordo com a metodologia da norma EN 933-11:2009, através da separação manual dos diferentes componentes, com exceção feita às partículas flutuantes.

As principais propriedades geométricas, físicas e mecânicas dos RCD foram avaliadas através de ensaios realizados no LNEC, segundo as normas aplicáveis a misturas não ligadas e tendo em consideração as especificações portuguesas LNEC para a utilização de agregados reciclados: LNEC E 473 - 2009, relativa à aplicação em camadas granulares não ligadas de pavimentos, e LNEC E 474 - 2009, para aplicações em aterro e camada de leito do pavimento. Em termos genéricos, a metodologia seguida para cada material foi a seguinte:

- A análise granulométrica de cada material foi realizada de acordo com as normas NP EN 933-1: 2000 e EN 933-1:1997/A 1:2005, pelo método de peneiração com lavagem do agregado para remover as partículas de argila e outras partículas mais finas do agregado, com exceção da mistura betuminosa fresada que foi ensaiada sem lavagem do agregado.
- A forma das partículas foi avaliada através do índice de achatamento, conforme preconizado na norma NP EN 933-3:2011, e do índice de forma, conforme a norma EN 933-4:2008. Estes procedimentos aplicaram-se à fração d/D dos agregados em que $D \leq 63$ mm e $d \geq 4$ mm.

- A qualidade dos finos das amostras em estudo foi avaliada pela determinação do equivalente de areia, segundo a norma NP EN 933-8:2002, e o valor do azul de metileno, de acordo com a norma EN 933-9:2009.
- Na determinação das massas volúmicas e da absorção de água foi utilizada a norma NP EN 1097-6:2003/A1:2010, tendo-se ensaiado a fração d/D das amostras de dimensões máxima inferior ou igual a 31,5 mm (D) e mínima superior ou igual a 0,063 mm (d).
- A avaliação da resistência à fragmentação das partículas de agregado grosso baseou-se no coeficiente de Los Angeles, conforme preconizado na norma EN 1097-2:2010. A resistência ao desgaste das partículas de agregado grosso foi avaliada pelo coeficiente micro-Deval, determinado conforme o procedimento da norma EN 1097-1:2011.
- A compactação dos materiais foi estudada com a realização de ensaios de compactação Proctor modificado (EN 13286-2:2010).

No Quadro 5.1 apresentam-se de forma sumária os ensaios realizados para avaliação das propriedades geométricas, físicas, mecânicas e de compactação das amostras selecionadas.

Quadro 5.1| Ensaios realizados

Ensaio	Norma	Materiais				
		Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	Betão Britado Misto (ARM_R2)	Betão Britado (ARB_R1)	Agregado Natural (ABGE_N)
Constituintes das amostras	EN 933-11: 2009	x	x	x	x	-
Granulometria	NP EN 933-1: 2000	x	x	x	x	x
	EN 933-1:1997/A 1: 2005					
Índice de achatamento	NP EN 933-3: 2002	x	x	x	x	-
Índice de forma	NP EN 933-4: 2008	x	x	x	x	-
Equivalente de areia	NP EN 933-8: 2002	x	x	x	x	-
Azul de metileno	NP EN 933-9: 2009	x	x	x	x	x
Massas volúmicas e Absorção de água	NP EN 1097-6: 2003	x	x	x	x	-
	NP EN 1097-6: 2003/A 1: 2010					
Ensaio de fragmentação Los Angeles	NP EN 1097-2: 2010 (Ed. 2)	x	x	x	-	-
Ensaio de desgaste micro-Deval	NP EN 1097-1: 2002 (Ed. 2)	x	x	x	-	-
	EN 1097-1: 2011 (Ed. 2)					
Ensaio Proctor modificado	EN 13286-2	x	x	x	x	
Identificação qualitativa da presença de alcatrão	Projecto SAMARIS*	x	-	-	-	-

* Método de coloração - "Staining test" - Projeto europeu "SAMARIS" - Sustainable and Advanced Materials for Road InfraStructure - Procedures for Identifying Hazardous Components in Materials for Asphalt"

Na aplicação de RCD em infraestruturas rodoviárias não é suficiente exigir apenas um desempenho mecânico adequado, pelo que também a preocupação ambiental relativa a uma possível contaminação das águas superficiais e subterrâneas torna necessária a avaliação da libertação de substâncias químicas, potencialmente perigosas a partir de um determinado nível de concentração, tendo-se por isso procedido ao estudo da lixiviação destas substâncias, a partir dos materiais em estudo, através de um conjunto de ensaios laboratoriais.

Segundo as especificações LNEC E 473-2009 e LNEC E 474-2009, a libertação das substâncias químicas é avaliada através da norma EN 12457-4:2002 e os limites de lixiviação devem cumprir os requisitos de admissibilidade para a deposição de resíduos em aterros para resíduos inertes, previstos na Decisão do Conselho 2003/33/CE (transposta para a legislação nacional pelo DL 183/2009, de 10 de Agosto). Os mesmos critérios são também adotados noutros países europeus (Böhmer *et al.*, 2008). Já no âmbito da norma NP EN 13242:2002+A1:2010, os ensaios de lixiviação são realizados de acordo com a norma NP EN 1744-3:2005. Para este ensaio não há critérios definidos para avaliar os resultados de lixiviação, sendo a comparação direta com resultados obtidos em agregados naturais uma abordagem possível.

Desta forma, a fase inicial do projeto contemplou a realização de ensaios de lixiviação realizados no LNEC de acordo com as normas EN 12457-4:2002 e NP EN 1744-3:2005, para avaliar a libertação de contaminantes a curto prazo. Em ambos os ensaios foi considerada uma relação líquido/sólido de 10:1 e um tempo de lixiviação de 24 horas. Os métodos de ensaio diferem, no essencial, no modo de preparação da amostra, na granulometria do material e no tipo de agitação. Em ambos os ensaios pressupõe-se que são atingidas condições de equilíbrio, ou quase-equilíbrio, entre as fases líquida e sólida ao longo do ensaio, contudo existe alguma controvérsia sobre este assunto (van der Sloot *et al.*, 2002). Os ensaios de lixiviação foram realizados em duas réplicas de amostras representativas dos diferentes materiais. Os eluatos foram filtrados por filtro de 0,45 µm e foram medidos o pH e a condutividade elétrica. Posteriormente foram acidificados com ácido nítrico ultra-puro antes de avaliar a concentração de metais pesados através da espectrofotometria de absorção atómica em forno de grafite. Os cloretos e sulfatos foram quantificados, respetivamente, por titulação e gravimetria e o Carbono Orgânico Dissolvido (COD) foi avaliado por oxidação por via húmida.

A ALS realizou ensaios sobre os resíduos em estudo e os seus eluatos, tendo determinado todos os parâmetros previstos pelos critérios de admissibilidade de resíduos em aterro. Nos resíduos, após moagem e pulverização, foram efetuadas as determinações abaixo indicadas, de acordo com as técnicas de análise aí referenciadas:

- Carbono Orgânico Total (COT), por coulometria, a partir dos teores de carbono total e carbono inorgânico total.
- Compostos orgânicos designados como BTEX (benzeno, tolueno, etil-benzeno e xileno) e HAP (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), por cromatografia gasosa com deteção por espectrometria de massa.

- Compostos orgânicos designados como PCB (policlorobifenilos), por cromatografia gasosa com detetor de captura eletrónica.
- Óleos minerais (fração C10-C40), por cromatografia gasosa com detetor de ionização de chama.

Nos eluatos, preparados de acordo com o procedimento descrito na norma EN 12457-4, foram efetuadas as seguintes determinações:

- Índice de fenol, por espectrofotometria.
- Teor de COD, por deteção com infra-vermelhos.
- Teores de metais, por espectrometria de emissão atómica de indução por plasma com acoplamento a espectrometria de massa.
- Teores de cloretos, fluoretos e sulfatos, por cromatografia iónica.

Numa fase mais adiantada do projeto pretende-se realizar ensaios de percolação em coluna com fluxo ascendente, de acordo com a especificação DD CEN/TS 14405:2004, e ensaios “*in situ*” utilizando lisímetros. Estes ensaios permitirão avaliar a libertação de poluentes em condições reais ou quase reais e compará-los com os resultados dos ensaios de lixiviação requeridos na legislação, realizados segundo a norma EN 12457-4:2002.

De salientar que os resultados destes ensaios de lixiviação são habitualmente considerados conservativos (ALT-MAT, 2001), podendo com isso inviabilizar a reciclagem de alguns resíduos, pelo que se entendeu necessário proceder à comparação entre os resultados dos ensaios de lixiviação em laboratório, conduzidos de acordo com a norma EN 12457-4:2002, e os resultados dos ensaios em coluna (laboratório) e em lisímetro (“*in situ*”). Pretende-se que os resultados globais do projeto em curso, no que diz respeito a esta questão, constituam uma contribuição importante para avaliar a atual classificação do risco ambiental de alguns fluxos de RCD, e de outros resíduos, baseada nos ensaios de lixiviação exigidos pela legislação.

5.2 Caracterização laboratorial dos materiais

5.2.1 Considerações gerais

Na sequência dos contactos estabelecidos com a empresa AMBIGOUP foi proposto por esta a realização do trecho experimental com a aplicação dos materiais seleccionados numa obra em curso no Seixal.

Foi assim efetuada uma primeira visita ao local proposto, tendo este local sido posteriormente aceite por se considerar mais adequado para a aplicação dos lisímetros, por apresentar a disponibilização de uma maior área para aplicação dos trechos experimentais e ainda por contemplar a existência de uma central móvel de britagem no local, o que permitiria a obtenção de RCD com as dimensões adequadas à aplicação em camadas granulares. Neste sentido, foram realizadas diversas visitas ao local de aplicação de RCD, tendo sido colhidas amostras de material existente em depósito para caracterização laboratorial (Figura 5.1 e 5.2).



Figura 5.1 | Central móvel de britagem de RCD, no Seixal



Figura 5.2 | Colheita de amostras de RCD, no Seixal, para caracterização laboratorial

Sobre as amostras colhidas foram realizados os ensaios de caracterização laboratorial já mencionados anteriormente (ver 0), para análise da sua viabilidade de aplicação em trecho experimental.

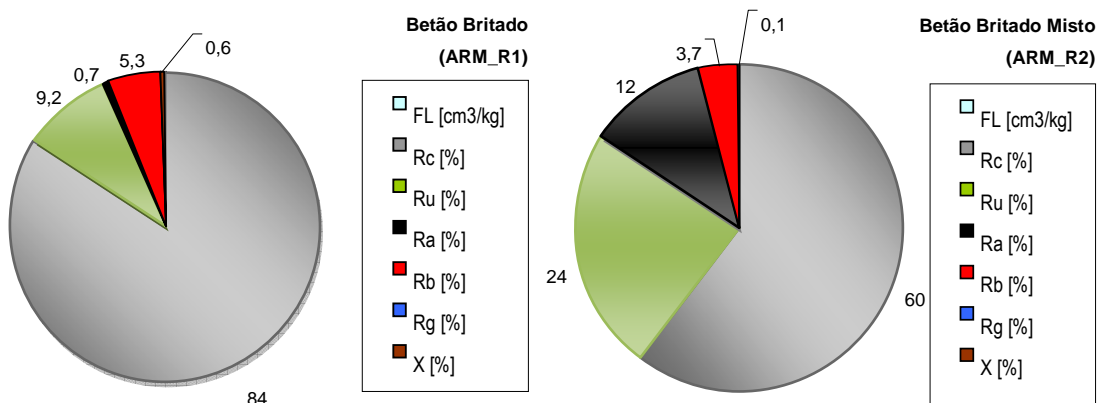
5.2.2 Propriedades geométricas dos agregados

5.2.2.1 Classificação dos agregados reciclados

De modo a identificar e classificar os constituintes das amostras de RCD selecionadas procedeu-se conforme preconizado na norma EN 933-11:2009.

O ensaio baseia-se na separação manual das diferentes partículas de RCD, em função do material constituinte das frações 63 mm a 4 mm.

Nas Figuras 5.3 e 5.4 e no Quadro 5.2 são apresentados os resultados relativos aos RCD em estudo.



LEGENDA:

R_a – Material betuminoso;

R_b – Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolo, ladrilhos, telhas, etc.), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante;

R_c – Betão, produtos de betão e argamassas;

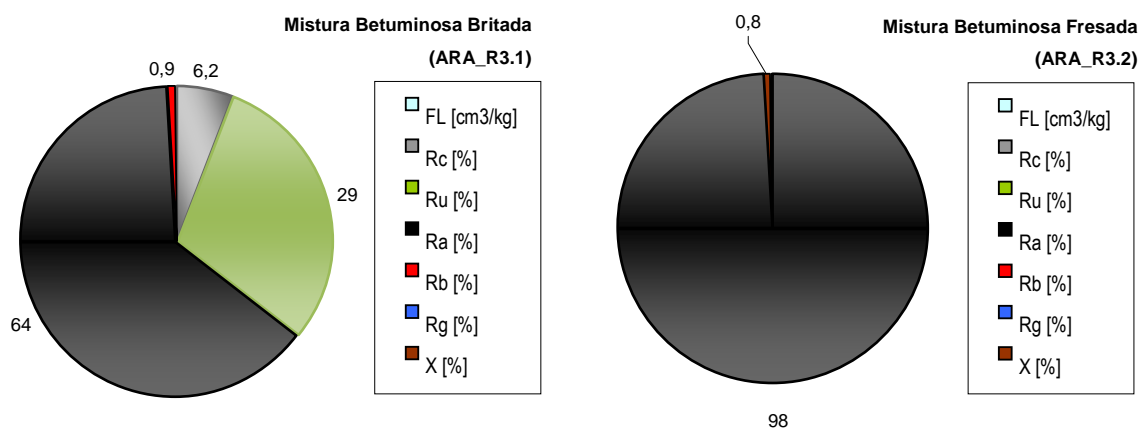
FL – Material flutuante em volume;

R_u – Agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos;

R_g – Vidro;

X – Outros materiais não granulares (por ex. solos argilosos), plástico, borracha, metais (ferrosos e não ferrosos), matérias não flutuantes e estuque.

Figura 5.3 | Constituintes das amostras de Betão Britado (ARB_R1) e Betão Britado Misto (ARM_R2), de acordo com a norma EN 933-11:2009



LEGENDA:

R_a – Material betuminoso;

R_b – Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolo, ladrilhos, telhas, etc.), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante;

R_c – Betão, produtos de betão e argamassas;

FL – Material flutuante em volume;

R_u – Agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos;

R_g – Vidro;

X – Outros materiais não granulares (por ex. solos argilosos), plástico, borracha, metais (ferrosos e não ferrosos), matérias não flutuantes e estuque.

Figura 5.4 | Constituintes das amostras de Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1) e de Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2), de acordo com a norma EN 933-11:2009

Quadro 5.2 | Constituintes das amostras de RCD

Materiais	Constituintes						
	FL [cm ³ /kg]	R _c [%]	R _u [%]	R _a [%]	R _b [%]	R _g [%]	X [%]
Betão Britado (ARB_R1)	0,0	84	9,2	0,7	5,3	0,0	0,6
Betão Britado Misto (ARB_R2)	0,0	60	24	12	3,7	0,0	0,1
Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	0,0	6,2	29	64	0,9	0,0	0,0
Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	0,0	0,0	0,0	98	0,0	0,0	0,8

LEGENDA:

R_a – Material betuminoso;

R_b – Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolo, ladrilhos, telhas, etc.), elementos de alvenaria de silicatos de cálcio e betão celular não flutuante;

R_c – Betão, produtos de betão e argamassas;

FL – Material flutuante em volume;

R_u – Agregados não ligados, pedra natural, agregados tratados com ligantes hidráulicos;

R_g – Vidro;

X – Outros materiais não granulares (por ex. solos argilosos), plástico, borracha, metais (ferrosos e não ferrosos), matérias não flutuantes e estuque.

Nas Figuras 5.5 a 5.7 apresenta-se o aspeto dos constituintes de três das amostras de RCD em estudo.



Figura 5.5 | Constituintes da amostra de Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)



Figura 5.6 | Constituintes da amostra de Betão Britado Misto (ARM_R2)



Figura 5.7 | Constituintes da amostra de Betão Britado (ARB_R1)

5.2.2.2 Granulometria

A análise granulométrica das amostras de RCD recolhidas no Seixal foi efetuada conforme a norma NP EN 933-1:2000.

No Quadro 5.3 e na Figura 5.8 são apresentados, respetivamente, os resultados da análise granulométrica e as curvas granulométricas obtidos para as várias amostras. A Figura 8 mostra igualmente os fusos requeridos pelo Caderno de Encargos Tipo da Estradas de Portugal [EP, 2009] para camadas de base ou sub-base granular.

Quadro 5.3 | Granulometria dos vários tipos de RCD analisados

Malha do peneiro [mm]	Material passado [%]					
	Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	Betão Britado Misto (ARM_R2)	Betão Britado (ARB_R1)	Agregado natural (ABGE_N)	70% ABGE + 30% Mistura Betuminosa Fresada (70%ABGE_N+30%ARA_R3.2)
80	100	100	100	100	100	100
63	100	100	100	97	100	100
40	100	91	94	47	100	100
31,5	97	87	86	26	100	99,1
20	62	69	63	11	82	76
16	42	61	55	8	76	65,8
14	35	58	50	7	72	60,9
12,5	25	52	47	6	68	55,1
10	18	47	41	4	62	48,8
8	11	40	37	3	57	43,2
6,3	8	35	33	3	53	39,5
4	5	27	28	2	47	34,4
2	3	21	24	2	33	24
1	2	14	20	2	22	16
0,500	1	10	15	2	16	11,5
0,250	1	7	12	2	12	8,7
0,063	0,1	4,3	5,3	1,5	8,1	5,7

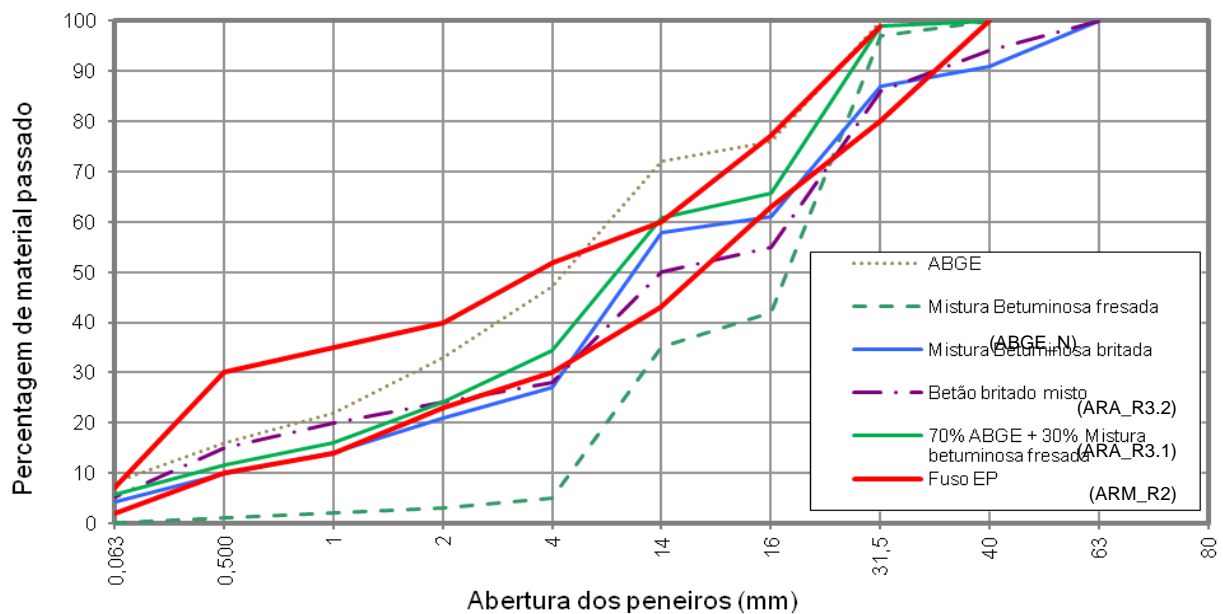


Figura 5.8 | Curvas granulométricas dos vários tipos de RCD analisados

5.2.2.3 Índice de forma

A forma das partículas foi analisada através da determinação do Índice de Forma, de acordo com a norma EN 933-4:2008, e do Índice de Achatamento, de acordo com a norma NP EN 933- 3: 2002.

No Quadro 5.4 são apresentados os resultados obtidos para o Índice de Forma (SI) dos vários tipos de amostras de RCD em estudo.

Quadro 5.4 | Índice de Forma (SI) dos vários tipos de RCD analisados

Materiais	Índice de Forma (SI)
Betão Britado (ARB_R1)	8
Betão Britado Misto (ARM_R2)	14
Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	8
Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	21

No Quadro 5.5 apresentam-se os resultados obtidos para o Índice de Achatamento (FI) dos agregados reciclados caracterizados.

Quadro 5.5 | Índice de Achatamento (FI) dos vários tipos de RCD analisados

Materiais	Índice de achatamento (FI)
Betão Britado (ARB_R1)	6
Betão Britado Misto (ARM_R2)	8
Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	9
Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	17

A amostra Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2) apresenta os maiores valores de Índice de Achatamento (FI), eventualmente como resultado do processo de fresagem e britagem do material, efetuado *in situ*.

5.2.2.4 Equivalente de areia

O valor do Equivalente de Areia foi determinado de acordo com a norma portuguesa NP EN 933-8:2002. No Quadro 5.6 apresentam-se os resultados obtidos.

Da análise dos resultados apresentados no Quadro 5.6 observa-se que a amostra Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2) apresenta os maiores valores de Equivalente de Areia em resultado do tipo e da quantidade de finos presentes.

Quadro 5.6 | Valores do equivalente de areia (SE) das amostras submetidas a ensaio

Materiais	Equivalente de areia (SE) [%]
Betão Britado (ARB_R1)	30
Betão Britado Misto (ARM_R2)	23
Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	41
Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	73

Dado que os resultados obtidos com o ensaio de Equivalente de Areia podem apresentar uma forte influência do teor em partículas finas (< 0,063 mm), quer se tratem de partículas argilosas ou granulares, considera-se que o ensaio de Azul de Metileno poderá de uma forma complementar ser utilizado para caracterizar os finos nos agregados, avaliando-se os minerais argilosos presentes bem como a sua argilosidade.

5.2.2.5 Azul de metileno

Foram submetidas a ensaio todas as amostras de agregados em estudo, com dimensões 0/4 mm e teor em água inicial inferior ou igual a 0,1% após secagem ao ar, para determinação do valor do Azul de Metileno, de acordo com a metodologia da NP EN 933-9:2002.

No Quadro 5.7 apresentam-se os resultados obtidos.

Quadro 5.7 | Valores do Azul de Metileno (MB) das amostras submetidas a ensaio

Materiais	Azul de Metileno (MB) [g/1000g]
Betão Britado (ARB_R1)	3,7
Betão Britado Misto (ARM_R2)	5,8
Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	4,3
Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	1,2

5.2.3 Propriedades físicas e mecânicas dos agregados

5.2.3.1 Massas volúmicas e absorção de água

A determinação das massas volúmicas e da absorção de água foi realizada de acordo com a NP EN 1097-6:2003.

A NP EN 1097-6:2003 especifica seis métodos de ensaio para a determinação das massas volúmicas das partículas e da absorção de água dos agregados. Os primeiros cinco métodos são aplicáveis a agregados correntes e o sexto método aplica-se a agregados leves.

Destes, consideraram-se os dois seguintes:

- a) método do cesto de rede metálica para agregados (Figura 5.9) que passam no peneiro de 63 mm e são retidos no peneiro de 31,5 mm;



Figura 5.9 | Aspetto do cesto de rede metálica para ensaio da fração 63/31,5 mm

- b) método do picnómetro para agregados que passam pelo peneiro de 31,5 mm e são retidos no peneiro de 0,063 mm (Figura 5.10).

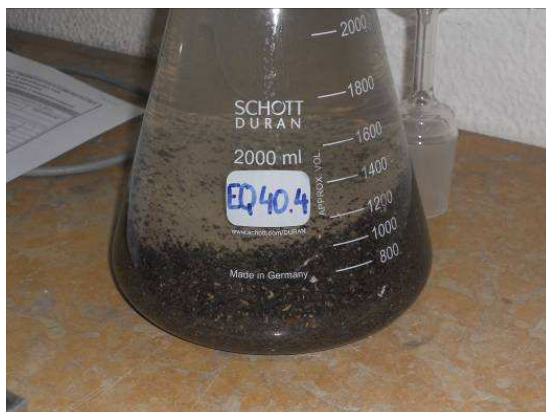


Figura 5.10 | Aspeto do picnómetro de vidro para ensaio da fração 31,5/0,063 mm

O método do cesto de rede metálica pode ser utilizado como uma alternativa ao método do picnómetro para agregados entre 4 mm e 31,5 mm. O método do cesto de rede metálica também pode ser utilizado para partículas individuais do agregado retidas no peneiro de 63 mm.

No Quadro 5.8 apresentam-se os valores das massas volúmicas e da absorção de água das amostras ensaiadas.

Quadro 5.8 | Valores das massas volúmicas e da absorção de água dos RCD

Fração	Parâmetros		Betão britado misto	Mistura betuminosa britada	Mistura betuminosa fresada	Betão britado
31,5 / 63,0	Massa volúmica do material impermeável	[Mg/m ³]	2,53	2,29	2,50	2,579
	Massa volúmica das partículas saturadas		2,38	2,27	2,47	1,778
	Massa volúmica das partículas secas		2,28	2,25	2,45	1,272
4,0 / 31,5	Massa volúmica do material impermeável		2,604	2,501	-	2,587
	Massa volúmica das partículas saturadas		2,443	2,456	-	2,398
	Massa volúmica das partículas secas		2,343	2,426	-	2,280
0,063 / 4,0	Massa volúmica do material impermeável		2,496	2,324	2,403	2,451
	Massa volúmica das partículas saturadas		2,396	2,272	2,344	2,239
	Massa volúmica das partículas secas		2,329	2,234	2,303	2,094
31,5 / 63,0	Absorção de água	[%]	4,3	0,8	0,9	39,8
4,0 / 31,5			4,3	1,2	-	5,2
0,063 / 4,0			2,9	1,7	1,8	6,9

5.2.3.2 Resistência à fragmentação

A caracterização dos agregados relativamente à resistência à fragmentação foi efetuada pelo coeficiente de Los Angeles (LA), estando normalizado pela EN 1097-2:2010.

O coeficiente de Los Angeles dá indicação da resistência do agregado à fragmentação, isto é, da capacidade de não ser alterado devido ao choque e ao atrito entre as partículas de agregado.

Este ensaio consiste na rotação de um tambor em conformidade com a norma referida anteriormente (máquina de Los Angeles), em que no seu interior são colocadas, para além do agregado a analisar, várias esferas de aço.

No Quadro 5.9 é apresentado o resultado obtido para as amostras de RCD em estudo.

Quadro 5.9 | Coeficiente de Los Angeles dos vários tipos de RCD analisados

Materiais	Coeficiente de Los Angeles
Betão Britado (ARB_R1)	43
Betão Britado Misto (ARM_R2)	38
Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	25
Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	22

5.2.3.3 Resistência ao desgaste

A quantificação da resistência ao desgaste das partículas de agregado grosso foi realizada com a obtenção do coeficiente micro-Deval conforme preconizado na norma portuguesa NP EN 1097- 1:2002.

No Quadro 5.10 apresentam-se os resultados obtidos para cada um dos agregados reciclados em apreço. Na Figura 5.11 apresenta-se o aspeto de algumas das amostras após o ensaio de micro-Deval.

Quadro 5.10 | Coeficiente de micro-Deval dos vários tipos de RCD analisados

Agregado	Coeficiente micro-Deval
Betão Britado (ARB_R1)	34
Betão Britado Misto (ARM_R2)	31
Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	25
Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	14



Figura 5.11 | Aspeto das partículas dos RCD após o ensaio de desgaste micro-Deval

5.2.4 Características de compactação

As características de compactação dos materiais em estudo foram avaliadas através do ensaio de compactação Proctor que permite conhecer qual o teor em água que o material deve apresentar no momento da compactação (teor em água ótimo) de modo a que seja possível obter a máxima baridade seca deste, sendo realizado através da norma EN 13286-2.

Este ensaio é adequado para misturas com diferentes valores máximos de peneiro (D) até 63 mm e com partículas com sobre tamanho até 25%, em massa.

Às várias amostras são adicionadas diferentes quantidades de água, sendo posteriormente compactadas num molde normalizado. No caso em análise, a compactação foi efetuada mecanicamente, sendo considerada a compactação pesada (ensaio Proctor modificado) em molde grande (B). Após este processo, através de diferenças de peso e com recurso à secagem em estufa, são determinados os teores em água e as respetivas baridades secas dos vários provetes por forma

a verificar qual o teor em água (teor em água ótimo) que possibilitou obter a maior baridade seca (baridade seca máxima).

Para as amostras de Betão Britado Misto e de Mistura Betuminosa Britada, dadas as percentagens de material retido no peneiro com 31,5 mm de abertura, houve a necessidade de proceder à truncagem daquele material, tendo sido posteriormente aplicadas as correções preconizadas no Anexo C da norma, relativamente aos valores da baridade seca máxima e do teor em água ótimo.

A Figura 5.12 apresenta as curvas obtidas no ensaio de compactação Proctor para os RCD estudados, bem como do agregado britado natural (agregado calcário).

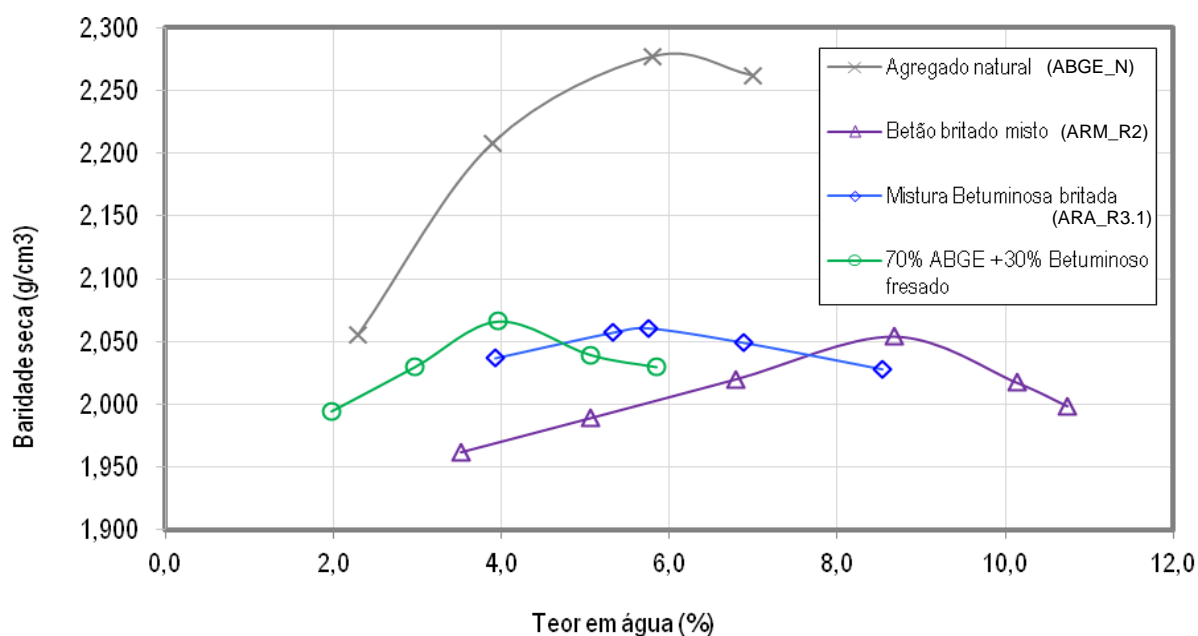


Figura 5.12 | Curvas de compactação Proctor dos materiais estudados

No Quadro 5.11 apresentam-se os valores da baridade seca máxima e do teor em água ótimo obtidos para os materiais estudados, bem como os valores corrigidos para o Betão Britado Misto (ARM_R2) e Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1).

Quadro 5.11 | Resultados do ensaio de compactação Proctor

RCD	ρ_{dmax} (g/cm ³)	W_{opm} (%)	$(\rho_{dmax})_c$ (g/cm ³)	$(W_{opm})_c$ (%)
Agregado Natural (ABGE_N)	2,28	5,8	-	-
Betão Britado Misto (ARM_R2)	2,04	9,4	2,05	8,7
Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	2,06	6,5	2,06	5,8
70% ABGE_N + 30% Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	2,09	3,0	-	-

LEGENDA:

ρ_{dmax} - baridade seca máxima

W_{opm} - teor em água ótimo

$(\rho_{dmax})_c$ - baridade seca máxima corrigida

$(W_{opm})_c$ - teor em água ótimo corrigido



Figura 5.13 | Compactação da amostra 70% ABGE_N + 30% Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)

5.2.5 Caracterização ambiental

Como referido em 0, no LNEC foram efetuados ensaios de lixiviação (Figura 5.14) segundo as normas EN 12457-4:2002 e NP EN 1744-3:2005 para avaliar a libertação de contaminantes a curto prazo dos materiais em estudo.

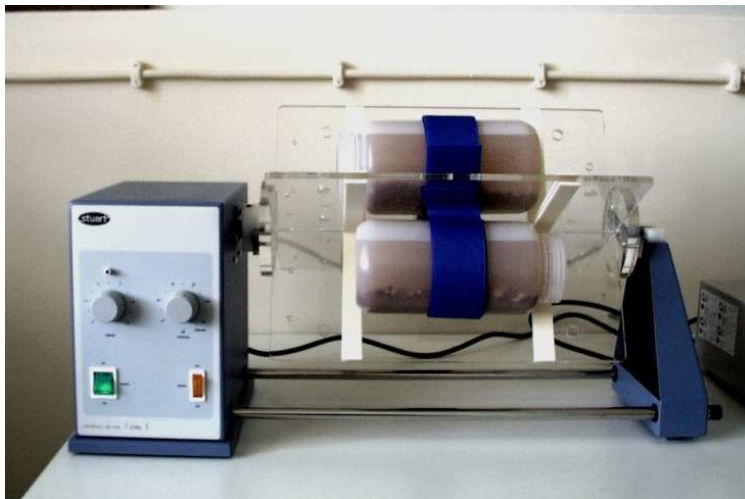


Figura 5.14 | Ensaio de lixiviação

Os resultados dos ensaios de lixiviação realizados sobre os materiais em estudo segundo a norma EN 12457-4:2002 são apresentados no Quadro 5.12.

Quadro 5.12 Resultados dos ensaios de lixiviação – EN 12457-4

Parâmetros [mg/kg, matéria seca]	Betão Britado (ARB_R1)	Betão Britado Misto (ARM_R2)	Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	Agregado Natural (ABGE_N)
Cádmio, Cd	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Crómio, Cr	0,239	0,126	0,046	<0,010	<0,010
Chumbo, Pb	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024
Zinco, Zn	0,031	0,010	<0,006	<0,006	0,035
Cobre, Cu	0,047	0,045	0,030	<0,014	<0,014
Níquel, Ni	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026
Cloreto, Cl ⁻	149	44	35	35	44
Sulfato, SO ₄ ²⁻	551	267	124	13	145
Carbono Orgânico Dissolvido, COD	60	46	71	94	71
pH	11,99	11,29	10,95	9,67	7,90

O Quadro 5.13 lista os resultados dos parâmetros avaliados nos eluatos dos materiais em estudo, obtidos no ensaio de lixiviação de acordo com a NP EN 1744-3:2005. A libertação do Cd, Pb e Ni está abaixo dos limites de quantificação em todos os agregados e os teores de Cr, Zn, Cu, Cl^- e SO_4^{2-} são mais elevados nos agregados reciclados quando comparados com o ABGE, com algumas exceções na Mistura Betuminosa Fresada. O pH de todos os eluatos é menor neste ensaio de lixiviação, sendo fator de primordial importância na libertação de espécies químicas.

Quadro 5.13 | Resultados dos ensaios de lixiviação – NP EN 1744-3

Parâmetros [mg/kg, matéria seca]	Betão Britado (ARB_R1)	Betão Britado Misto (ARM_R2)	Mistura Betuminosa Britada (ARA_R3.1)	Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R3.2)	Agregado Natural (ABGE_N)
Cádmio, Cd	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Crómio, Cr	0,092	0,103	0,022	<0,010	<0,010
Chumbo, Pb	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024	<0,024
Zinco, Zn	0,011	0,035	0,023	0,053	0,021
Cobre, Cu	0,016	0,022	0,016	<0,014	<0,014
Níquel, Ni	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026	<0,026
Cloreto, Cl ⁻	53	53	53	35	35
Sulfato, SO ₄ ²⁻	492	343	163	17,5	159
pH	9,59	9,96	8,12	8,14	6,86

Apresentam-se no Anexo II os resultados dos ensaios realizados pela ALS sobre os RCD em estudo e sobre os respetivos eluatos. Relativamente a estes resultados salientam-se os seguintes aspetos:

- nas determinações efetuadas sobre os resíduos verifica-se um teor elevado de óleos minerais (C10-C40) nas misturas betuminosas britada e fresada, face ao limite estabelecido para a deposição de resíduos em aterros para resíduos inertes;
- nas determinações efetuadas sobre os eluatos, os teores de sulfatos das amostras de Betão britado e de Betão britado misto são superiores ao limite estabelecido para a deposição de resíduos em aterros para resíduos inertes.

A futura determinação dos teores de hidrocarbonetos totais nos ensaios de lixiviação em coluna e nos lisímetros permitirá tirar conclusões sobre a importância dos teores obtidos para os óleos minerais nas amostras de Mistura Betuminosa Britada (ARA_R.3.1) e Mistura Betuminosa Fresada (ARA_R.3.2) e sobre a eventual necessidade de se vir a rever, nesta matéria, o previsto nas especificações LNEC para a reciclagem dos RCD em obras de engenharia civil construídas com agregados de RCD não ligados. O mesmo se aplica quanto aos teores obtidos para os sulfatos nos eluatos das amostras de RCD de Betão Britado (ARB_R1) e de Betão Britado Misto (ARM_R2), ainda que neste caso ainda seja necessário concluir a avaliação em curso sobre a discrepância observada entre os resultados obtidos no LNEC e na empresa ALS.

5.3 Trechos experimentais

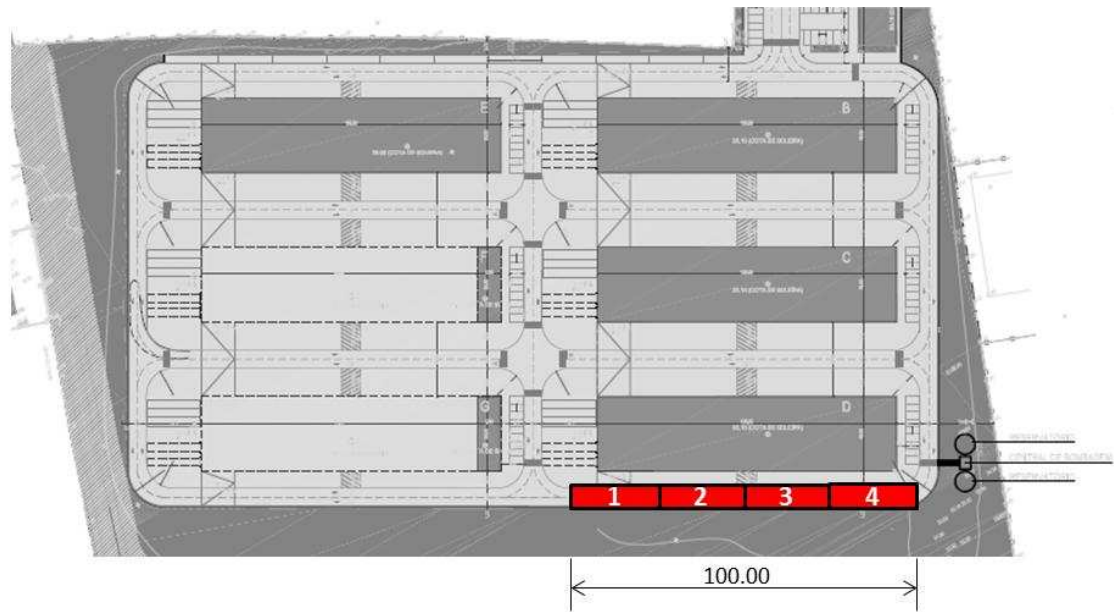
No âmbito da atividade que compreendia o planeamento e a execução de trechos experimentais foram desenvolvidas as seguintes ações:

- a) redefinição da localização e da geometria de implantação dos trechos experimentais;
- b) realização de ensaios de carga com deflectómetro de impacto (FWD) para caracterização do aterro existente e que servirá de fundação às estruturas de pavimento das secções a instrumentar;
- c) dimensionamento do pavimento;
- d) instrumentação das secções experimentais.

5.3.1 Localização e geometria dos trechos experimentais

As informações mais recentes transmitidas pela AMBIGROUP sobre as características da obra onde vão ser construídos os trechos experimentais levaram à necessidade de proceder a uma nova localização dos mesmos.

Na planta geral da obra da Figura 5.15 é feita a última localização da zona selecionada para a construção dos trechos experimentais.



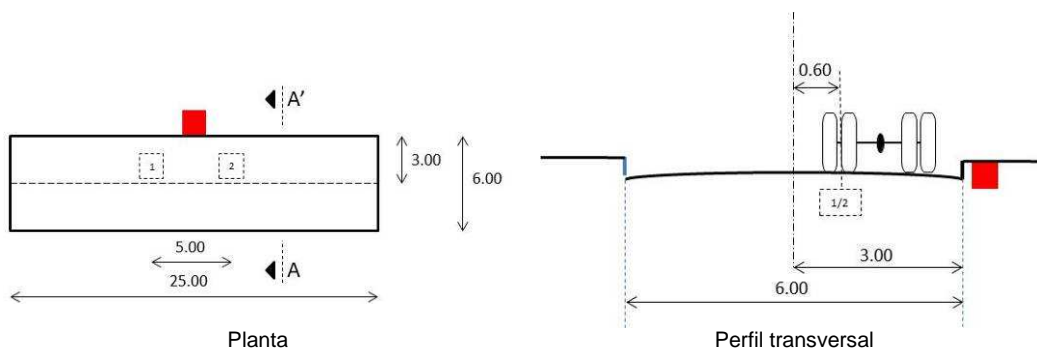
Legenda:

1 Trecho experimental

Figura 5.15 | Localização dos trechos experimentais

A zona seleccionada, totalmente em aterro, está localizada na zona sul da obra, e corresponde à ocupação dos arruamentos segundo uma extensão de 100 metros e uma largura de 6 metros em perfil transversal da faixa de rodagem. Esta zona será subdividida em 4 trechos experimentais conforme é representado na Figura 5.15.

A Figura 5.16 mostra a geometria da implantação de cada um dos trechos experimentais, em planta e perfil transversal.



Legenda:

■ Caixa de visita (terminal da instrumentação)

1 Secção a instrumentar

Figura 5.16 | Geometria de implantação dos trechos experimentais

5.3.2 Ensaios de carga com deflectómetro de impacto (FWD)

No aterro local, executado com RCD e que servirá de fundação aos pavimentos não só dos trechos experimentais mas também dos arruamentos em geral, foram executados ensaios de carga com defletómetro de impacto (FWD), tendo como objetivo principal efetuar uma primeira avaliação do comportamento mecânico daquela estrutura. Nestes ensaios foi utilizado o equipamento do LNEC conforme se mostra na Figura 5.17.



Figura 5.17 | Equipamento FWD do LNEC

Os ensaios foram realizados segundo alinhamentos de aproximadamente 100 metros de extensão, com afastamento de 5 metros, entre pontos de ensaio. Nos ensaios foi utilizada uma placa circular de 45 cm de diâmetro e foram medidas as deflexões com 9 geofones colocados às seguintes distâncias do centro da placa (cm): 0 (D0), 30 (D1), 45 (D2), 60 (D3), 90 (D4), 120 (D5), 150 (D6), 180 (D7) e 210 (D8).

Os ensaios foram realizados para duas forças de pico: 30 kN e 65 kN. Em cada ensaio, foram aplicadas três repetições da força de impacto, tendo sido registado o último valor. Visto que a força aplicada em cada ponto de ensaio não corresponde exatamente à força pretendida, foi efetuada uma normalização dos valores das deflexões para a força padrão de 65 kN e 30 kN.

Na Figura 5.18 apresentam-se todos os resultados das deflexões normalizadas para cada ponto de ensaio, ao longo dos três alinhamentos ensaiados.

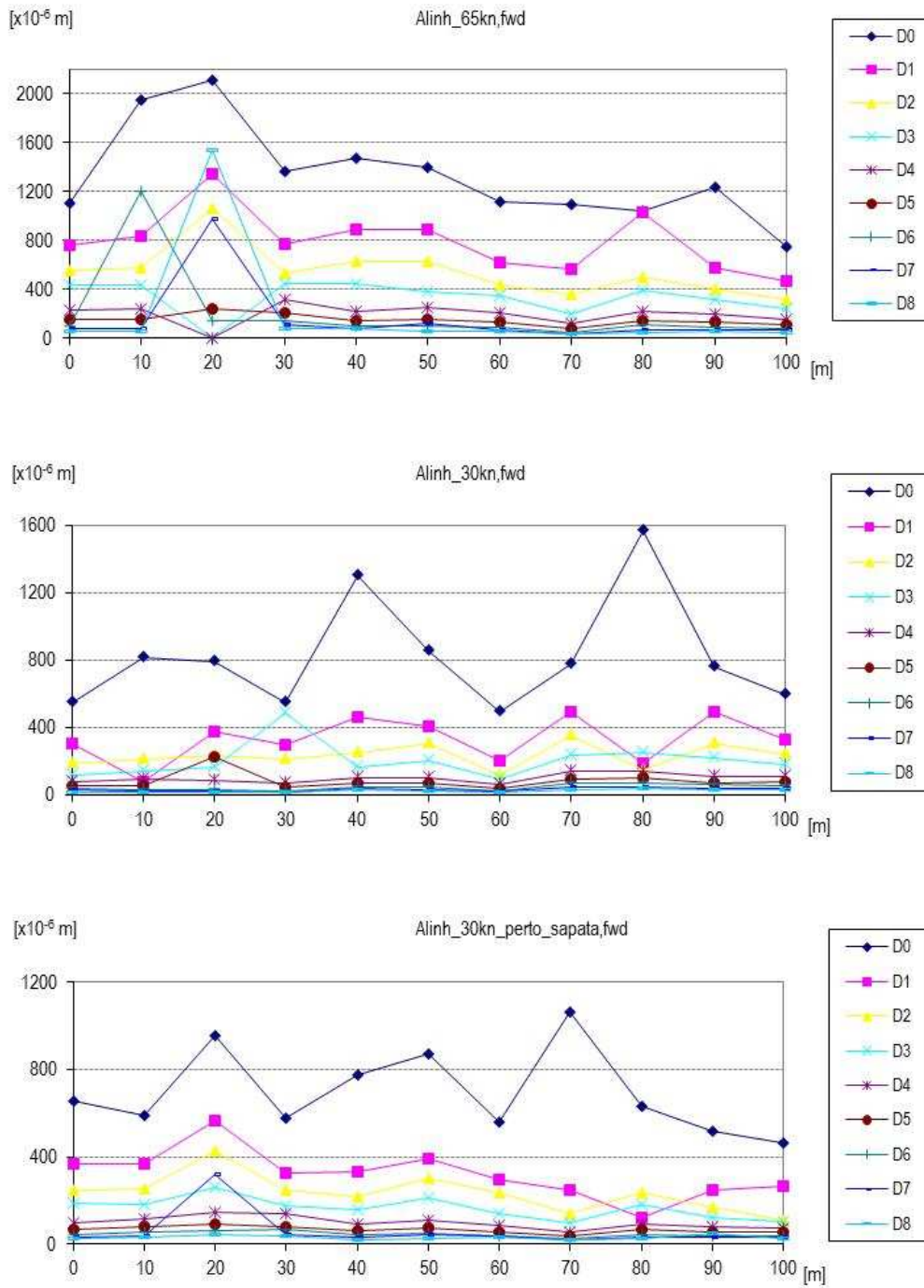


Figura 5.18 | Resultados dos ensaios com FWD

Para cada força padrão, foi determinado o percentil 85 das deflexões, dando origem ao defletograma característico correspondente a uma probabilidade das deflexões serem excedidas inferior a 15%. Os dois defletogramas característicos obtidos para as forças padrão de 65 kN e 30 kN são apresentados na Figura 5.19.

A análise da Figura 5.18 mostra que há uma dispersão acentuada das deflexões medidas, bem evidente por exemplo nas deflexões medidas no centro da placa (D0). Para o cálculo do percentil 85, foram eliminados alguns defletogramas considerados não válidos do ponto de vista técnico.

No Quadro 5.14 são apresentados os valores estatísticos associados às deflexões normalizadas: valores mínimo, máximo e médio, desvio-padrão, percentil 85 (P85) e coeficiente de variação (CV). Tal como já foi referido, considera-se que foram obtidos valores elevados do coeficiente de variação, o que traduz ainda uma variação importante do comportamento dos alinhamentos ensaiados tendo em conta a sua pequena extensão (apenas 100 metros), mesmo após terem sido eliminados alguns resultados.

Quadro 5.14| Valores associados às deflexões normalizadas (μm)

Deflexão	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Força padrão de 65 kN									
Mínimo	745	468	321	202	120	75	51	39	32
Máximo	1470	1027	630	448	322	206	149	117	84
Valor médio	1175	731	484	356	214	138	97	78	57
Desvio-padrão	222	185	113	90	57	35	26	24	15
P85	1405	924	602	449	273	175	124	102	73
CV	19	25	23	25	27	26	27	30	26
Força padrão de 30 kN									
Mínimo	461	191	108	95	53	36	25	21	20
Máximo	1572	498	354	251	141	101	74	49	48
Valor médio	763	338	227	168	100	68	49	37	30
Desvio-padrão	303	93	71	48	27	17	14	8	8
P85	1079	435	301	218	128	86	63	45	39
CV	40	28	31	29	27	25	29	22	27

Os defletogramas característicos – associados aos valores do percentil 85 (P85) – foram utilizados para, com base na análise estrutural das condições de ensaio, se obter o módulo de deformabilidade da camada em RCD. Considerou-se que a espessura da camada de RCD tem em média 80 cm (segundo a informação da AMBIGROUP esta camada tem espessura variável, mas este foi o valor indicado como valor médio). Subjacente, considera-se que existe um meio estratificado constituído pelo restante aterro, com 1,5 m de espessura, e o terreno “in situ” em profundidade com rigidez cerca de 5 vezes superior à do aterro. Nos cálculos utilizou-se o programa ELSYM5.

A Figura 5.19 apresenta o melhor ajustamento que foi conseguido para os defletogramas experimental (percentil 85) e de cálculo.

Para a força padrão de 65 kN, obteve-se um módulo de deformabilidade da camada de RCD de 120 MPa. Para o caso da força padrão de 30 kN, foi obtido para esta camada um módulo de deformabilidade de 75 MPa. Estes resultados evidenciam um comportamento não linear dos materiais em função do estado de tensão aplicado. Para efeitos de dimensionamento do pavimento, adotou-se o valor de cálculo de 100 MPa.

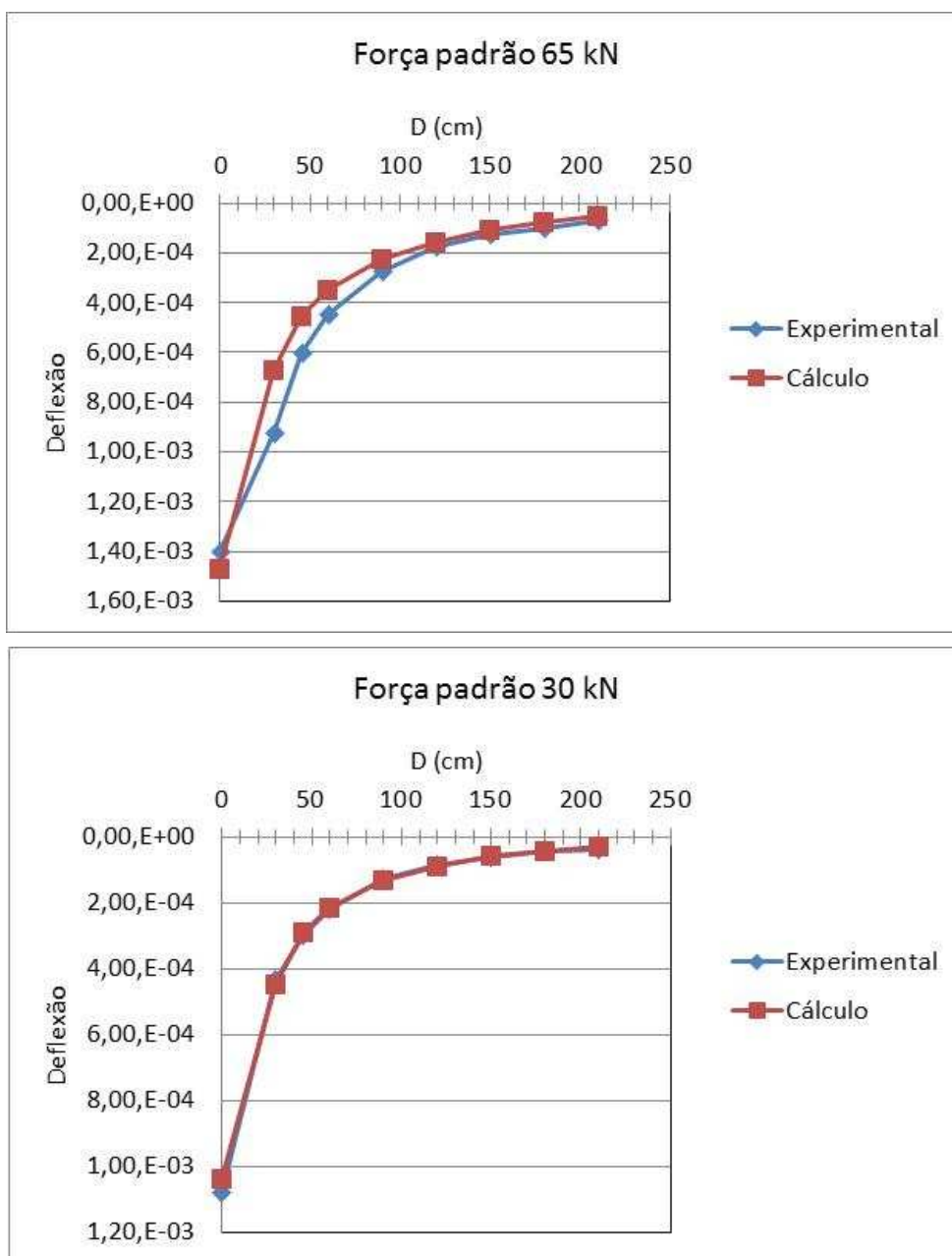


Figura 5.19 | Ajustamento dos defletogramas experimental e de cálculo

5.3.3 Dimensionamento do pavimento

Nesta subsecção descreve-se a estrutura de pavimento tipo dos trechos experimentais, o seu dimensionamento, com indicação dos elementos tidos em conta, e procede-se à verificação da sua capacidade de carga para o período de vida de projeto adotado (20 anos).

A verificação da capacidade de carga do pavimento projetado foi feita por um método analítico, que recorre ao cálculo dos estados de tensão e de deformação induzidos na estrutura do pavimento e na respetiva fundação, quando ela é solicitada pelos eixos dos veículos pesados, para o período de vida de projeto considerado. Os estados de tensão e de deformação são calculados admitindo um modelo de comportamento estrutural em que o pavimento é assimilado a um conjunto de camadas sobrepostas assentes sobre a respetiva fundação. Admite-se que os materiais constituintes, de cada uma das camadas do pavimento e da fundação, têm comportamento elástico linear e isotrópico, caracterizado por um módulo de deformabilidade E e um coeficiente de *Poisson* ν .

As características de deformabilidade das camadas betuminosas do pavimento foram estimadas pela metodologia habitual, tendo em atenção o tipo de materiais, as especificações do CETEP (EP, 2010) e as condições climáticas da região. No caso particular das camadas não ligadas em RCD, as características de deformabilidade adotadas nos cálculos tiveram por base os ensaios FWD realizados na obra (descritos na secção anterior) e a experiência obtida no trabalho de investigação desenvolvido no LNEC em 2009, no âmbito de uma dissertação de mestrado do IST [Pestana, R., 2008]. Neste trabalho de investigação foi construído um trecho experimental na fossa de ensaios do LNEC, com duas camadas não ligadas em RCD, onde se realizaram ensaios de determinação do módulo de deformabilidade recorrendo a dois equipamentos: o Geogauge e o FWD.

A ação dos eixos dos veículos pesados, durante o período de vida de projeto, é expressa em termos de um número equivalente de passagens do eixo padrão de 80 kN, eixo simples com rodado duplo. O número de passagens do eixo padrão, equivalente à ação do tráfego pesado acumulado no referido período, foi estimado com base numa distribuição de tráfego que pareceu razoável para a finalidade do local dos trechos experimentais (parque industrial), na falta de outros dados.

Para se poder avaliar a adequação, em termos de capacidade de carga, de uma estrutura de pavimento projetada ao tráfego durante o período de vida de projeto, é necessário estabelecer critérios que traduzam os estados limites de ruína, tendo-se considerado os seguintes:

- a) fendilhamento, por fadiga, das camadas betuminosas e das camadas granulares ligadas com ligantes hidráulicos;
- b) deformação excessiva (cavados de rodeira) à superfície da camada de desgaste.

Na verificação da capacidade de carga dos pavimentos projetados, tais estados limites de ruína são considerados através dos seguintes critérios:

- 1) limitar a extensão máxima de tração na zona inferior das camadas betuminosas (visa impedir a ruína por fadiga, em tração, daquelas camadas, durante o período de vida de projeto);
- 2) limitar a extensão vertical de compressão no topo da fundação do pavimento (visa reduzir a contribuição das deformações permanentes da fundação na formação de cavados de rodeira, no mesmo período).

Os valores limite das extensões e das trações referidos em 1) e 2) são estabelecidos tendo em atenção as propriedades dos materiais das camadas e o número estimado de passagens do eixo padrão durante o período de vida de projeto adotado.

Descrição da estrutura do pavimento tipo

Propõe-se uma estrutura de pavimento do tipo flexível, constituída por camada de sub-base em RCD (15 cm) e camada de base em RCD (15 cm), sobre a qual será aplicada a camada de desgaste em betão betuminoso (6 cm). A fundação do pavimento será constituída pelo atual aterro construído em RCD.

A estrutura de pavimento projetada é apresentada no Quadro 5.15.

Quadro 5.15 | Estrutura do pavimento tipo

Espessuras (cm)		Material	Descrição
36	6	AC 14 surf 35/50 (BD)	Betão betuminoso para camada de desgaste, fabricado com betume com penetração nominal 35/50
	15	RCD	RCD aplicado em camada de base
	15	RCD	RCD aplicado em camada de sub-base

Sobre a camada de base em agregado britado de granulometria extensa em RCD e antes da construção da camada betuminosa, será sempre aplicada uma rega de impregnação em emulsão betuminosa catiónica especial de impregnação de rotura lenta C 40 B 4 (EC1), aplicada à taxa de 1 kg/m².

Dados de dimensionamento

Desconhecendo-se efetivamente a utilização do parque industrial onde serão construídos os trechos experimentais, estabeleceu-se por hipótese o tráfego, distribuído por classes, que se apresenta na Figura 5.20. Este tráfego foi validado pela AMBIGROUP em reunião do projeto SUPREMA realizada em Setembro de 2011. O Quadro 5.16 apresenta o número de veículos de cada classe para o ano de início de funcionamento do parque. Para ter em conta a evolução da construção de mais pavilhões industriais ao longo do tempo, considerou-se, por simplificação, que este tráfego sofrerá um crescimento à taxa média anual de 2%.

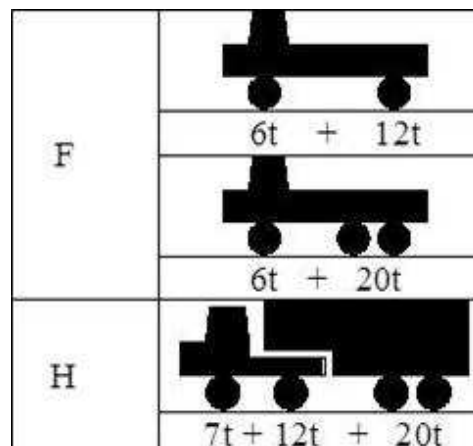


Figura 5.20 | Classes de tráfego

Quadro 5.16 | Tráfego inicial (Ano 0)

Classe de veículo	Número de veículos no Ano 0
F1	2
F2	4
H	10

Para o período de dimensionamento e tomando como referência o eixo-padrão de dimensionamento de 80 kN, tem-se:

- NAVP (**N**úmero **A**cumulado de **V**eículos **P**esados) = 141897
- Fator de agressividade do tráfego = 2
- N_{dim}^{80} (número equivalente de passagens do eixo-padrão de 80 kN) $\cong 0,3 \times 10^6$

Um dos fatores que tem grande influência na deformabilidade das camadas betuminosas é a temperatura. A temperatura de cálculo é estabelecida com base na temperatura média anual ponderada do ar (TMAAP) local, a qual tem em conta os valores médios das temperaturas mensais da zona em estudo. A influência da temperatura foi tida em consideração através da metodologia preconizada pela Shell. Com base nos valores das temperaturas médias mensais do ar na região de Lisboa publicados pelo Instituto de Meteorologia, obteve-se um valor de projeto para a temperatura média anual ponderada do ar (*Chart W*) igual a 17,7°C (Quadro 5.17). Estes dados são relativos à Estação de Lisboa e ao período de 1951 a 1980. A essa temperatura do ar corresponde, de acordo com a referida metodologia (*Chart RT*), uma temperatura de cálculo dos pavimentos de 28,0 °C para a camada de desgaste.

Quadro 5.17 | Temperatura anual do ar, pela metodologia da Shell

Mês	TMMA (°C)	Fatores de ponderação (<i>Chart W</i>)
Janeiro	11,3	0,32
Fevereiro	12,0	0,36
Março	13,5	0,44
Abril	15,2	0,55
Maio	17,6	0,77
Junho	20,0	1,07
Julho	22,3	1,44
Agosto	22,6	1,50
Setembro	21,3	1,27
Outubro	18,3	0,85
Novembro	14,2	0,48
Dezembro	11,7	0,34
Fator de ponderação médio		0,78
TMAAP (°C)		17,7

Conforme já referido e tendo em conta a análise efetuada aos resultados dos ensaios FWD realizados no local, para a fundação considerou-se o módulo de deformabilidade correspondente a 120 MPa.

Também relativamente às camadas granulares não ligadas a construir com os diferentes tipos de RCD em estudo, de forma simplificada, admitiu-se como referência os resultados do estudo de investigação realizado no LNEC no âmbito da dissertação de mestrado oportunamente referida [Pestana, R., 2008], onde foram ensaiadas camadas de betão britado. Desta forma e para atender

aos diferentes materiais que vão ser utilizados no presente projeto, adotou-se um módulo de deformabilidade equivalente para as camadas granulares de 200 MPa.

Na previsão das características de deformabilidade das misturas betuminosas (E_{mb}) utilizou-se a metodologia da Universidade de Nottingham:

$$E_{mb} = E_{betume} \left[1 + \frac{257,5 - 2,5VMA}{n(VMA - 3)} \right]^n$$

Em que:

$$n = 0,83 \log \left(\frac{4 \times 10^4}{S_b} \right)$$

$$S_b = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{0,368} \times 2,718^{IP} \times (T_{AB} - T)^5$$

$$IP = \frac{1951 - 500 \log P - 20 T_{AB}}{50 \log P - T_{AB} - 120,1}$$

Sendo:

E_{mb} – módulo de deformabilidade da mistura betuminosa;

E_{betume} – módulo de rigidez do betume;

VMA – volume de vazios na mistura de agregados

IP – índice de penetração do betume envelhecido

P – penetração do betume;

T_{AB} – temperatura de amolecimento pelo método do “anel e bola” do betume;

T – temperatura de cálculo do pavimento.

Nas misturas betuminosas considerou-se a utilização de um betume 35/50 e considerou-se que o seu envelhecimento se traduz num valor da penetração de 65% do valor inicial. No Quadro 5.18 apresenta-se o valor obtido na previsão do módulo de deformabilidade da mistura betuminosa da camada de desgaste. Os valores das características de deformabilidade adotados no cálculo da análise estrutural são os apresentados resumidamente no Quadro 5.19.

Assim os valores da penetração do ligante recuperado (P_r) e da temperatura de amolecimento pelo método de “anel e bola” do ligante recuperado (T_{ABr}), são calculados a partir dos valores obtidos para o betume original.

$$P_r = 0,65P_i$$

$$T_{ABr} = 98,4 - 26,4 \log P_r$$

Quadro 5.18 | Previsão do módulo de deformabilidade da mistura betuminosa

Mistura betuminosa	AC 14 surf 35/50 (BB)
V _v (%)	4
V _b (%)	12
P _i (x10 ⁻¹)	42,5
Velocidade (km/h)	40
P _r (x10 ⁻¹)	27,6
T _{AB} (°C)	60,3
IP	-0,215
T (°C)	28,0
E _{betume} (MPa)	19,761
n	2,744
VMA	16
E _{mb} (MPa)	4278

Legenda: V_v – porosidade; V_b – percentagem volumétrica de betume; P_i – penetração inicial do betume; P_r – penetração do betume envelhecido; T_{AB} – temperatura de amolecimento pelo método do “anel e bola” do betume envelhecido; IP – índice de penetração do betume envelhecido; T – temperatura de cálculo do pavimento; E_{betume} – módulo de rigidez do betume; VMA – volume de vazios na mistura de agregados; E_{mb} – módulo de deformabilidade da mistura betuminosa

Quadro 5.19 | Características de deformabilidade das camadas do pavimento

Camada	Material	Características de deformabilidade	
		Módulo de deformabilidade E (MPa)	Coefficiente de Poisson μ
Desgaste	AC 14 surf 35/50 (BB)	4200	0,40
Base e sub-base	RCD	200	0,35

Critérios de dimensionamento

De acordo com o apresentado anteriormente, explicitam-se seguidamente os critérios de dimensionamento adotados para verificação de capacidade de carga do pavimento projetado.

O critério de fadiga das camadas betuminosas corresponde, pois, a fixar um valor limite para a extensão máxima de tração na camada de macadame betuminoso (ϵ_i^{lim}) que, de acordo com a Shell, é dada por:

$$\varepsilon_t^{\text{lim}} = (0,856 V_b + 1,08) E_{mb}^{-0,36} N^{-0,2}$$

em que: V_b é o teor volumétrico em betume; E_{mb} é o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa; e N é o número acumulado de passagens do eixo padrão.

Para limitar a contribuição do solo de fundação na formação de cavados de rodeira adotou-se o critério proposto pela Shell que limita a extensão máxima de compressão no topo do solo de fundação a:

$$\varepsilon = a N^{-0,25}$$

em que N é o número acumulado de passagens do eixo padrão. O critério para uma probabilidade de ruína por deformação permanente de 5 % considera o valor do parâmetro a igual a 0,018.

Cálculos de análise estrutural e verificação do dimensionamento

Na análise estrutural do pavimento foi utilizado o programa ELSYM5. O Quadro 5.20 apresenta os valores das extensões condicionantes calculadas.

Quadro 5.20 | Cálculos da análise estrutural do pavimento

Critério	Extensões calculadas
Fadiga ($\times 10^{-6}$)	266,8
Deformação permanente ($\times 10^{-6}$)	557,5

Com estes resultados determinaram-se os valores de N_{adm}^{80} dados pelos critérios de dimensionamento, os quais foram comparados com os valores de N_{dim}^{80} de forma a verificar a seguinte relação:

$$N_{adm}^{80} \geq N_{dim}^{80}$$

Pretendeu-se ainda garantir, sempre, pelo menos um dano estrutural de:

$$Dano = \frac{N_{dim}^{80}}{N_{adm}^{80}} \times 100 < 100\%$$

No Quadro 5.21 resumem-se os valores de N_{dim}^{80} e indicam-se os valores de N_{adm}^{80} para cada uma das condições de ruína consideradas para as camadas betuminosas e para a fundação. A análise efetuada permite concluir que o critério de dimensionamento condicionante é o da fadiga das misturas betuminosas.

Quadro 5.21 | Verificação da capacidade de carga do pavimento projetado

		N_{dim}^{80}	0,3×10 ⁶
		N_{adm}^{80} Fadiga	0,3×10 ⁶
		N_{adm}^{80} Deformações permanentes	1,1×10 ⁶
Dano estrutural		Fadiga	100%
		Deformações permanentes	27%

5.3.4 Instrumentação das secções experimentais

Em cada um dos trechos experimentais serão selecionadas 2 secções de instrumentação onde se colocarão os seguintes equipamentos:

- extensómetros horizontais, a colocar na base das camadas betuminosas;
- extensómetros verticais, a colocar no topo do aterro de fundação do pavimento;
- células de carga, a colocar no topo do aterro de fundação do pavimento.

A Figura 5.21 mostra esquematicamente a localização destes equipamentos na estrutura do pavimento e respetiva fundação em aterro, consoante a secção.

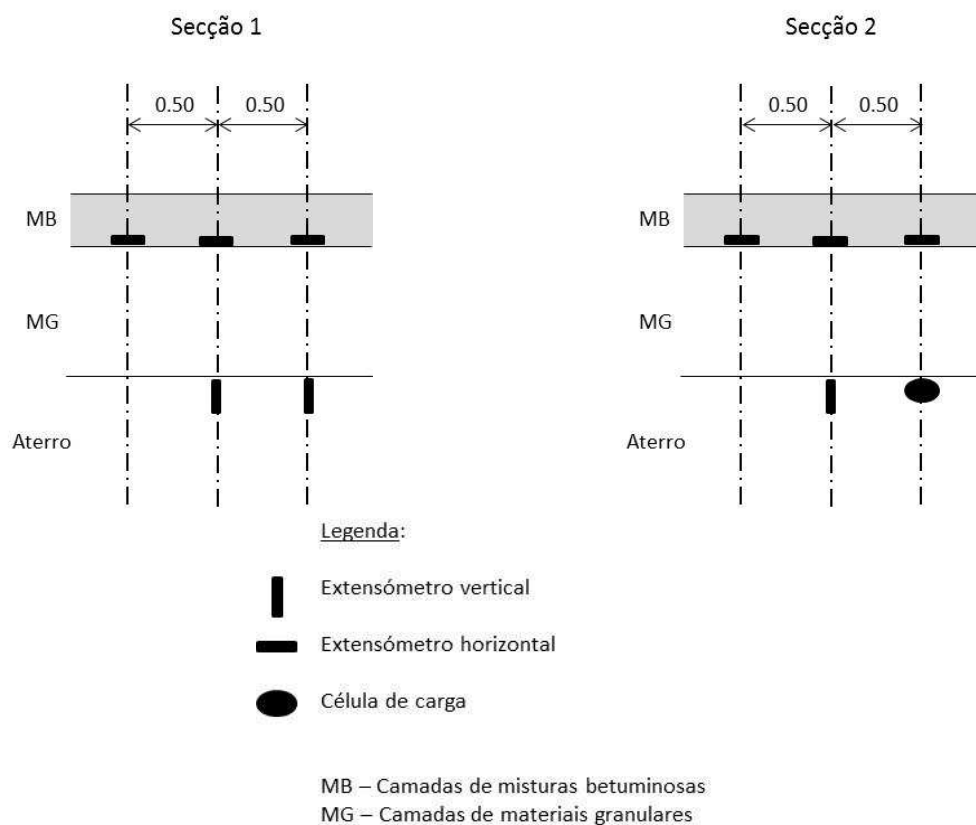


Figura 5.21 | Instrumentação das secções experimentais

O Quadro 5.22 indica o número total de equipamentos a instalar nos trechos experimentais.

Quadro 5.22 | Número de equipamentos

Equipamentos	Quantidade
Extensómetros horizontais	30
Extensómetros verticais	15
Células de carga	5

Será ainda selecionado um local onde serão colocados termopares para medição da temperatura ambiente e da temperatura das camadas de misturas betuminosas, a profundidades a selecionar consoante o número de camadas betuminosas e respetivas espessuras que vier a ser definido no projeto de pavimentação da obra, o que nesta data ainda não é conhecido.

Os instrumentos serão instalados durante a construção das camadas, obrigando a cuidados específicos de instalação dos mesmos e de movimentação de pessoas e máquinas.

Foi produzido um ficheiro Excel onde se apresentam detalhadamente os tipos e quantidades de instrumentos a colocar nas 2 secções de cada trecho experimental.

No passeio e ao lado de cada um dos trechos experimentais, na zona central, será construída uma caixa de visita para localização dos terminais dos cabos de ligação aos sistemas de aquisição de dados.

A metodologia de implantação e instrumentação dos trechos experimentais deverá ser ajustada em obra, tendo em conta as reais condições do local e os meios disponíveis para o efeito.

No âmbito das atividades a desenvolver no Projeto SUPREMA foram já preparados vários documentos, apresentando-se no Quadro 6.1 a sua designação bem como o seu estado de realização, à data da publicação do presente relatório.

Quadro 6.1 | Documentos elaborados no âmbito do projeto SUPREMA

Designação	Objetivo	Estado de realização
Documento sobre o estado-da-arte relativo à aplicação de RCD em infraestruturas de transportes	Cumprimento da tarefa 1a	Em fase de revisão do documento final
Relatório de progresso do Projeto SUPREMA – Ano 2	Apresentação do trabalho desenvolvido	Concluído
Sustainable Application of Construction and Demolition Recycled Materials (C&DRM) in Road Infrastructures	<i>Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities, 1st International Conference</i> September, 12th- 14th 2011, Guimarães	Artigo apresentado oralmente
Aplicação de Agregados Reciclados em Estradas	<i>Ambinews</i> , Revista de Informação de Ambiente, nº20, out/nov/dez 2011	Artigo publicado
Aplicação de resíduos de construção e demolição (RCD) em pavimentos rodoviários	<i>XII Congresso Nacional de Geotecnia</i> 17 a 30 de abril de 2012 – Lisboa	Artigo submetido em Janeiro de 2012, a ser apresentado oralmente O artigo está em fase de revisão pela Comissão de Revisão do congresso
Entrevista	<i>Jornal “Água e Ambiente”, edição de Fevereiro 2012 – Especial Reciclagem</i>	Publicada

Entre 1 de Fevereiro de 2011 e 31 de Janeiro de 2012, correspondente ao Ano 2 do Projeto SUPREMA, foram realizadas as seguintes deslocações, tendo em vista quer a aquisição de conhecimentos na área dos materiais reciclados, objeto de estudo do presente projeto, quer a apresentação das atividades desenvolvidas ou ainda a colheita de amostras e o acompanhamento da atividade experimental desenvolvida no âmbito deste projeto (Quadro 7.1).

Quadro 7.1 | Deslocações efetuadas no âmbito do projeto SUPREMA

Designação	Objetivo
Trecho experimental – Seixal (diversas deslocações)	Estudo da viabilidade de realização de trecho experimental com aplicação de RCD; Recolha de amostras para caracterização.
<i>WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities</i> – 1 st International Conference; September 12th – 14th 2011, Guimarães	Apresentação dos resultados, em termos de viabilidade ambiental, no âmbito da reciclagem de resíduos em infraestruturas de transporte e obras geotécnicas.
Empresa ALS Environmental ALSP, Unipessoal Lda. Cabanas Golf Oeiras - Barcarena	Entrega de amostras para análise química dos materiais selecionados, segundo o Decreto-lei 183/2009.

Neste relatório apresenta-se a atividade desenvolvida durante o segundo ano de execução do Projeto SUPREMA, identificado como Ano 2 (de 1/02/2011 a 31/01/2012), com a realização das ações descritas nas tarefas 2, 3 e 4, em anexo (Anexo I). Apresenta-se igualmente uma nova *Timeline* com a programação dos trabalhos a realizar, tendo em vista a concretização das tarefas constantes do projeto SUPREMA, contemplando uma extensão do seu prazo de execução.

Durante o Ano 2 foi desenvolvido um conjunto de ações, definido durante a realização periódica de reuniões do grupo de trabalho, que compreenderam o planeamento e acompanhamento do estudo experimental em curso, nomeadamente no que concerne à colheita dos materiais a estudar, à definição das características dos trechos experimentais a realizar, bem como à respetiva instrumentação.

Foram caracterizadas laboratorialmente várias amostras de RCD e de ABGE_N a aplicar em camadas não ligadas, com obtenção das suas propriedades geométricas, físicas, mecânicas e de compactação, tendo em vista a sua aplicação no trecho experimental. Procedeu-se ainda à caracterização ambiental das amostras de RCD, realizando ensaios de lixiviação segundo as normas EN 12457-4:2002 e NP EN 1744-3:2005 para avaliar a libertação de contaminantes a curto prazo dos materiais em estudo.

No que diz respeito aos ensaios de lixiviação realizados sobre os vários materiais em estudo, os primeiros resultados apontam para a possível utilização dos RCD, pois os teores dos contaminantes analisados são inferiores aos valores limite para deposição de resíduos em aterros para resíduos inertes, cumprindo os requisitos estabelecidos nos documentos de referência. Contudo, uma conclusão final sobre o risco ambiental associado à utilização destes resíduos só será tomada quando estiverem concluídos todos os ensaios de lixiviação preconizados neste projeto de investigação.

No que concerne à produção escrita foi elaborado um documento sobre o estado-da-arte relativo à aplicação de RCD em infraestruturas de transportes, presentemente em fase final de revisão, tendo ainda sido apresentada oralmente uma comunicação a um congresso internacional. Foi submetido um artigo ao XII Congresso Nacional de Geotecnia a decorrer em 2012. Foi publicado um artigo na *Ambinews*, Revista de Informação de Ambiente, nº20, Out/Nov/Dez 2011 e concedida uma entrevista ao Jornal “Água e Ambiente”, edição de Fevereiro 2012 – Especial Reciclagem. Foi ainda elaborado o presente relatório.

Dado que se verificou a alienação dos RCD, objeto de caracterização laboratorial durante o Ano 2 de concretização do projeto SUPREMA, para posterior aplicação no trecho experimental e, tendo em vista a concretização do projeto em apreço, considera-se necessário reformular toda a programação das diferentes tarefas inicialmente previstas, com a conseqüente necessidade de aumentar o prazo de execução total do projeto em 18 meses.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do projeto de I&D "PTDC/ECM/100931/2008 SUPREMA – "Aplicação Sustentável de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em Infra-estruturas Rodoviária" pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) do Ministério da Educação e Ciência.

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, fevereiro de 2012

VISTOS

O Diretor do Departamento de Transportes



António Lemente de Macedo
Eng.º Civil, Investigador Coordenador do LNEC

A Diretora do Departamento de Geotecnia



Laura Saraiva Caldeira
Eng.ª Civil, Investigadora Coordenadora do LNEC

O Diretor do Departamento de Materiais

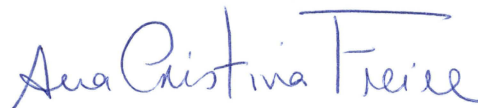


Arlindo Freitas Gonçalves
Eng.º Civil, Investigador Coordenador do LNEC



Maria de Lurdes Antunes
Eng.ª Civil, Investigadora Coordenadora do LNEC
Vogal do Conselho Diretivo do LNEC

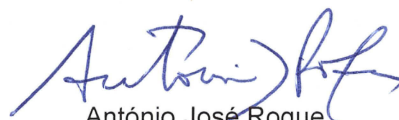
AUTORIA



Ana Cristina Freire
Eng.ª Civil, Investigadora Auxiliar do LNEC
Chefe do Núcleo de Infra-estruturas Rodoviárias e
Aeroportuárias



José Manuel Neves
Eng.º Civil, Professor Auxiliar do IST



António José Roque
Eng.º Geólogo, Investigador Principal do LNEC



Isabel Maria Milagre Martins
Eng.ª Química, Assistente de Investigação do
LNEC



Maria de Lurdes Antunes
Eng.ª Civil, Investigadora Coordenadora do LNEC
Vogal do Conselho Diretivo do LNEC



Gonçalo Ruas Faria
Eng.º Civil, Bolseiro de Investigação FCT
PTDC/ECM/100931/2008

EN 1097-2:2010 (Ed. 2). Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation.

EN 13286-2:2010 (Ed. 2). Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 2: Test methods for laboratory reference density and water content - Proctor compaction.

EN 13286-7:2004 (Ed. 1). Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 7: Cyclic load triaxial test for unbound mixtures.

EN 1744-3: 2002. Tests for chemical properties of aggregates. Preparation of eluates by leaching of aggregates.

EN 933-11:2009 (Ed. 1). Tests for geometrical properties of aggregates. Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate.

EN 933-4:2008 (Ed. 2). Tests for geometrical properties of aggregates. Part 4: Determination of particle shape - Shape index.

EP, 2009 - Caderno de Encargos Tipo Obra 14.03 – Pavimentação, Estradas de Portugal S.A, Fevereiro 2009.

LNEC E 204 – 1967 – Solos. Determinação da baridade seca “in situ” pelo método da garrafa de areia. Especificação LNEC.

NP EN 13286-1:2009 (Ed. 1). Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos. Parte 1: Métodos de ensaio para a determinação da baridade e do teor de água. Introdução, requisitos gerais e amostragem.

NP EN 933-1:2000 (Ed. 1). Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração.

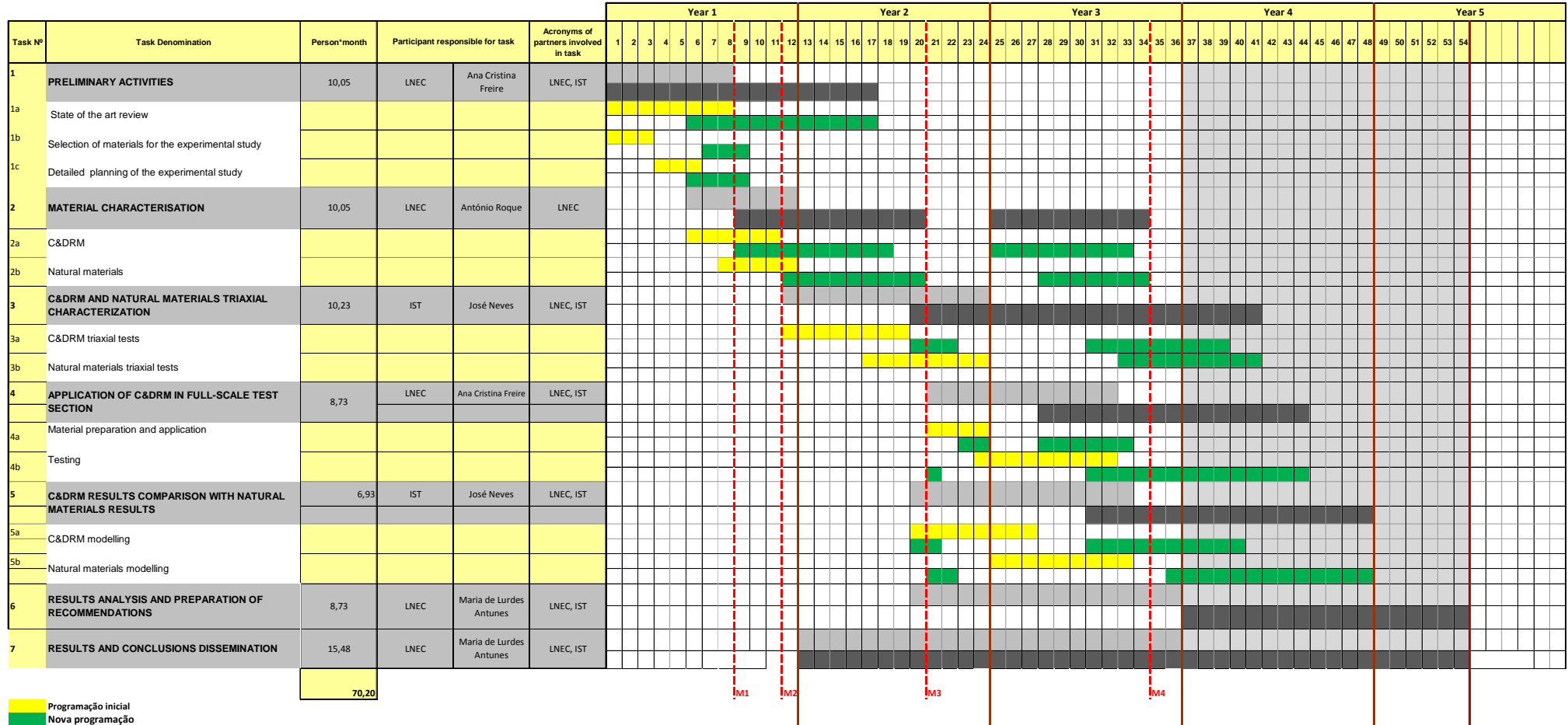
NP EN 933-2:1999 (Ed. 1). Ensaio para determinação das características geométricas dos agregados Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas.

Pestana, R., 2008 - Contribuição para o Estudo do Comportamento Mecânico de RCD Aplicados em Estradas de Baixo Tráfego. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, 2008.

10 | ANEXO I - PROPOSTA DE PROGRAMAÇÃO DO PROJETO SUPREMA

Project reference : PTDC/ECM/100931/2008

Project title: SUPREMA - SUSTAINABLE APPLICATION OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION RECYCLE MATERIALS (C&DRM) IN ROAD INFRASTRUCTURES



11 | ANEXO II - RESULTADOS DOS ENSAIOS

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Work Order : PR1149155	Issue Date : 25-NOV-2011	
Client : Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, I.P.	Laboratory : ALS Czech Republic, s.r.o.	
Contact : Mr. Antonio Roque	Contact : Client Service	
Address : Av. Do Brasil 101 Lisboa Portugal 1700-066	Address : Na Harfe 336/9 Prague 9 - Vysocany Czech Republic 190 00	
E-mail : aroque@lnec.pt	E-mail : customer.support@alsglobal.com	
Telephone : +351 218 4432	Telephone : +420 226 226 228	
Facsimile : ----	Facsimile : +420 284 081 635	
Project : ----	Page : 1 of 5	
Order number : 2011-00477	Date Samples Received : 18-NOV-2011	
C-O-C number : ----	Quote number : PR2011LABNA-PT0002 (PT-300-11-0800)	
Site : ----	Date of test : 18-NOV-2011 - 25-NOV-2011	
Sampled by : client	QC Level : ALS CR Standard Quality Control Schedule	

General Comments

This report shall not be reproduced except in full, without prior written approval from the laboratory.
 The laboratory declares that the test results relate only to the listed samples.
 Methods S-TC-COU, S-TIC-COU, S-TOC-CC - samples were dried at 105 °C and pulverized before analysis.
 Sample(s) PR1149155002,003,004 method S-TOC-COU - lower LOR for TOC cannot be reached due to the comparable concentrations of TC and TIC.
 Sample(s) PR1149155/001,002,005, method S-TPHFID01 - contain(s) high-boiling hydrocarbons with more than C40.

Signatories

This document has been electronically signed by those names that appear on this report and are the authorized signatories specified in the Appendix to Certificate of Accreditation No. 521/2008 to Testing Laboratory No. 1163, which has been issued by Czech Accreditation Institute.

Signatories

Zdenek Jirak



Position

Prague Laboratory Manager



Testing Laboratory
Accredited by CAI



L 1163

ALS Czech Republic, s.r.o.
 Part of the ALS Laboratory Group
 Na Harfe 336/9 Prague 9 - Vysocany Czech Republic 190 00
 Tel. +420 226 226 228 Fax. +420 284 081 635

Environmental 

www.alsglobal.com

RIGHT SOLUTIONS RIGHT PARTNER

Issue Date : 25-NOV-2011
Page : 2 of 5
Work Order : PR1149155
Client : Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, I.P.



Analytical Results

Sub-Matrix: SOIL				Client sample ID		Suprema-Betumino so Britado		Suprema-Betao Britado (Misto)		Suprema-Betao Britado	
				Laboratory sample ID		PR1149155001		PR1149155002		PR1149155003	
				Client sampling date / time		18-NOV-2011 00:00		18-NOV-2011 00:00		18-NOV-2011 00:00	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU		
Physical Parameters											
Dry matter @ 105°C	S-DRY-GRCI	0.10	%	99.4	±5.0 %	98.3	±5.0 %	97.4	±5.0 %		
Moisture	S-DRY-GRCI	0.10	%	0.59	±5.0 %	1.72	±5.0 %	2.60	±5.0 %		
Nonmetallic Inorganic Parameters											
Total Organic Carbon	S-TOC-CC	100	mg/kg	34200	—	<6400	—	<7800	—		
BTEX											
Benzene	S-VOCGMS01	0.020	mg/kg	<0.020	—	<0.020	—	<0.020	—		
Toluene	S-VOCGMS01	0.100	mg/kg	0.416	±40.0 %	0.267	±40.0 %	<0.100	—		
Ethylbenzene	S-VOCGMS01	0.020	mg/kg	<0.020	—	<0.020	—	<0.020	—		
meta- & para-Xylene	S-VOCGMS01	0.020	mg/kg	<0.020	—	<0.020	—	<0.020	—		
ortho-Xylene	S-VOCGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	—	<0.010	—	<0.010	—		
Sum of BTEX	S-VOCGMS01	0.170	mg/kg	0.416	—	0.267	—	<0.170	—		
Sum of xylenes	S-VOCGMS01	0.030	mg/kg	<0.030	—	<0.030	—	<0.030	—		
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)											
Naphthalene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	—	<0.010	—	<0.010	—		
Acenaphthylene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	—	<0.010	—	<0.010	—		
Acenaphthene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	—	<0.010	—	<0.010	—		
Fluorene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.012	±30.0 %	<0.010	—	<0.010	—		
Phenanthrene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.175	±30.0 %	0.022	±30.0 %	<0.010	—		
Anthracene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.012	±30.0 %	<0.010	—	<0.010	—		
Fluoranthene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.040	±30.0 %	0.028	±30.0 %	<0.010	—		
Pyrene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.075	±30.0 %	0.029	±30.0 %	<0.010	—		
Benzo(a)anthracene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.028	±30.0 %	0.013	±30.0 %	<0.010	—		
Chrysene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.137	±30.0 %	0.030	±30.0 %	<0.010	—		
Benzo(b)fluoranthene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.044	±30.0 %	0.019	±30.0 %	<0.010	—		
Benzo(k)fluoranthene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	—	<0.010	—	<0.010	—		
Benzo(a)pyrene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.070	±30.0 %	0.022	±30.0 %	<0.010	—		
Indeno(1.2.3.cd)pyrene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.018	±30.0 %	<0.010	—	<0.010	—		
Benzo(g,h,i)perylene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.043	±30.0 %	0.018	±30.0 %	<0.010	—		
Dibenz(a,h)anthracene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	0.012	±30.0 %	<0.010	—	<0.010	—		
Sum of 16 PAH	S-PAHGMS01	0.160	mg/kg	0.666	—	0.181	—	<0.160	—		
Sum of carcinogenic PAH	S-PAHGMS01	0.070	mg/kg	0.309	—	0.084	—	<0.070	—		
Sum of non carcinogenic PAH	S-PAHGMS01	0.090	mg/kg	0.357	—	0.097	—	<0.090	—		
PCBs											
PCB 28	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	—	<0.0030	—	<0.0030	—		
PCB 52	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	—	<0.0030	—	<0.0030	—		
PCB 101	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	—	<0.0030	—	<0.0030	—		
PCB 118	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	—	<0.0030	—	<0.0030	—		
PCB 138	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	—	<0.0030	—	<0.0030	—		
PCB 153	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	—	<0.0030	—	<0.0030	—		
PCB 180	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	—	<0.0030	—	<0.0030	—		
Sum of 6 PCBs	S-PCBECD01	0.018	mg/kg	<0.018	—	<0.018	—	<0.018	—		
Sum of 6 PCBs (M1)	S-PCBECD01	0.0090	mg/kg	<0.0090	—	<0.0090	—	<0.0090	—		
Sum of 7 PCBs	S-PCBECD01	0.021	mg/kg	<0.021	—	<0.021	—	<0.021	—		
Sum of 7 PCBs (M1)	S-PCBECD01	0.0105	mg/kg	<0.0105	—	<0.0105	—	<0.0105	—		
Petroleum Hydrocarbons											
C10 - C40 Fraction	S-TPHFID01	20	mg/kg	3020	±30.0 %	326	±30.0 %	50	±30.0 %		

ALS Czech Republic, s.r.o.

Part of the **ALS Laboratory Group**
Na Harfe 336/9 Prague 9 - Vysočany Czech Republic 190 00
Tel. +420 226 226 228 Fax. +420 284 081 635 www.alsenviro.com
A Campbell Brothers Limited Company

Issue Date : 25-NOV-2011
 Page : 3 of 5
 Work Order : PR1149155
 Client : Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, I.P.



Sub-Matrix: SOIL				Client sample ID		Suprema-Agregado Natural		Suprema-Betumino so Frisado		---	
				Laboratory sample ID		PR1149155004		PR1149155005		---	
				Client sampling date / time		18-NOV-2011 00:00		18-NOV-2011 00:00		---	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	---	---	---	---
Physical Parameters											
Dry matter @ 105°C	S-DRY-GRCI	0.10	%	99.4	±5.0 %	99.6	±5.0 %	---	---	---	---
Moisture	S-DRY-GRCI	0.10	%	0.58	±5.0 %	0.38	±5.0 %	---	---	---	---
Nonmetallic Inorganic Parameters											
Total Organic Carbon	S-TOC-CC	100	mg/kg	<14100	---	54900	---	---	---	---	---
BTEX											
Benzene	S-VOCGMS01	0.020	mg/kg	<0.020	---	<0.020	---	---	---	---	---
Toluene	S-VOCGMS01	0.100	mg/kg	0.158	±40.0 %	0.472	±40.0 %	---	---	---	---
Ethylbenzene	S-VOCGMS01	0.020	mg/kg	<0.020	---	<0.020	---	---	---	---	---
meta- & para-Xylene	S-VOCGMS01	0.020	mg/kg	<0.020	---	<0.020	---	---	---	---	---
ortho-Xylene	S-VOCGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	<0.010	---	---	---	---	---
Sum of BTEX	S-VOCGMS01	0.170	mg/kg	<0.170	---	0.472	---	---	---	---	---
Sum of xylenes	S-VOCGMS01	0.030	mg/kg	<0.030	---	<0.030	---	---	---	---	---
Polycyclic Aromatics Hydrocarbons (PAHs)											
Naphthalene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.013	±30.0 %	---	---	---	---
Acenaphthylene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	<0.010	---	---	---	---	---
Acenaphthene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.014	±30.0 %	---	---	---	---
Fluorene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.019	±30.0 %	---	---	---	---
Phenanthrene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.400	±30.0 %	---	---	---	---
Anthracene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.041	±30.0 %	---	---	---	---
Fluoranthene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.061	±30.0 %	---	---	---	---
Pyrene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.314	±30.0 %	---	---	---	---
Benz(a)anthracene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.183	±30.0 %	---	---	---	---
Chrysene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.464	±30.0 %	---	---	---	---
Benzo(b)fluoranthene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.065	±30.0 %	---	---	---	---
Benzo(k)fluoranthene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.033	±30.0 %	---	---	---	---
Benzo(a)pyrene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.306	±30.0 %	---	---	---	---
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.025	±30.0 %	---	---	---	---
Benzo(g,h,i)perylene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.081	±30.0 %	---	---	---	---
Dibenz(a,h)anthracene	S-PAHGMS01	0.010	mg/kg	<0.010	---	0.024	±30.0 %	---	---	---	---
Sum of 16 PAH	S-PAHGMS01	0.160	mg/kg	<0.160	---	2.04	---	---	---	---	---
Sum of carcinogenic PAH	S-PAHGMS01	0.070	mg/kg	<0.070	---	1.10	---	---	---	---	---
Sum of non carcinogenic PAH	S-PAHGMS01	0.090	mg/kg	<0.090	---	0.943	---	---	---	---	---
PCBs											
PCB 28	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	---	<0.0030	---	---	---	---	---
PCB 52	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	---	<0.0030	---	---	---	---	---
PCB 101	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	---	<0.0030	---	---	---	---	---
PCB 118	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	---	<0.0030	---	---	---	---	---
PCB 138	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	---	<0.0030	---	---	---	---	---
PCB 153	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	---	<0.0030	---	---	---	---	---
PCB 180	S-PCBECD01	0.0030	mg/kg	<0.0030	---	<0.0030	---	---	---	---	---
Sum of 6 PCBs	S-PCBECD01	0.018	mg/kg	<0.018	---	<0.018	---	---	---	---	---
Sum of 6 PCBs (M1)	S-PCBECD01	0.0090	mg/kg	<0.0090	---	<0.0090	---	---	---	---	---
Sum of 7 PCBs	S-PCBECD01	0.021	mg/kg	<0.021	---	<0.021	---	---	---	---	---
Sum of 7 PCBs (M1)	S-PCBECD01	0.0105	mg/kg	<0.0105	---	<0.0105	---	---	---	---	---
Petroleum Hydrocarbons											
C10 - C40 Fraction	S-TPHFID01	20	mg/kg	28	±30.0 %	6200	±30.0 %	---	---	---	---

Sub-Matrix: LEACHATE				Client sample ID			
				Suprema-Betumino so Britado	Suprema-Betao Britado (Misto)	Suprema-Betao Britado	
				Laboratory sample ID	PR1149155001	PR1149155002	PR1149155003

ALS Czech Republic, s.r.o.
 Part of the ALS Laboratory Group
 Na Harfe 336/9 Prague 9 - Vysočany Czech Republic 190 00
 Tel. +420 226 226 228 Fax: +420 284 081 635 www.alsenviro.com
 A Campbell Brothers Limited Company

Issue Date : 25-NOV-2011
 Page : 4 of 5
 Work Order : PR1149155
 Client : Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, I.P.



Sub-Matrix: LEACHATE				Client sample ID		Suprema-Betumino so Britado		Suprema-Betao Britado (Misto)		Supreme-Betao Britado	
				Laboratory sample ID		PR1149155001		PR1149155002		PR1149155003	
				Client sampling date / time		18-NOV-2011 00:00		18-NOV-2011 00:00		18-NOV-2011 00:00	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU	Result	MU
Agregate Parameters											
Dissolved Organic Carbon	W-DOC-IR	5.0	mg/kg DW	14.5	±20.0 %	21.0	±20.0 %	17.5	±20.0 %		
Phenol Index	W-PHI-PHO	0.05	mg/kg DW	0.07	±52.5 %	<0.05	---	<0.05	---		
Nonmetallic Inorganic Parameters											
Chloride	W-CL-IC	10.0	mg/kg DW	<10.0	---	22.5	±20.0 %	20.4	±20.0 %		
Fluoride	W-F-IC	2.00	mg/kg DW	<2.00	---	<2.00	---	<2.00	---		
Sulphate as SO4 2-	W-SO4-IC	50.0	mg/kg DW	210	±15.0 %	14800	±15.0 %	5380	±15.0 %		
Total Metals / Major Cations											
Antimony	W-METMSFX1	0.010	mg/kg DW	<0.010	---	<0.010	---	<0.010	---		
Arsenic	W-METMSFX1	0.010	mg/kg DW	0.012	±10.0 %	0.012	±10.0 %	<0.010	---		
Barium	W-METMSFX2	0.010	mg/kg DW	0.446	±10.0 %	0.585	±10.0 %	2.12	±10.0 %		
Cadmium	W-METMSFX1	0.0050	mg/kg DW	<0.0050	---	<0.0050	---	<0.0050	---		
Chromium	W-METMSFX1	0.050	mg/kg DW	<0.050	---	0.195	±10.0 %	0.174	±10.0 %		
Copper	W-METMSFX2	0.010	mg/kg DW	0.014	±10.0 %	0.067	±10.0 %	0.025	±10.0 %		
Lead	W-METMSFX1	0.010	mg/kg DW	<0.010	---	0.013	±10.0 %	<0.010	---		
Mercury	W-HG-AFSFX	0.00010	mg/kg DW	<0.00010	---	0.00211	±10.0 %	0.00203	±10.0 %		
Molybdenum	W-METMSFX1	0.010	mg/kg DW	0.011	±10.0 %	0.026	±10.0 %	0.025	±10.0 %		
Nickel	W-METMSFX1	0.030	mg/kg DW	<0.030	---	<0.030	---	<0.030	---		
Selenium	W-METMSFX1	0.050	mg/kg DW	<0.050	---	<0.050	---	<0.050	---		
Zinc	W-METMSFX2	0.020	mg/kg DW	0.058	±10.0 %	0.248	±10.0 %	0.318	±10.0 %		

Sub-Matrix: LEACHATE				Client sample ID		Suprema-Agregado Natural		Suprema-Betumino so Frisado		----	
				Laboratory sample ID		PR1149155004		PR1149155005		----	
				Client sampling date / time		18-NOV-2011 00:00		18-NOV-2011 00:00		----	
Parameter	Method	LOR	Unit	Result	MU	Result	MU	Result	MU	Result	MU
Agregate Parameters											
Dissolved Organic Carbon	W-DOC-IR	5.0	mg/kg DW	5.0	±20.0 %	<5.0	---	---	---	---	---
Phenol Index	W-PHI-PHO	0.05	mg/kg DW	<0.05	---	0.10	±39.4 %	---	---	---	---
Nonmetallic Inorganic Parameters											
Chloride	W-CL-IC	10.0	mg/kg DW	<10.0	---	<10.0	---	---	---	---	---
Fluoride	W-F-IC	2.00	mg/kg DW	2.62	±15.0 %	<2.00	---	---	---	---	---
Sulphate as SO4 2-	W-SO4-IC	50.0	mg/kg DW	346	±15.0 %	<50.0	---	---	---	---	---
Total Metals / Major Cations											
Antimony	W-METMSFX1	0.010	mg/kg DW	<0.010	---	<0.010	---	---	---	---	---
Arsenic	W-METMSFX1	0.010	mg/kg DW	<0.010	---	<0.010	---	---	---	---	---
Barium	W-METMSFX2	0.010	mg/kg DW	0.110	±10.0 %	0.427	±10.0 %	---	---	---	---
Cadmium	W-METMSFX1	0.0050	mg/kg DW	<0.0050	---	<0.0050	---	---	---	---	---
Chromium	W-METMSFX1	0.050	mg/kg DW	<0.050	---	<0.050	---	---	---	---	---
Copper	W-METMSFX2	0.010	mg/kg DW	0.018	±10.0 %	0.021	±10.0 %	---	---	---	---
Lead	W-METMSFX1	0.010	mg/kg DW	<0.010	---	<0.010	---	---	---	---	---
Mercury	W-HG-AFSFX	0.00010	mg/kg DW	0.00146	±10.0 %	0.00150	±10.0 %	---	---	---	---
Molybdenum	W-METMSFX1	0.010	mg/kg DW	0.013	±10.0 %	<0.010	---	---	---	---	---
Nickel	W-METMSFX1	0.030	mg/kg DW	<0.030	---	<0.030	---	---	---	---	---
Selenium	W-METMSFX1	0.050	mg/kg DW	<0.050	---	<0.050	---	---	---	---	---
Zinc	W-METMSFX2	0.020	mg/kg DW	0.114	±10.0 %	0.201	±10.0 %	---	---	---	---

When sampling time information is not provided by the client, sampling dates are shown without a time component. In these instances, the time component has been assumed by the laboratory for processing purposes. Measurement uncertainty is expressed as expanded measurement uncertainty with coverage factor k = 2, representing 95% confidence level.

Key: LOR = Limit of reporting; MU = Measurement Uncertainty

ALS Czech Republic, s.r.o.
 Part of the ALS Laboratory Group
 Na Harte 336/9 Prague 9 - Vysočany Czech Republic 190 00
 Tel. +420 226 226 228 Fax. +420 254 081 535 www.alsenviro.com
 A Campbell Brothers Limited Company



The end of result part of the certificate of analysis

Brief Method Summaries

Analytical Methods	Method Descriptions
<i>Location of test performance: Bendlova 1687/7 Ceska Lipa Czech Republic 470 03</i>	
S-TC-COU	CZ_SOP_D06_07_055 (CSN ISO 10694, CSN EN 13137) Determination of total sulphur (TS), total carbon (TC), total organic carbon (TOC), total inorganic carbon (TIC) and carbonates in solid samples by coulometry.
S-TIC-COU	CZ_SOP_D06_07_055 (CSN ISO 10694, CSN EN 13137) Determination of total sulphur (TS), total carbon (TC), total organic carbon (TOC), total inorganic carbon (TIC) and carbonates in solid samples by coulometry.
S-TOC-CC	CZ_SOP_D06_07_055 (CSN ISO 10694, CSN EN 13137) Determination of total sulphur (TS), total carbon (TC), total organic carbon (TOC), total inorganic carbon (TIC) and carbonates in solid samples by coulometry.
W-PHI-PHO	CZ_SOP_D06_07_030 (CSN ISO 6439) Determination of phenol index by spectrophotometry.
<i>Location of test performance: Na Harfe 336/9 Prague 9 - Vysocany Czech Republic 190 00</i>	
S-DRY-GRCI	CZ_SOP_D06_01_045 (CSN ISO 11465) Determination of total dry matter by gravimetry; CZ_SOP_D06_07_046 (CSN ISO 11465, CSN EN 12880, CSN 46 5735) Determination of dry matter and water content by gravimetry.
S-PAHGMS01	CZ_SOP_D06_03_161 (EPA 8270, EPA 8131, EPA 8091, CSN EN ISO 6468) Determination of semivolatile organic compounds by gas chromatography method with MS detection
S-PCBECD01	CZ_SOP_D06_03_166 (DIN 38407, part 2, US EPA 8082, sample preparation according to CZ_SOP_D06_03_P01 Chapt. 9.2, 9.3, CZ_SOP_D06_03_P02 Chapt. 9.2, 9.3, 9.4) Determination of polychlorinated biphenyls - congener analyses by gas chromatography method with ECD detection
S-TPHFID01	CZ_SOP_D06_03_150 (CSN EN 14039) Determination of hydrocarbons C10 - C40 by gas chromatography method with FID detection
S-VOCGMS01	CZ_SOP_D06_03_155 (EPA 624, EPA 8260) Determination of volatile organic compounds by gas chromatography method with MS detection
W-CL-IC	CZ_SOP_D06_02_068 Determination of dissolved fluoride, chloride, bromide, nitrite, nitrate and sulphate ions in water matrix by liquid chromatography of ions (based on CSN EN ISO 10304-1).
W-DOC-IR	CZ_SOP_D06_02_056 Determination of total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC) in water (based on CSN EN 1484).
W-F-IC	CZ_SOP_D06_02_068 Determination of dissolved fluoride, chloride, bromide, nitrite, nitrate and sulphate ions in water matrix by liquid chromatography of ions (based on CSN EN ISO 10304-1).
W-HG-AFSFX	CZ_SOP_D06_02_096 (US EPA 245.7, US EPA 1631, CSN EN ISO 17852, CSN EN 13370 sample preparation according to CZ_SOP_D06_02_J02, Chapt.10.1 and 10.2.). Determination of Mercury by Fluorescence Spectrometry. Sample was fixed by nitric acid addition prior to analysis.
W-METMSFX1	CZ_SOP_D06_02_002 (US EPA 200.8, CSN EN ISO 17294-2, sample preparation according to CZ_SOP_D06_02_J02, Chapt.10.1 and 10.2). Determination of elements (Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cr(VI), Cu, I, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Pd, Rh, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V, Zn) by inductively coupled plasma mass spectrometry. Sample was fixed by nitric acid addition prior to analysis.
W-METMSFX2	CZ_SOP_D06_02_002 (US EPA 200.8, CSN EN ISO 17294-2, sample preparation according to CZ_SOP_D06_02_J02, Chapt.10.1 and 10.2). Determination of elements (Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cr(VI), Cu, I, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Pd, Rh, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, V, Zn) by inductively coupled plasma mass spectrometry. Sample was fixed by nitric acid addition prior to analysis.
W-SO4-IC	CZ_SOP_D06_02_068 Determination of dissolved fluoride, chloride, bromide, nitrite, nitrate and sulphate ions in water matrix by liquid chromatography of ions (based on CSN EN ISO 10304-1).
<i>Preparation Methods</i>	
<i>Method Descriptions</i>	
<i>Location of test performance: Bendlova 1687/7 Ceska Lipa Czech Republic 470 03</i>	
*S-PPHOM.07	CZ_SOP_D06_07_P01 Preparation of solid samples for analysis (crushing, milling and pulverizing).
*S-PPHOM0.3	CZ_SOP_D06_07_P01 Preparation of solid samples for analysis (crushing, milling and pulverizing).
*S-PPHOM10	CSN EN 12457-4 Sieving and crushing of sample on the grain size < 10 mm.
*S-PPL24CE	CSN EN 12457-4 (CZ_SOP_D06_07_P04) Characterisation of waste - Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials and sludge - Part 4: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 10 L/kg for materials with particle size below 10 mm (without or with size reduction). Liquid to Solid ratio was 10:1.

A "*" symbol preceding any method indicates non-accredited test. In the case when a procedure belonging to an accredited method was used for non-accredited matrix, would apply that the reported results are non-accredited. Please refer to General Comment section on front page for information.

The calculation methods of summation parameters are available on request in the client service.

