



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 INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS

**Relatório de progresso do projecto
PTDC/ECM/100931/2008 – Ano 1**

Projecto PTDC/ECM/100931/2008

Lisboa • Junho de 2011

I&D TRANSPORTES

RELATÓRIO 202/2011 – NIRA

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

RELATÓRIO DE PROGRESSO DO PROJECTO PTDC/ECM/100931/2008 – ANO 1

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

PROGRESS REPORT OF PROJECT PTDC/ECM/100931/2008 – YEAR 1

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

RAPPORT D'ACTIVITES DE PROJECT PTDC/ECM/100931/2008 – ANNEE 1

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

RELATÓRIO DE PROGRESSO DO PROJECTO PTDC/ECM/100931/2008 – ANO 1

Índice

1 	INTRODUÇÃO	1
2 	CONSTITUIÇÃO DA EQUIPA	5
3 	REUNIÕES EFECTUADAS	6
4 	AQUISIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO.....	8
5 	ESTUDO EXPERIMENTAL.....	9
5.1	SELECÇÃO DE MATERIAIS	9
5.2	PLANEAMENTO	9
5.2.1	<i>Ensaio de laboratório</i>	<i>9</i>
5.2.2	<i>Trechos experimentais</i>	<i>10</i>
6 	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	16
6.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	16
6.2	PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS AGREGADOS	17
6.2.1	<i>Classificação dos agregados reciclados</i>	<i>17</i>
6.2.2	<i>Granulometria</i>	<i>17</i>
6.2.3	<i>Índice de forma</i>	<i>19</i>
6.3	PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS AGREGADOS	19
6.3.1	<i>Determinação da baridade seca “in situ”</i>	<i>19</i>
6.3.2	<i>Compactação.....</i>	<i>20</i>
6.3.3	<i>Resistência à fragmentação</i>	<i>21</i>
6.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
7 	PUBLICAÇÕES.....	23
8 	MISSÕES	24
9 	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
10 	REFERÊNCIAS.....	27

Índice de Figuras

Figura 1 Localização dos trechos experimentais	11
Figura 2 Geometria da implantação dos trechos experimentais.....	12
Figura 3 Instrumentação das secções	13
Figura 4 Equipamento FWD do LNEC	14
Figura 5 Aspecto do pavimento com aplicação de RCD - Torres Vedras	16
Figura 6 RCD em depósito para aplicação (a). Colheita de amostra de RCD (b) - Torres Vedras..	16
Figura 7 Curvas granulométricas das amostras de RCD.....	18
Figura 8 Realização do ensaio de garrafa de areia	20
Figura 9 Resultados do ensaio Proctor	21

Índice de Quadros

Quadro 1 Reuniões realizadas no âmbito do projecto FCT	6
Quadro 2 Estimativa do número de equipamentos.....	14
Quadro 3 Constituintes da amostra de RCD.....	17
Quadro 4 Granulometria das amostras de RCD	18
Quadro 5 Índice de forma (SI) da amostra de RCD.....	19
Quadro 6 Resultados do ensaio da garrafa de areia	20
Quadro 7 Coeficiente de Los Angeles da amostra de RCD	22
Quadro 8 Documentos elaborados no âmbito do projecto SUPREMA.....	23
Quadro 9 Deslocações efectuadas no âmbito do projecto SUPREMA	24

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

RELATÓRIO DE PROGRESSO DO PROJECTO PTDC/ECM/100931/2008 – ANO 1

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil é uma fonte geradora de grandes quantidades de resíduos, estimando-se uma produção anual global de 850 milhões de toneladas, entre os membros da União Europeia, resultante de diversos processos, como a limpeza do local de obras e movimentação de terras, os materiais inutilizados e os desperdícios ocorridos durante a construção de obras e ainda as demolições e operações de manutenção, conservação e reabilitação de construções existentes.

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) eram depositados em aterros, que nem sempre apresentam condições adequadas para lidar com os diferentes tipos de resíduos que recebem. Dada a crescente falta de espaços para a implementação de aterros e perante o agravamento dos custos que advêm das exigências associadas aos aterros controlados, com maiores requisitos de protecção ambiental, torna-se claro que a diminuição de volumes de RCD por meio da sua reutilização e reciclagem é uma alternativa desejável.

Com a publicação do Decreto-Lei nº46/2008 de 12 de Março, a deposição de RCD em aterro fica condicionada a uma triagem prévia, pretendendo-se contribuir assim para um incremento da reciclagem ou de outras formas de valorização de RCD e, conseqüentemente, para a redução das quantidades depositadas em aterro. O referido Decreto-Lei promove, para obras públicas ou particulares, a reutilização de materiais, a incorporação de reciclados de RCD na obra ou, caso tal não seja possível, o seu encaminhamento para um operador de gestão de resíduos.

A utilização de RCD em pavimentos rodoviários constitui assim uma solução com claras vantagens ambientais e económicas. A aplicação de RCD como material granular não ligado em camadas de pavimento (base, sub-base e leito), apresenta ainda a vantagem de permitir incorporar grandes quantidades dos materiais em apreço, com diferentes origens.

Um exemplo de RCD com grande potencial para o emprego em camadas de leito de pavimento e de sub-base são as misturas betuminosas recuperadas. Com efeito, embora a aplicação mais interessante deste tipo de RCD seja o fabrico de misturas betuminosas recicladas, existe uma quantidade apreciável deste tipo de materiais que não obedece às exigências deste tipo de utilização, constituindo, pois, uma fonte geradora de apreciáveis quantidades de RCD para camadas não ligadas.

Existem ainda lacunas nos conhecimentos que limitam a aplicação generalizada de RCD em camadas de base e de sub-base e de leito de pavimento, resultante essencialmente da falta de informação sobre o desempenho mecânico e ambiental destes materiais, bem como a reduzida experiência com a aplicação em obra destes materiais e a necessidade de adaptar as especificações técnicas a este tipo de materiais.

O presente projecto visa contribuir para a aplicação sustentável de RCD em infra-estruturas rodoviárias, através da viabilização da utilização destes materiais em camadas granulares não ligadas de base e de sub-base e de leito de pavimento.

O principal objectivo do projecto SUPREMA é dar resposta às questões colocadas pelo meio técnico nacional e internacional, relacionadas com a aplicação de RCD em camadas de base, sub-base e de leito de pavimento, 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 dos 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 aspectos 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.

A execução do projecto SUPREMA permitirá a elaboração de um guia para a aplicação de RCD em camadas de base, sub-base e leito de pavimento.

Para alcançar as metas do projecto, o programa de trabalhos foi dividido em sete tarefas principais, a seguir apresentadas:

- I. a primeira tarefa compreende as sub-tarefas 1a, 1b e 1c, e consiste na revisão do estado-da-arte, no planeamento detalhado de todas as actividades a serem realizadas durante o projecto, com definição de critérios adequados; a selecção dos materiais (RCD e materiais naturais) para serem usados no estudo, em função da origem; as metodologias de selecção e do método de classificação, bem como a definição da caracterização laboratorial a ser realizada, tendo em conta as normas europeias aplicáveis;
- II. a segunda tarefa, compreende duas sub-tarefas (2a e 2b), que incluem os ensaios de caracterização física e química, dos RCD e de amostras de agregados naturais previamente seleccionados, possibilitando a obtenção de uma gama de valores de

referência para diferentes RCD e agregados naturais. Como a maioria dos métodos de ensaio têm sido desenvolvidos para materiais naturais, será necessário fazer adaptações de metodologias ou equipamentos de ensaio, de modo a permitir a caracterização de RCD;

- III. a terceira tarefa compreende as sub-tarefas 3a e 3b, que envolvem a execução de ensaios triaxiais cíclicos sobre amostras seleccionadas de RCD e de agregados naturais;
- IV. a quarta tarefa (que compreende as sub-tarefas 4a e 4b) compreende a 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, será efectuado um controle sistemático da qualidade de construção. Pretende-se ainda proceder à instrumentação do trecho, com a colocação de extensómetros, células de carga e lisímetros;
- V. a quinta tarefa, compreende as sub-tarefas 5a e 5b e diz respeito à análise dos resultados obtidos quer no estudo de laboratório (Tarefa 3), quer no acompanhamento da execução do trecho experimental (Tarefa 4);
- VI. a sexta tarefa, após a análise cuidadosa dos resultados obtidos, compreende a proposta de valores característicos para as propriedades relacionadas com o desempenho dos materiais estudados, bem como a elaboração de especificações e recomendações para a aplicação desses materiais em camadas granulares não ligadas e em leito de pavimento;
- VII. a sétima tarefa, a ser iniciada com o final do primeiro ano do projecto, visa promover a divulgação dos resultados obtidos, através da publicação de artigos em revistas nacionais e internacionais, e a apresentação de trabalhos em seminários nacionais e internacionais; outro objectivo desta tarefa é a preparação, até ao final do terceiro ano do projecto, de um seminário para apresentação à comunidade técnica das principais conclusões alcançadas, favorecendo, assim, o debate e a troca de ideias com outros organismos envolvidos na área dos RCD.

Os principais resultados esperados com o desenvolvimento deste projecto são a elaboração de recomendações práticas para projecto 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.

As duas instituições integradas neste projecto, 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.

Neste relatório apresenta-se a actividade desenvolvida durante o primeiro ano de execução do Projecto SUPREMA, identificado como "Ano 1" (de 1/02/2010 a 31/01/2011), com a realização das

acções descritas nas tarefas 1 e 2, e conforme consta da programação apresentada em anexo (Anexo I).

O documento relativo à *Milestone 1*, que compreende a elaboração de uma síntese do estado-da-arte sobre a aplicação de RCD infra-estruturas rodoviárias, está em fase de conclusão.

No que concerne à *Milestone 2*, que compreende a selecção dos materiais a aplicar nos trechos experimentais a realizar e a caracterizar em ensaios triaxiais, é apresentada no capítulo 6.

Os elementos que constituem, nesta data, a equipa de investigação do Projecto SUPREMA são:

- Ana Cristina Ferreira de Oliveira Rosado Freire, Investigadora Responsável do Projecto, 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

A Investigadora Isabel Maria Milagre Martins acompanhou todas as actividades desenvolvidas no âmbito do projecto, desde o seu início. No entanto a sua participação formal no projecto SUPREMA teve início em 01/01/2011, com a saída da Investigadora Ana Maria Esteves por aposentação.

O bolseiro de investigação (BI) com mestrado, Gonçalo Alexandre Ruas Faria, previsto no projecto em apreço, foi contratado em 15 de Julho de 2010,

Como se pode constatar pela data de contratação do BI verificou-se algum atraso no início da actividade a desenvolver no âmbito do projecto, especialmente no que respeita à concretização da tarefa 1a – elaboração do estado da arte. No entanto pode considerar-se que, nesta data, esta se encontra já num estado avançado de realização.

3 | REUNIÕES EFECTUADAS

Com o início do projecto de investigação em apreço foi definida e aplicada uma metodologia de trabalho que compreendeu a realização de reuniões periódicas da equipa de investigação, favorecendo assim o desenvolvimento do projecto de forma consistente e apoiada. Deste modo foram realizadas, durante o primeiro ano de projecto, as reuniões a seguir indicadas (Quadro 1).

Quadro 1 | Reuniões realizadas no âmbito do projecto FCT

Reunião	Data de realização	Assuntos tratados
1ª reunião	Fevereiro 2010	Análise das principais acções a desenvolver no âmbito do projecto; Estabelecimento dos critérios a adoptar para a selecção do bolseiro de investigação do projecto.
2ª reunião	Abril 2010	Concurso para admissão do bolseiro de investigação; Prospecção de mercado sobre os diferentes tipos de RCD disponíveis para estudo; Metodologia a adoptar na recolha da bibliografia para a elaboração do estado-da-arte.
3ª reunião	Julho 2010	Contratação do bolseiro de investigação; Início da tarefa 1a – elaboração do estado-da-arte.
4ª reunião	Setembro 2010	Apresentação do bolseiro de investigação a toda a equipa do projecto; Definição dos possíveis tipos de RCD e de materiais naturais a estudar; Apresentação dos resultados de contactos havidos com empresas produtoras de RCD, no sentido de fornecerem materiais para o estudo a efectuar, nomeadamente com a Ambitrena, SA para a construção do trecho experimental; Definição das principais características do trecho experimental a construir com a aplicação de RCD; Discussão de possíveis dificuldades na construção do trecho experimental.
5ª reunião	Novembro 2010	Execução de trecho experimental - A Ambitrena, SA, através do Engº João Calhas, manifestou disponibilidade para colaborar no projecto SUPREMA, havendo possibilidade de acompanhar uma obra de raiz, no Seixal, com a aplicação de RCD; Apresentação dos resultados da caracterização dos RCD aplicados em camada de base num pavimento em Torres Vedras, em obra da Ambitrena, SA:

Reunião	Data de realização	Assuntos tratados
		<p>- Ensaio garrafa de areia;</p> <p>- Análise granulométrica do RCD recolhido, antes e após aplicação, para fornecer indicações à Ambitrena para eventual rectificação do processo de produção dos RCD;</p> <p>Preparação do equipamento para o ensaio de lixiviação e discussão da implementação do método de ensaio segundo a EN 1744-3;</p> <p>Análise das possíveis publicações a preparar e a apresentar.</p>
6ª reunião	Dezembro 2010	<p>Definição dos principais congressos/seminários e revistas científicas para apresentação dos resultados do projecto;</p> <p>Definição da realização de mais ensaios para caracterização das amostras de RCD aplicados em Torres Vedras:</p> <p>- Determinação do índice de forma, ensaio Proctor e resistência à fragmentação pelo ensaio de Los Angeles.</p> <p>Verificação do estado em que se encontram os projectos de especialidade relativos à obra do Seixal;</p> <p>Definição da constituição do relatório anual de progresso do projecto;</p> <p>Definição da equipa de investigação do projecto perante a FCT.</p>
7ª reunião	Janeiro 2011	<p>Definição do índice do estado-da-arte e do relatório de progresso do projecto;</p> <p>Conversação com o Eng. João Calhas, da Ambitrena, SA, para obtenção dos documentos referentes à obra;</p> <p>Discussão sobre a metodologia a adoptar para a instrumentação do trecho experimental;</p> <p>Discussão sobre a metodologia a adoptar para a obtenção de material betuminoso fresado para aplicação no trecho experimental.</p>

4 | AQUISIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO

No âmbito do Projecto SUPREMA está presentemente em curso o processo de aquisição dos equipamentos necessários à climatização de duas salas de ensaio para a realização de ensaios de caracterização de agregados conforme as normas europeias.

A adaptação do equipamento de ensaio servo-hidráulico para a realização de ensaios triaxiais sobre amostras de RCD e de agregados naturais está presentemente em estudo.

Foi igualmente iniciado o processo de concepção e aquisição do sistema de instrumentação a utilizar no trecho experimental. O sistema em apreço inclui extensómetros, células de carga, termopares e sistema de aquisição dos dados. O computador para análise e processamento dos dados da caracterização laboratorial e do trecho experimental foi já adquirido.

No âmbito da avaliação do comportamento à lixiviação das diferentes amostras de RCD procedeu-se à aquisição de uma hélice conforme com a especificação da norma EN 1744-3: "*Tests for chemical properties of aggregates. Preparation of eluates by leaching of aggregates*", para desenvolvimento e implementação do referido método de ensaio.

5.1 Selecção de materiais

Na parte experimental do projecto pretende-se contribuir para o estudo de RCD com maior potencial de aplicação em camadas não ligadas de pavimentos, incluindo o leito de pavimento, e também com maior disponibilidade, em função daquilo que é o panorama nacional de produção de resíduos.

Assim, os materiais considerados no estudo experimental são agregados com as seguintes proveniências:

- 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, mais concretamente de misturas betuminosas recuperadas (materiais fresados em obra) (**ARA_R3**).

Relativamente aos agregados naturais, será seleccionado um agregado que seja comum na construção de camadas não ligadas de pavimentos rodoviários (sub-base e base), como por exemplo agregado calcário britado de granulometria extensa.

Todos os materiais seleccionados para o estudo experimental serão submetidos a ensaios laboratoriais de identificação e caracterização geométrica, física, mecânica, hidráulica, química e ambiental das suas principais propriedades.

5.2 Planeamento

5.2.1 Ensaios de laboratório

Para além dos ensaios correntes de identificação e caracterização, nesta fase será dado maior ênfase à caracterização do comportamento mecânico dos materiais, em termos de deformação, o que será feito em laboratório através do ensaio triaxial de cargas repetidas, com câmara de grandes dimensões; equipamento que é considerado o mais adequado para o estudo deste tipo de materiais sob carregamento cíclico.

Para o efeito, está em curso a análise da recuperação dos equipamentos já existentes, quer no LNEC quer no IST, com câmara triaxial de grandes dimensões, de forma a realizar estes ensaios segundo a norma Europeia EN 13286-7: “Unbound and hydraulically bound mixtures. Cyclic load triaxial test for unbound mixtures”.

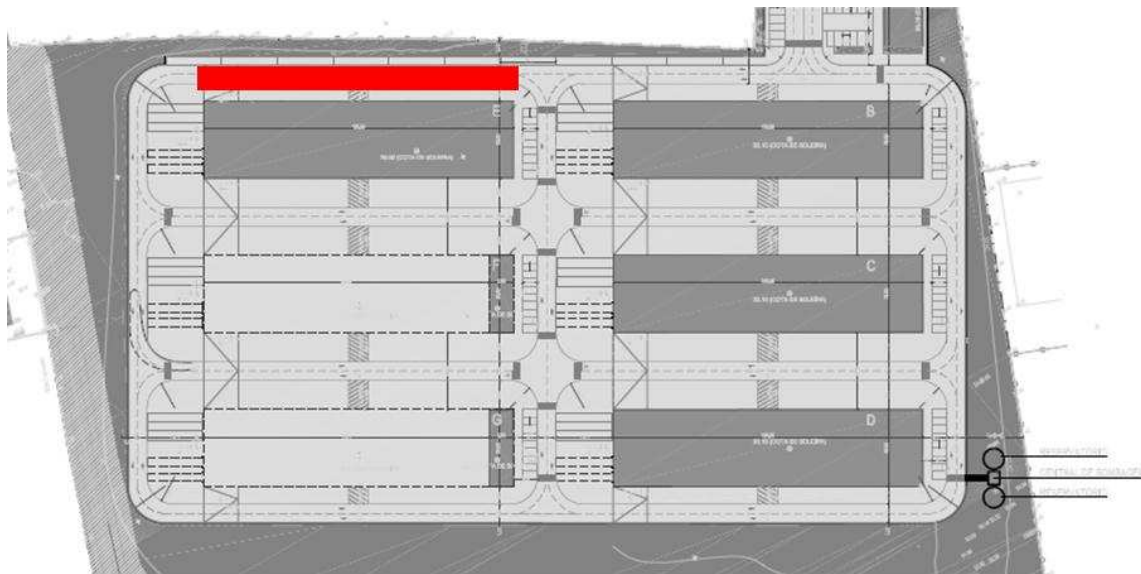
Os ensaios serão conduzidos de forma a ser possível a caracterização dos materiais em termos do comportamento elástico não linear, tendo em conta também as condições de estado: estado hídrico e compactidade.

Serão ensaiados laboratorialmente segundo a EN 13286-7 dois materiais: um será obrigatoriamente o agregado natural; o outro será um agregado reciclado a seleccionar. Para cada um destes materiais, será adoptada a seguinte metodologia:

- Selecção das amostras representativas de cada material (EN 13286-1).
- Determinação das características de compactação de referência – teor em água e baridade seca – em ensaios realizados com martelo vibrador (EN 13286-4) ou em ensaio de compactação Proctor (EN 13286-2).
- Selecção das condições de estado a utilizar nos ensaios, que sejam representativas das condições dos ensaios “in situ”.
- Realização dos ensaios de forma a estudar o comportamento reversível e às deformações permanentes dos materiais, com a aplicação de trajectórias variáveis de tensões cíclicas representativas das induzidas pela passagem do tráfego e das condições dos ensaios “in situ” (EN 13286-7).
- Análise e modelação do comportamento evidenciado pelos materiais nos ensaios, segundo modelos numéricos de comportamento a seleccionar.

5.2.2 Trechos experimentais

No seguimento de contactos estabelecidos em 2010 com a empresa Ambigroup SGPS, foi seleccionada uma obra onde se irá proceder à construção, instrumentação e observação dos trechos experimentais com a aplicação dos materiais previamente seleccionados. Esta obra, localizada no Seixal, envolve a construção de um parque industrial, constituído por edifícios industriais e respectivos arruamentos de acesso e parques de estacionamento. Na Figura 1 apresenta-se uma planta geral desta obra com a localização da zona seleccionada para a construção dos trechos experimentais.



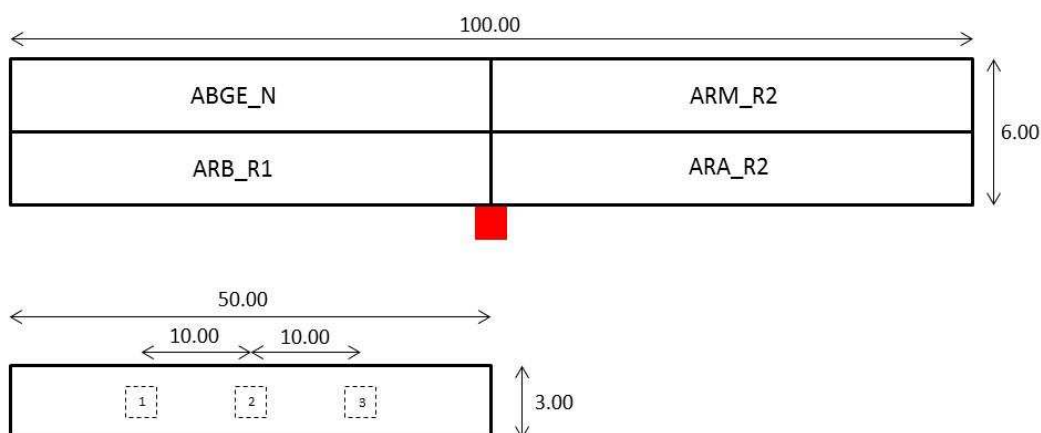
Legenda:

Zona dos trechos experimentais

Figura 1 | Localização dos trechos experimentais

A zona seleccionada está localizada totalmente em aterro e corresponde a um arruamento com 100 metros de extensão, segundo uma largura em perfil transversal da faixa de rodagem de 6 metros. Esta zona será subdividida em 4 trechos experimentais, conforme se representa na Figura 2, onde serão aplicados os materiais seleccionados para o estudo experimental:

- Agregado natural britado e de granulometria extensa (**ABGE_N**).
- Agregado reciclado de resíduos de betão (**ARB_R1**).
- Agregado reciclado de resíduos mistos (**ARM_R2**).
- Agregado reciclado de resíduos asfálticos (misturas betuminosas recuperadas) (**ARA_R3**).



Legenda:

- Trecho experimental
- Caixa de visita (terminal da instrumentação)
- Secção a instrumentar

Materiais a aplicar nas camadas granulares do pavimento:

ABGE_N – Agregado natural britado de granulometria extensa

ARB_R1 – Agregado reciclado de resíduos de betão

ARM_R2 – Agregado reciclado de resíduos mistos

ARA_R3 – Agregado reciclado de resíduos asfálticos (misturas betuminosas recuperadas)

Figura 2 | Geometria da implantação dos trechos experimentais

Actualmente, está concluída a construção do aterro, aguardando-se a aprovação dos projectos de especialidade, nomeadamente do projecto de pavimentação, para se dar início em 2011 à construção dos arruamentos e dos respectivos pavimentos.

Em cada um dos trechos experimentais serão seleccionadas 3 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 3 mostra esquematicamente a localização destes equipamentos na estrutura do pavimento e respectiva fundação em aterro, consoante a secção.

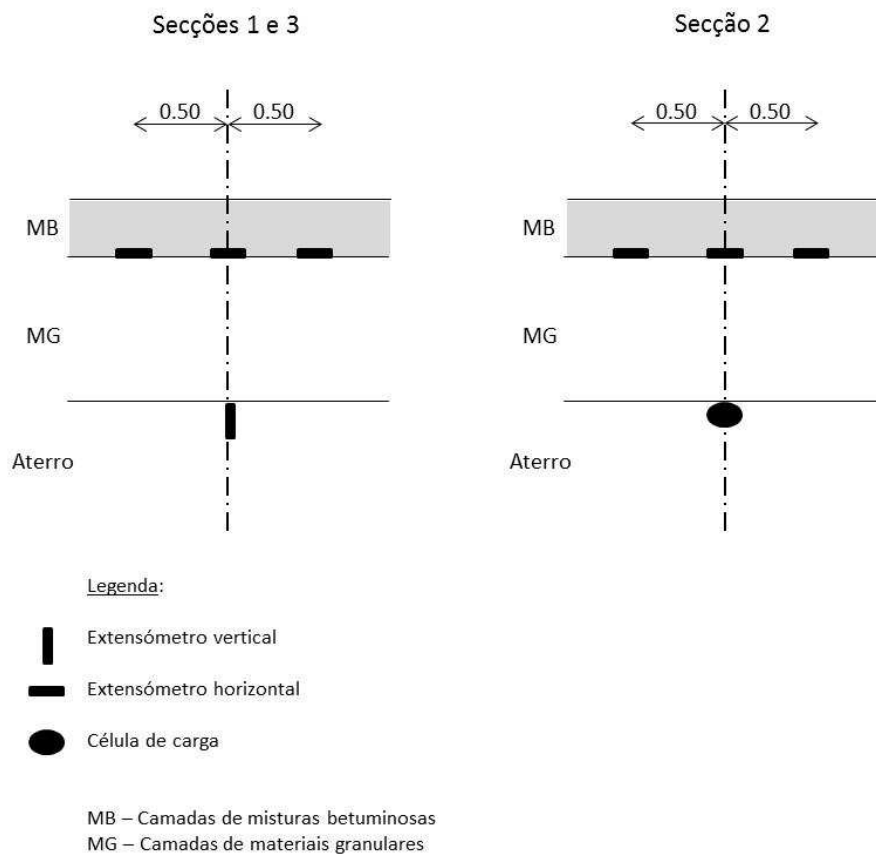


Figura 3 | Instrumentação das secções

Será ainda seleccionado um local onde serão colocados termopares para medição da temperatura ambiente e da temperatura das camadas de misturas betuminosas, a profundidades a seleccionar consoante o número de camadas betuminosas e respectivas espessuras que vier a ser definido no projecto 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.

O Quadro 4 apresenta uma estimativa do número de extensómetros e células de carga a instalar nos trechos experimentais.

No passeio e ao lado 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 (Figura 2).

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

Quadro 2 | Estimativa do número de equipamentos

Equipamentos	Quantidade
Extensómetros horizontais	36
Extensómetros verticais	8
Células de carga	4

Em cada trecho experimental serão realizados ensaios de carga com deflectómetro de impacto (FWD). Será utilizado o equipamento FWD do LNEC (Figura 4). Os ensaios serão realizados não só na superfície do pavimento já construído mas também em cada uma das camadas do pavimento, no decurso da sua construção, conforme a seguir discriminado:

- 1) Aterro
- 2) Camada de sub-base granular
- 3) Camada de base granular
- 4) Camada de ligação em mistura betuminosa
- 5) Camada de desgaste em mistura betuminosa



Figura 4 | Equipamento FWD do LNEC

Este faseamento da execução dos ensaios, durante a construção das secções dos trechos experimentais, será naturalmente adaptado à estrutura de pavimento que vier a ser definida no projecto de pavimentação dos arruamentos da obra, o que ainda não é conhecido.

Paralelamente, serão acompanhados todos os ensaios de controlo da qualidade de execução das camadas dos pavimentos.

Em cada campanha, será realizado um número de ensaios com representatividade estatística na interpretação dos seus resultados. Serão realizados obrigatoriamente ensaios FWD nas secções instrumentadas, com leitura simultânea dos extensómetros e células de carga que já estiverem instalados. A metodologia de realização das campanhas de ensaios no final da construção dos trechos experimentais também deverá ter em conta a influência das condições ambientais na capacidade de carga do pavimento (ex: temperatura ambiente; condições hídricas do aterro de fundação).

6.1 Considerações gerais

Após contactos havidos com a empresa Ambigoup, SGPS, a quem foi apresentado o projecto SUPREMA, nomeadamente os seus principais objectivos relativos ao estudo e aplicação de RCD em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, foi inicialmente proposta a hipótese de se acompanhar a aplicação daqueles materiais numa obra em curso em Torres Vedras, constituindo assim um trecho experimental.

Foi assim efectuada uma visita ao local de aplicação de RCD, tendo sido colhidas amostras de material já aplicado (identificado como RCD-Trecho) e de material colocado em depósito para posterior aplicação (identificado como RCD-Depósito) (Figuras 5 e 6).

Sobre as amostras colhidas foram realizados alguns ensaios de caracterização laboratorial para análise da sua viabilidade de aplicação em trecho experimental.



Figura 5 | Aspecto do pavimento com aplicação de RCD - Torres Vedras



Figura 6 | RCD em depósito para aplicação (a). Colheita de amostra de RCD (b) - Torres Vedras

6.2 Propriedades geométricas dos agregados

6.2.1 Classificação dos agregados reciclados

De modo a identificar e classificar os constituintes das amostras de RCD aplicados na obra de Torres Vedras, procedeu-se conforme preconizado na norma EN 933-11 – *Tests for geometrical properties of aggregates. Part 11: Classification test for the constituents of coarse recycled aggregate*.

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

No Quadro 3 são apresentados os resultados relativos ao RCD em estudo.

Quadro 3 | Constituintes da amostra de RCD

Identificação	Constituintes						
	FL (cm ³ /kg)	R _c (%)	R _u (%)	R _b (%)	R _a (%)	R _g (%)	X (%)
RCD-Depósito	0,0	67,4	21,7	7,0	3,2	0,3	0,3

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 coersivos (por ex. solos argilosos), plástico, borracha, metais (ferrosos e não ferrosos), matérias não flutuantes e estuque.

6.2.2 Granulometria

A análise granulométrica das amostras do RCD em estudo foi efectuada conforme a norma NP EN 933-1.

Tendo em conta que, após a aplicação do RCD nas camadas inferiores do pavimento, estes podem sofrer alterações significativas devido ao processo de compactação, foi realizada a análise de duas amostras – RCD-TRECHO e RCD-DEPÓSITO. A amostra RCD-TRECHO foi recolhida após aplicação, ao contrário da amostra RCD-DEPÓSITO, que foi recolhida no depósito de RCD para posterior aplicação.

No Quadro 4 e na Figura 7 são apresentadas as curvas granulométricas obtidas para as duas amostras e os fusos requeridos pelo Caderno de Encargos das Estradas de Portugal (CE EP, 2010) para camadas de base ou sub-base granular.

Quadro 4 | Granulometria das amostras de RCD

PENEIROS			
Percentagem cumulativa do material passado (%)			
Aberturas			
(mm)	RCD – DEPÓSITO	RCD - TRECHO	FUSO – CE EP
40,0	99,0	94,0	100,0
31,50	94,0	85,0	80,0-99,0
16,00	75,0	64,0	63,0-77,0
8,00	56,0	48,0	43,0-60,0
4,00	42,0	36,0	30,0-52,0
2,00	34,0	30,0	23,0-40,0
1,000	26,0	23,0	14,0-35,0
0,500	18,0	16,0	10,0-30,0
0,063	6,5	5,1	2,0-7,0

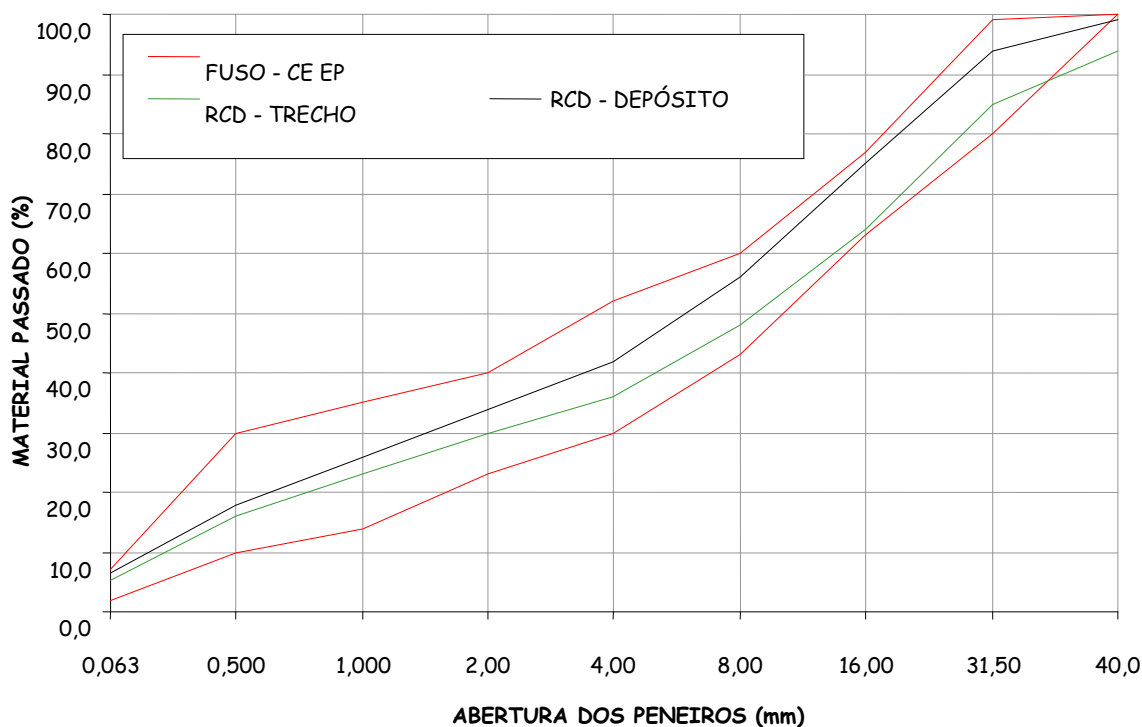


Figura 7 | Curvas granulométricas das amostras de RCD

6.2.3 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 (Ed. 2) – *Tests for geometrical properties of aggregates. Part 4: Determination of particle shape - Shape index*.

O ensaio para determinação do índice de forma consiste em analisar as partículas dos agregados em função do seu comprimento e espessura com o auxílio de uma craveira.

No Quadro 5 é apresentado o resultado obtido para o Índice de Forma (SI) da amostra de RCD colocada em depósito.

Quadro 5 | Índice de forma (SI) da amostra de RCD

Agregados	Índice de Forma (SI)
RCD-Depósito	14

6.3 Propriedades físicas e mecânicas dos agregados

6.3.1 Determinação da baridade seca “in situ”

A determinação da baridade seca “in situ” pode ser realizada através do tradicional ensaio da garrafa de areia que permite também determinar o grau de compactação relativo, sendo realizado conforme a especificação LNEC E 204 – 1967 – *Solos. Determinação da baridade seca “in situ” pelo método da garrafa de areia*.

Este ensaio consiste no preenchimento de um furo, previamente aberto, com uma areia normalizada (de baridade conhecida), de modo a determinar o volume do furo e, por conseguinte, permitir a obtenção da baridade seca do material aplicado

Para se obter o grau de compactação relativo é necessário determinar a baridade seca máxima através do ensaio de compactação tipo Proctor. O teor em água foi determinado através da secagem em estufa da amostra de solo recolhida do furo de ensaio.

No Quadro 6 apresentam-se os valores obtidos no ensaio de garrafa de areia para os dois ensaios efectuados.

Na Figura 8 apresentam-se dois momentos da realização do ensaio de garrafa de areia.

Quadro 6 | Resultados do ensaio da garrafa de areia

Grandeza	Unidade	Poço 1	Poço 2
Baridade seca "in situ"	(g/cm ³)	1,838	1,776
Compactação relativa	(%)	98,8	95,5
Teor em água "in situ"	(%)	9,9	11,4

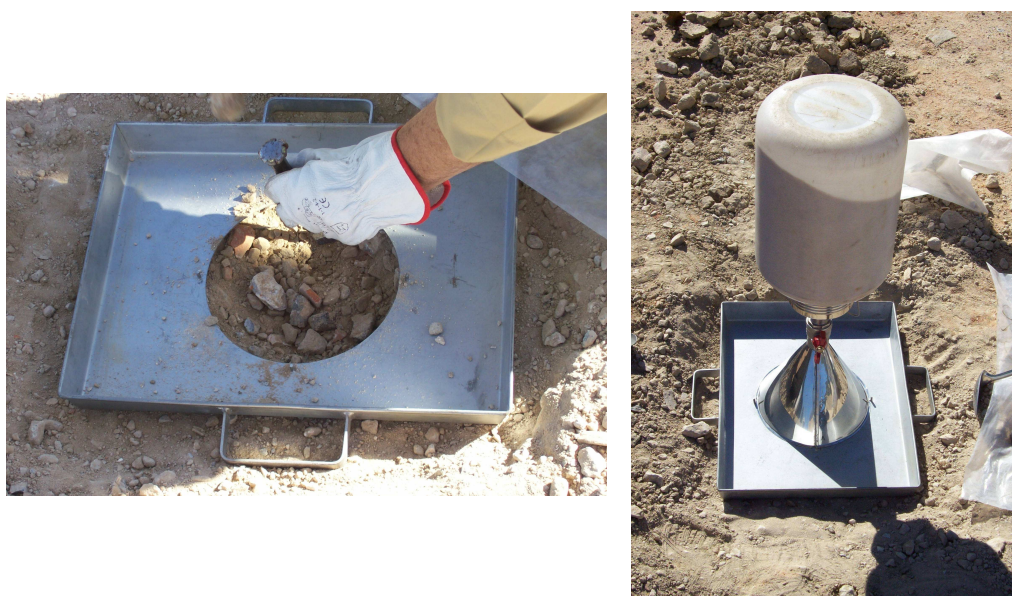


Figura 8 | Realização do ensaio de garrafa de areia

6.3.2 Compactação

Tal como já foi referido anteriormente, a compactação foi avaliada através do ensaio tipo Proctor que permite conhecer qual o teor em água que o material deve apresentar no momento da compactação (teor em água óptimo) de modo a que seja possível obter a máxima baridade seca deste, sendo realizado através da especificação LNEC E 197-1966 – *Solos. Ensaio de compactação*.

Às várias amostras são adicionadas diferentes quantidades de água, sendo posteriormente compactadas num molde normalizado. No caso em análise, a compactação foi efectuada mecanicamente, sendo considerada a compactação pesada em molde grande. Após este processo, através de diferenças de peso e com recurso à secagem em estufa, são determinados os teor em água e as respectivas baridades secas dos vários provetes por forma a verificar qual o teor em água

(teor em água óptimo) que possibilitou obter a maior baridade seca (máxima baridade seca) (Figura 9).

Com a determinação da máxima baridade seca e com o ensaio de garrafa de areia, através da razão das baridades obtidas nestes dois ensaios é possível determinar o grau de compactação que o material apresenta “in situ” (Quadro 6).

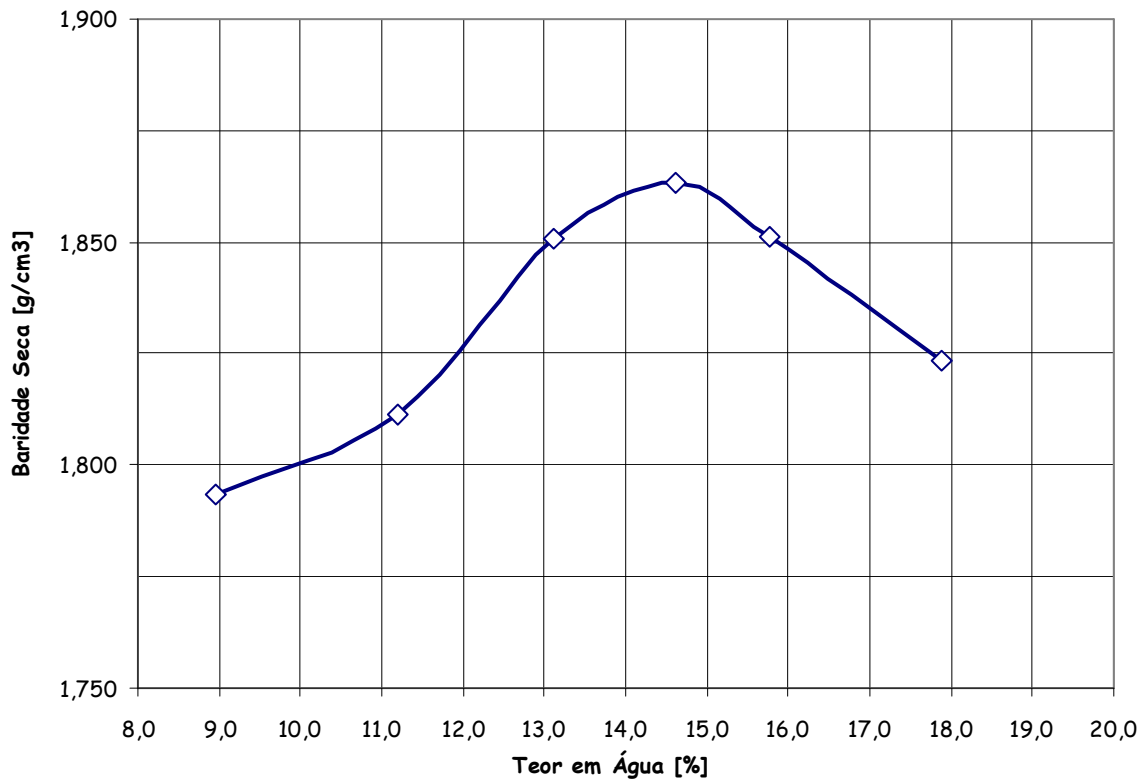


Figura 9 | Resultados do ensaio Proctor

6.3.3 Resistência à fragmentação

A caracterização dos agregados relativamente à resistência à fragmentação é efectuada pelo coeficiente de Los Angeles (LA), estando normalizado pela EN 1097-2:2010 (Ed. 2) – *Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation.*

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.

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

No Quadro 7 é apresentado o resultado obtido para a amostra de RCD em estudo.

Quadro 7 | Coeficiente de Los Angeles da amostra de RCD

Agregado	Coeficiente de Los Angeles
RCD-Depósito	46

6.4 Considerações finais

Deste estudo preliminar realizado sobre as amostras de RCD recolhidas em Torres Vedras, considera-se que o material apresenta aptidão para vir a ser estudado e aplicado em trecho experimental. No entanto, é necessário aprofundar este estudo com a realização de outros ensaios complementares para um melhor esclarecimento e fundamento da decisão que vier a ser tomada.

De acordo com a classificação dos constituintes preconizada na norma EN 933-11 este material seria considerado do tipo ARB_R1, agregado reciclado proveniente de resíduos de britagem de betão, dada a predominância daquele material (67,4 %).

Considera-se no entanto existirem algumas limitações no que respeita à instalação dos lisímetros, para recolha do eluato, resultante da passagem da água pelas camadas de material não ligado constituídas por RCD, uma vez que no caso do trecho de Torres Vedras, não existem desníveis topográficos adequados à sua instalação.

No âmbito das actividades a desenvolver no projecto SUPREMA foram já preparados vários documentos, apresentando-se no Quadro 8 a sua designação bem como o seu estado de realização.

Quadro 8 | Documentos elaborados no âmbito do projecto SUPREMA

Designação	Objectivo	Estado de realização
Documento sobre o estado-da-arte relativo à aplicação de RCD em infra-estruturas de transportes	Cumprimento da tarefa 1a	Em curso
Relatório de progresso do Projecto SUPREMA – Ano 1	Apresentação do trabalho desenvolvido	Concluído
Sumário do Artigo intitulado “ <i>Utilização de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em Pavimentos Rodoviários</i> ”	XVI CILA - Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto 20 a 25 de Novembro de 2011 – Rio de Janeiro - Brasil	Aceite. Em fase de elaboração da comunicação.
Abstract do Artigo intitulado “ <i>Application of asphalt arisings in unbound granular layers</i> ”	EURASPHALT & EUROBITUME 5TH Congress Istanbul 2012	Submetido.

Entre 1 de Fevereiro de 2010 e 31 de Janeiro de 2011, correspondente ao Ano 1 do Projecto SUPREMA, foram realizadas as seguintes deslocações, tendo em vista quer a aquisição de conhecimentos na área dos materiais reciclados, objecto de estudo do presente projecto, quer a apresentação de actividades desenvolvidas ou ainda a colheita e acompanhamento de actividade experimental a realizar no âmbito deste projecto (Quadro 9).

Quadro 9 | Deslocações efectuadas no âmbito do projecto SUPREMA

Designação	Objectivo
11th International Conference on Asphalt Pavements (ISAP 2010) – Nagoya – Japão	<p>Apresentação de estudos efectuados no âmbito da aplicação de RCD.</p> <p>Aquisição de conhecimentos.</p>
6th International Congress on Environmental Geotechnics (6ICEG) – 8 a 12 de Novembro de 2010 - New Delhi - Índia	<p>Apresentação de estudos efectuados no âmbito da reciclagem de resíduos em infra-estruturas de transporte e obras geotécnicas.</p> <p>Membro do Technical Committee (International) do 6ICEG</p> <p>Aquisição de conhecimentos.</p>
Trecho experimental – Torres Vedras	<p>Visita a obra com aplicação de RCD para estudo da viabilidade de utilização como trecho experimental.</p> <p>Recolha de RCD para caracterização laboratorial.</p>
Trecho experimental - Seixal	<p>Estudo da viabilidade de realização de trecho experimental com aplicação de RCD.</p>

Neste relatório apresenta-se a actividade desenvolvida durante o primeiro ano de execução do Projecto SUPREMA, identificado como Ano 1 (de 1/02/2010 a 31/01/2011), com a realização das acções descritas nas tarefas 1 e 2 apresentadas em anexo (Anexo I).

Foi desenvolvido um conjunto de acções, definido durante a realização periódica de reuniões do grupo de trabalho, que compreenderam o planeamento do estudo experimental a realizar, com a selecção dos materiais a estudar, a definição das características dos trechos experimentais a realizar bem como da respectiva instrumentação.

Foram caracterizadas laboratorialmente amostras de RCD aplicadas em camada de base granular tendo em vista a sua possível selecção como trecho experimental.

No que concerne à produção escrita foi elaborado um documento sobre o estado-da-arte relativo à aplicação de RCD em infra-estruturas de transportes, presentemente em fase de revisão, tendo ainda sido submetidos dois resumos a congressos internacionais. Foi ainda elaborado o presente relatório.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do projecto 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 Ciência, Tecnologia e Ensino Superior.

VISTOS

O Director do Departamento de Transportes



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

A Directora do Departamento de Geotecnia




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

O Director do Departamento de Materiais

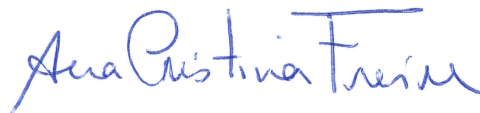


Arlindo Freitas Gonçalves
Eng.º Civil, Investigador Coordenador do LNEC

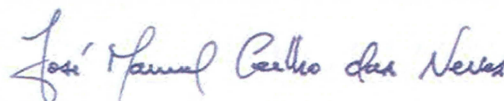


Maria de Lurdes Antunes
Eng.ª Civil, Investigadora Coordenadora do LNEC
Vogal do Conselho Directivo do LNEC


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



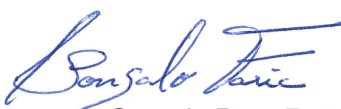
António José Roque
Eng.º Geólogo, Investigador Principal do LNEC



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 Directivo do LNEC



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

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

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

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

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

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.

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.

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

ANEXO

