



VALORSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e Oeste, S.A.

Plataforma Ribeirinha da CP  
Estação de Mercadorias da Bobadela  
2696-801 S. João da Talha  
Portugal  
tel.: +351 21 953 59 00  
fax: +351 21 953 59 35  
e-e: valorsul@valorsul.pt

## AEIRU

### AGREGADOS ARTIFICIAIS DE ESCÓRIAS DE INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS URBANOS PARA PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO  
ROAD MATERIALS  
MATÉRIAUX ROUTIERS

MARÇO DE 2015

A situação de validade do DA pode ser verificada no portal do LNEC ([www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)).

O presente Documento de Aplicação (DA), de carácter voluntário, define as características dos agregados artificiais de escórias de incineração de resíduos urbanos AEIRU, produzidos e comercializados pela empresa VALORSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e Oeste, S.A., e estabelece as condições de produção e de utilização daqueles agregados em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) emite um parecer técnico favorável relativamente à utilização dos agregados artificiais AEIRU em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, descritos na secção 1 do presente Documento de Aplicação, desde que se verifiquem as seguintes condições:

- a empresa VALORSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e Oeste, S.A. assegura a constância das condições de produção que permite a aposição da marcação CE aos agregados AEIRU, nomeadamente através de um adequado controlo da produção em fábrica, sintetizado na secção 3;
- o campo de aplicação dos agregados AEIRU respeita as regras descritas na secção 2;
- a execução em obra das camadas não ligadas de pavimentos rodoviários realizadas com os agregados respeita as regras descritas na secção 4.

A utilização dos agregados artificiais AEIRU em obras de pavimentação fica ainda condicionada pelas disposições aplicáveis da regulamentação e da documentação normativa em vigor.

Este Documento de Aplicação é válido até 31 de março de 2018, podendo ser renovado mediante solicitação atempada ao LNEC.

O LNEC reserva-se o direito de proceder à suspensão ou ao cancelamento deste Documento de Aplicação caso ocorram situações que o justifiquem, nomeadamente perante qualquer facto que ponha em dúvida a constância da qualidade dos agregados.

Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em março de 2015.

O CONSELHO DIRETIVO

Carlos Pina  
Presidente

## 1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

### 1.1 Descrição geral

Os agregados artificiais de escórias de incineração de resíduos urbanos AEIRU resultam da incineração de resíduos urbanos pela empresa VALORSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e Oeste, S.A. e da sua posterior valorização para aplicação como material de construção, e destinam-se à execução de camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, com funções idênticas às dos agregados britados de granulometria extensa de origem natural.

Do processo de incineração dos resíduos urbanos resultam as escórias do fundo da grelha da caldeira, as quais são classificadas como resíduo não perigoso, de acordo com a Lista Europeia de Resíduos (código LER 19 01 12), transposta para o Direito Nacional através da Portaria n.º 209/2004, de 3 de março.

Os agregados AEIRU colocados no mercado são objeto de marcação CE, acompanhada das informações previstas no Anexo ZA da Norma Portuguesa NP EN 13242: 2002+A1:2010 – Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária.

### 1.2 Características principais

Os agregados AEIRU apresentam uma dimensão máxima nominal de 31,5 mm e uma granulometria contínua.

Nas restantes características geométricas, e também nas características físicas e mecânicas, os agregados devem obedecer às especificações do caderno de encargos estabelecido pelo dono da obra para a mistura de agregados a aplicar em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários.

As propriedades dos agregados AEIRU foram determinadas em conformidade com o disposto na Norma Portuguesa NP EN 13242:2002+A1:2010.

No Quadro 1 apresentam-se as características dos agregados AEIRU associadas à marcação CE.

### 1.3 Admissibilidade em aterro

Em anexo apresentam-se os valores relativos à libertação de metais pesados por lixiviação e libertação de outras substâncias perigosas apresentados na declaração de desempenho associada à marcação CE, elaborada pela empresa, relativa aos agregados AEIRU, tendo como base o estabelecido no Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 agosto (Anexo IV, Parte B, n.º 2 – Critérios de admissão de resíduos em aterros para resíduos não perigosos, tabela n.º 4, relação líquido/sólido = 10/1 kg).

## 2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Os agregados AEIRU destinam-se a ser aplicados em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, constituindo assim uma camada de base, de sub-base ou de leito de pavimento conforme previsto na Norma Portuguesa NP EN 13242:2002+A1:2010.

Estes agregados podem ser aplicados isoladamente ou após recomposição com agregados naturais.

## 3 FABRICO E CONTROLO DA QUALIDADE

### 3.1 Produção e armazenagem das escórias de incineração de resíduos urbanos

A produção de escórias de incineração de resíduos urbanos, matéria-prima dos agregados AEIRU, tem lugar na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (CTRSU) da empresa, situada em São João da Talha, concelho de Loures.

Nos fornos desta instalação ocorre um processo de incineração dos resíduos urbanos do qual resultam as escórias. Estas são recolhidas em extratores, existentes nas 3 linhas de incineração, transportadas através de tapetes vibratórios e crivadas num crivo de malha de 300 mm que separa os objetos de maiores dimensões.

As escórias, sem os materiais de maior granulometria, são sujeitas a uma remoção parcial dos metais ferrosos, com recurso a um separador eletromagnético, que são encaminhados para a indústria recicladora.

Após um curto período de armazenagem na CTRSU, as escórias são enviadas para a Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias (ITVE), localizada no interior do perímetro do Aterro Sanitário da empresa Valorsul, situada em Mato da Cruz, concelho de Vila Franca de Xira.

### 3.2 Produção e armazenagem dos agregados AEIRU

Na ITVE tem lugar a valorização das escórias que visa preparar e recuperar a fração preponderante constituída por materiais inertes com características geotécnicas e ambientais adequadas a diversas utilizações, nomeadamente a utilização em camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, bem como separar os metais ferrosos e não ferrosos.

As escórias são transportadas para a ITVE, em camiões de caixa basculante e aberta, onde são arrumadas, por pá carregadora de rodas, em pilhas que correspondem a lotes mensais, em locais devidamente definidos e identificados, assegurando-se uma adequada separação entre lotes.

As pilhas são executadas com secção trapezoidal ou triangular. A secção das pilhas tem base com dimensão que varia entre 6 e 10 metros e altura de cerca de 3,5 a 5,0 metros, sendo o comprimento adequado à quantidade correspondente ao lote mensal. A identificação da pilha mensal é feita com uma placa colocada na frente desta com indicação do mês e do ano de chegada à ITVE.

Com a receção da pilha dá-se início ao período de maturação que tem uma duração total mínima de 3 meses. A exposição das escórias às condições atmosféricas promove as reações de oxidação de ferrosos, hidro-oxidação de metais pesados e dissolução do sulfato de cálcio, ocorrendo ainda a carbonatação da cal e a dissolução da cal. Estas reações permitem reduzir o potencial de lixiviação dos metais e conseqüentemente o seu impacto sobre o ambiente. As reações com água podem provocar

## QUADRO 1

Características dos agregados AEIRU associadas à marcação CE

Características		Método de ensaio	Expressão dos resultados	Valores declarados pelo fabricante*
Dimensão das partículas		NP EN 933-1:2000 EN 933-1:1997/A1:2005	mm	0/31,5
			Categoria	categoria G <sub>A</sub> 85
Forma das partículas	Índice de achatamento	NP EN 933-3:2002 EN 933-3:1997/A1:2003	Classe	FI <sub>35</sub>
	Índice de forma	EN 933-4:2008	Classe	SI <sub>40</sub>
Massa volúmica das partículas (4 mm / 31,5 mm)		EN 1097-6:2000/A1:2005	Mg/m <sup>3</sup>	do material impermeável 2,45 ± 0,10 Mg/m <sup>3</sup>
			Mg/m <sup>3</sup>	das partículas saturadas 2,35 ± 0,10 Mg/m <sup>3</sup>
			Mg/m <sup>3</sup>	das partículas secas 2,28 ± 0,10 Mg/m <sup>3</sup>
Massa volúmica das partículas (0,063 mm / 4 mm)			Mg/m <sup>3</sup>	do material impermeável 2,40 ± 0,15 Mg/m <sup>3</sup>
			Mg/m <sup>3</sup>	das partículas saturadas 2,30 ± 0,10 Mg/m <sup>3</sup>
			Mg/m <sup>3</sup>	das partículas secas 2,20 ± 0,15 Mg/m <sup>3</sup>
Absorção de água		%	Fração 4 mm / 31,5 mm – 5 %	
		%	Fração 0,063 mm / 4mm – 6 %	
Limpeza	Teor em finos	NP EN 933-1:2000 EN 933-1:1997/A1:2005	Classe	F <sub>9</sub>
	Qualidade dos finos	NP EN 933-9:2002	g/kg	MB ≤ 0,5 g/kg
		NP EN 933-8:2002	–	SE (10) > 40
Constituintes		EN 933-11:2009	cm <sup>3</sup> /kg	FL ≤ 18 cm <sup>3</sup> /kg
			%	R <sub>cug</sub> ≤ 92 %
			%	R <sub>b</sub> ≤ 15 %
			%	R <sub>a</sub> ≤ 5,0 %
			%	R <sub>g</sub> ≤ 80 %
			%	X ≤ 5,1 %
Resistência à fragmentação do agregado grosso		NP EN 1097-2:2002 NP EN 1097-2:2002/Errata Fev.2006 EN 1097-2:1998/A1:2003	Classe	LA <sub>45</sub>
Resistência ao atrito		NP EN 1097-1:2002 EN 1097-1:1996/A1:2003	Classe	M <sub>DE</sub> 25
Composição / teor	Sulfatos solúveis em meio ácido	NP EN 1744-1:2000	Classe	AS <sub>1,0</sub>
	Enxofre total		Classe	S <sub>1</sub>

\* Valores apresentados na declaração de desempenho relativa ao produto.

uma expansão do material, pelo que esta fase de maturação, prévia à sua utilização, se revela essencial.

O processamento de material na linha de tratamento pode ocorrer a qualquer momento no decorrer deste período de maturação, sendo efetuado igualmente por lote.

O referido processamento inicia-se com a remoção dos elementos grosseiros efetuada pela passagem das escórias numa grelha vibrante, com aberturas de 250 mm × 300 mm. O material crivado é depois separado em três frações, num crivo rotativo com dois troços de malha com perfurações circulares, com diâmetros de 12 mm e de 35 mm.

A fração obtida no troço inicial de crivagem (com granulometria compreendida entre 0 mm e 12 mm) é enviada diretamente à caída de escória processada, na saída da linha de processamento.

Da fração 12/35 mm, são removidos os metais ferrosos e não ferrosos, com recurso respetivamente a um separador eletromagnético e a um separador por correntes de Foucault. Esta fração de escórias processadas é armazenada conjuntamente com a fração 0/12 mm, em pilhas correspondentes aos lotes mensais recebidos.

O material de dimensão superior a 35 mm, que não atravessa nenhuma das malhas perfuradas do crivo e cai no topo de saída do tambor de crivagem, é sujeito a uma sopragem, para remoção dos inqueimados (resíduos de papéis, de plásticos, de cartão, etc.) e a uma separação eletromagnética, para triagem de metais ferrosos, sendo rejeitado o material restante.

As escórias processadas são armazenadas no parque de material processado, sendo posteriormente encaminhadas para o designado parque de agregados, em local definido sobre a célula encerrada do aterro sanitário e organizado em lotes mensais. Os lotes liberados como agregados AEIRU deverão satisfazer as seguintes condições para a sua liberação:

- Cumprimento do período mínimo de maturação de 3 meses;
- Confirmação da conformidade com as especificações do produto constantes da declaração de desempenho.

O estacionamento em pilhas para maturação, o processamento das escórias e a armazenagem em parque de material processado e parque de agregados são feitos por lotes mensais, de forma a permitir rastrear estes materiais desde a sua produção até à sua utilização final. É efetuado o acompanhamento e mantida informação relativa ao estado de maturação e/ou processamento em cada fase do processo.

### 3.3 Controlo da qualidade

A empresa VALORSUL tem o seu sistema de gestão da qualidade certificado segundo a norma NP EN ISO 9001: 2008 – *Sistemas de Gestão da Qualidade. Requisitos* e o seu sistema de gestão ambiental certificado segundo a norma NP EN ISO 14001: 2004 – *Sistemas de Gestão Ambiental. Requisitos e linhas de orientação para a sua utilização*, no âmbito de receção e transferência, recolha seletiva, triagem e valorização multimaterial, valorização orgânica, tratamento e valorização energética e deposição em aterro de resíduos urbanos, tratamento e valorização de escórias, nos municípios de Alcobaça, Alenquer, Amadora, Arruda dos

Vinhos, Azambuja, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lisboa, Loures, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Odivelas, Peniche, Rio Maior, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras e Vila Franca de Xira. As condições de fabrico dos agregados AEIRU e o respetivo controlo da produção foram apreciados pelo LNEC, tendo-se concluído que são satisfatórios. O controlo da produção assegurado pela empresa inclui a manutenção dos registos dos resultados dos ensaios efetuados e é objeto de verificações externas periódicas.

A avaliação dos lotes de agregado produzidos pode, de acordo com a NP EN 13242:2002+A1:2010, ser efetuada por amostragem respeitando as frequências mínimas previstas no Anexo C da referida norma. No entanto, considerou-se, para a garantia da qualidade do produto, a avaliação das propriedades do agregado em todos os lotes produzidos.

Poder-se-ão realizar, durante o período de validade deste DA, visitas às instalações de fabrico para obter informação sobre a constância da qualidade da produção.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil, declinando embora qualquer responsabilidade quanto à condição da referida constância da qualidade, reserva-se o direito de exigir a realização de ensaios de controlo da produção por conta do fabricante, perante qualquer facto que a ponha em dúvida.

## 4 APLICAÇÃO EM OBRA

A aplicação em obra dos agregados AEIRU deve ser sempre precedida da realização de um trecho experimental, por forma a testar a metodologia de mistura, espalhamento, compactação e preparação da superfície para a colocação da camada sobrejacente; deve ser avaliada a eventual necessidade de pré-molhagem dos AEIRU e estudado o tipo de equipamento de compactação a adotar, quantificando-se o número de passagens que conduzam à obtenção do índice de vazios adequado, sem que se verifique significativa alteração granulométrica do material; deve garantir-se que não existe excesso de finos na superfície final, que dificulte a ligação à camada betuminosa sobrejacente, quando aplicados em camadas de base.

De preferência, para além dos ensaios tradicionais de controlo de compactação, poderão ainda ser realizados ensaios mecânicos *in situ*, após a colocação e compactação do material, nas condições de estado consideradas adequadas, com vista a uma avaliação global do desempenho da camada constituída pelos agregados AEIRU.

Durante a aplicação em obra dos agregados AEIRU devem ser usados os equipamentos de proteção individual e o vestuário adequados à operação a realizar.

## 5 MODALIDADES DE COMERCIALIZAÇÃO

A empresa VALORSUL comercializa, há cerca de um ano, os agregados AEIRU para construção rodoviária, nomeadamente para aplicação em camadas não ligadas de base, de sub-base ou de leito de pavimento.

Este produto é comercializado apenas no local de produção, a granel, com a marcação CE aposta, sendo o transporte da responsabilidade do cliente.

## 6 ANÁLISE EXPERIMENTAL

### 6.1 Condições de ensaio

Para a caracterização dos agregados artificiais de escórias de incineração de resíduos urbanos AEIRU foram realizados, no LNEC, ensaios laboratoriais de caracterização do produto, tendo por base os documentos normativos aplicáveis.

Foram efetuados ensaios sobre amostras entregues no LNEC, bem como sobre amostras colhidas após aplicação *in situ*, dos agregados, em dois trechos experimentais construídos para o efeito. A colheita de amostras foi efetuada na presença de técnicos do LNEC.

Adicionalmente, o LNEC realizou, nos referidos dois trechos experimentais, ensaios em camadas de pavimentação constituídas pelos agregados AEIRU.

### 6.2 Ensaio realizados

Os ensaios laboratoriais realizados foram os seguintes:

- Análise granulométrica
- Índice de achatamento
- Índice de forma
- Equivalente de areia
- Azul de metileno
- Resistência à fragmentação do agregado grosso
- Resistência ao desgaste do agregado grosso
- Massa volúmica das partículas
- Absorção de água
- Classificação dos constituintes
- Sulfatos solúveis em ácido
- Enxofre total
- Teor de húmus
- Ensaio de compactação Proctor

Os ensaios realizados *in situ* sobre camadas compactadas foram os seguintes:

- Determinação da baridade pelo método da "garrafa de areia"
- Colheita de amostras para determinação do teor em água
- Ensaio de carga com deflectómetro de impacto

### 6.3 Resultados dos ensaios

Os resultados dos ensaios realizados pelo LNEC foram globalmente satisfatórios. Os resultados destes ensaios, as técnicas utilizadas para a realização dos mesmos e a apreciação dos resultados obtidos constam dos relatórios 340/2009-DT/NIRA e 341/2010-DT/NIRA do LNEC bem como do Boletim de Ensaio 09/DT/14.

## 7 VISITAS A OBRAS

As visitas realizadas aos trechos experimentais permitiram avaliar a viabilidade da utilização de processos construtivos tradicionais para aplicação dos agregados AEIRU em camadas não ligadas de pavimentos e respetiva fundação, e observar um comportamento satisfatório dos pavimentos com camadas constituídas pelos agregados AEIRU, não tendo sido detetada, nas inspeções visuais realizadas, qualquer anomalia significativa.

## 8 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO

Em face dos resultados dos ensaios e das visitas a obras realizados no âmbito do estudo efetuado pelo LNEC, considera-se que os agregados artificiais de escórias de incineração de resíduos urbanos AEIRU, destinados a ser utilizados na realização de camadas não ligadas de pavimentos rodoviários, são adequados ao uso previsto.

Os resultados dos ensaios de carga com deflectómetro de impacto realizados sobre as camadas construídas com AEIRU nos trechos experimentais permitem constatar que é possível obter módulos de deformabilidade da mesma ordem de grandeza que os geralmente obtidos para camadas não ligadas com agregados naturais.

Para pavimentos corretamente dimensionados e construídos, desde que os agregados em questão sejam aplicados nas condições definidas no presente Documento de Aplicação, pode estimar-se que as camadas não ligadas de pavimentos rodoviários executadas com os agregados AEIRU possuem um período de vida útil de 20 anos.

A indicação acerca do módulo de deformabilidade das camadas e do período de vida útil não pode ser interpretada como uma garantia dada pelo fabricante ou pelo LNEC. Essa indicação deve apenas ser considerada como um meio para a escolha de produtos adequados em relação à utilização prevista. Salienta-se entretanto que condições associadas a uma deficiente conceção do pavimento, a uma deficiente construção ou a condições de utilização distintas das previstas podem conduzir a anomalias no funcionamento das camadas do pavimento rodoviário e reduzir significativamente a sua durabilidade.

## 9 ENSAIOS DE RECEÇÃO

Os ensaios de receção em obra justificar-se-ão para verificar a identidade dos produtos fornecidos relativamente aos que foram objeto do Documento de Aplicação. Compete à fiscalização tomar essa decisão, se a considerar necessária. Em tal caso, devem ser efetuados ensaios que permitam verificar que, para as características referidas no Quadro 1, os agregados AEIRU exibem valores que se enquadram dentro dos limites que aí se especificam.

## ANEXO

Valores da análise de lixiviação constantes da declaração de desempenho associada à marcação CE, elaborada pela empresa  
(Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 agosto – Anexo IV, Parte B, n.º 2 – Critérios de admissão de resíduos em aterros para resíduos não perigosos, tabela n.º 4, relação líquido/sólido = 10/1 kg)

Parâmetro	Valores médios	DL n.º 183/2009 de 10 de agosto
Arsénio (mg/kg)	<0,02	5,0
Bário (mg/kg)	1,04	100
Cádmio (mg/kg)	<0,02	2,0
Crómio (mg/kg)	<0,08	20
Cobre (mg/kg)	7,8	50
Mercurio (mg/kg)	<0,01	0,5
Molibdénio (mg/kg)	0,67	10
Níquel (mg/kg)	0,15	10
Chumbo (mg/kg)	<0,13	10
Antimónio (mg/kg)	0,39	0,7
Selénio (mg/kg)	<0,04	0,5
Zinco (mg/kg)	0,49	50
Humidade total (%)	12	–
pH	9,9	–
SDT (mg/kg)	12 293	60 000
COD (mg/kg)	869	1000 <sup>(a)</sup>
Cloretos (mg/kg)	3082	50 000
Fluoretos (mg/kg)	20	250
Sulfatos (mg/kg)	2172	20 000

(a) Sempre que o aterro for especialmente destinado à admissão de resíduos orgânicos este valor poderá ser ultrapassado; ele também poderá ser ultrapassado sempre que se tratar de um resíduo que não seja suscetível de fermentar.

Descritores: Agregados para estradas / Agregados artificiais / Reutilização de materiais / Pavimento rodoviário / Incineração de resíduos /  
/ Resíduo urbano / Escória / Documento de aplicação

Descriptors: Road aggregates / Artificial aggregates / Materials reuse / Road pavement / Refuse incineration / Urban refuse / Slag / Application document

ISSN 1646-3595  
9 771646 359003 23038