



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
Núcleo de Infra-estruturas Rodoviárias
e Aeroportuárias

Proc. 0702/1/16472

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE ÁGUA DOS AGREGADOS NOS RESULTADOS DO EQUIVALENTE DE AREIA

Estradas de Portugal, E.P., S.A.

Lisboa • Abril de 2008

I&D TRANSPORTES

RELATÓRIO 292/2008 – NIRA

SUMÁRIO

A qualidade dos finos nos agregados é uma das principais características incluídas nos requisitos especificados nas Normas Europeias harmonizadas de agregados. Existem essencialmente três critérios que permitem avaliar a qualidade dos finos: o teor de finos, o valor do equivalente de areia ou o valor do ensaio de azul de metileno. O primeiro critério decorre directamente da análise granulométrica dos agregados. Os restantes critérios, que se aplicam apenas para produtos com teor de finos superior ou igual a 3%, implicam a aplicação de novos métodos de ensaio que, embora sejam similares a métodos anteriormente utilizados em Portugal, têm suscitado algumas dúvidas no meio técnico nacional.

Tendo em vista estudar a aplicação dos métodos de ensaio para avaliação da qualidade dos finos, em particular no que se refere à influência do teor de água dos agregados nos resultados do ensaio de equivalente de areia, foi estabelecido um Protocolo de Cooperação entre a Estradas de Portugal, E.P., S.A.¹ e o LNEC, no âmbito do qual se realizou um estudo laboratorial enquadrado na actividade da Comissão Técnica Portuguesa de Normalização em Agregados – CT 154. Este estudo compreendeu a realização de ensaios de equivalente de areia e de azul de metileno sobre onze amostras de agregados de seis tipos litológicos diferentes, considerados representativos dos materiais existentes em Portugal. Neste trabalho apresentam-se e discutem-se os principais resultados obtidos, referem-se também algumas recomendações relativas à execução do ensaio para determinação do equivalente de areia de acordo com a NP EN 933-8.

O estudo em causa é co-financiado a 75 % pelo PRIME (Programa de Incentivos à Modernização da Economia) sendo os restantes 25 % suportados pela EP, SA.

STUDY OF AGGREGATE WATER CONTENT INFLUENCE ON SAND EQUIVALENTE RESULTS

ABSTRACT

The quality of fines is one of the main characteristics included in the requirements specified in the harmonized European standards on aggregates. There are essentially three criteria for assessing fines quality: fine content, the sand equivalent value and the methylene blue value. The first criterion derives directly from the particle size distribution. The other criteria, which apply only to products with a fines content higher or equal to 3%, involves the application of new test methods that, although identical to the methods previously used in Portugal, have raised some doubts in the technical community.

In order to study the application of the test methods for assessment of fines, particularly the influence of water content in the sand equivalent test results, a cooperation agreement between “Estradas de Portugal, SA”¹ and “LNEC” has been established. In this context, a laboratory study was performed concerning the sand equivalent test value and the methylene blue test value of eleven aggregate samples from six different lithologic characteristics, which are considered representative of Portuguese materials. This report presents and discusses the main results achieved. This study is co-financed at 75% by PRIME and 25% by the EP, SA.

¹ Enquanto Organismo de Normalização Sectorial (ONS-EP) / as ONS-EP.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	METODOLOGIA E ACÇÕES DESENVOLVIDAS	3
3	SELECÇÃO DOS MATERIAIS A ENSAIAR	5
4	GRANULOMETRIA DAS AMOSTRAS DE AGREGADOS	7
5	EQUIVALENTE DE AREIA (NP EN 933-8:2002)	9
5.1	Apresentação da Norma	9
5.1.1	<i>Objectivos e campo de aplicação</i>	9
5.1.2	<i>Princípio e método de ensaio</i>	9
5.1.3	<i>Apresentação de resultados</i>	10
5.2	Resultados dos ensaios efectuados com diferentes teores em água	10
5.3	Apreciação da metodologia de ensaio	13
5.3.1	<i>Influência do teor de água na análise granulométrica</i>	14
5.3.2	<i>Influência da metodologia de peneiração e secagem das amostras no equivalente de areia</i>	16
6	AZUL DE METILENO (NP EN 933-9:2002)	18
7	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	20
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
9	AGRADECIMENTOS	24
10	BIBLIOGRAFIA	25

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 Agregados caracterizados	6
Quadro 2 Granulometrias dos agregados	7
Quadro 3 Valores do equivalente de areia (SE) das amostras submetidas a ensaio	12
Quadro 4 Granulometrias das amostras ensaiadas, para dois teores de água – 0,1% e 2%.....	14
Quadro 5 Valores do azul de metileno (MB) das amostras submetidas a ensaio.....	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representação esquemática do programa experimental realizado	4
Figura 2 Localização das pedreiras e dos centros de produção	5
Figura 3 Algumas das amostras submetidas a ensaio.....	6
Figura 4 Curvas granulométricas das amostras ensaiadas	8
Figura 5 Aspecto de algumas das amostras submetidas a ensaio	11
Figura 6 Várias fases da realização do ensaio de equivalente de areia.....	11
Figura 7 Análise comparativa dos resultados do ensaio de equivalente de areia.....	12
Quadro 4 Granulometrias das amostras ensaiadas, para dois teores de água – 0,1% e 2%.....	14
Figura 8 Curvas granulométricas das cinco amostras ensaiadas, para dois teores de água	15
Figura 9 Resultados do equivalente de areia para várias condições de ensaio das amostras ensaiadas	16
Figura 10 Várias fases da realização do ensaio de azul de metileno.....	18
Figura 11 Relação entre os resultados do ensaio de equivalente de areia e o teor de finos	20
Figura 12 Relação entre os valores do azul de metileno e o teor de finos.....	20
Figura 13 Relação entre os resultados do equivalente de areia e do azul de metileno	21

A qualidade dos finos nos agregados é uma das principais características incluídas nos requisitos especificados nas Normas Europeias harmonizadas relativas a agregados. Existem essencialmente três critérios que permitem avaliar a qualidade dos finos: o teor de finos, o valor do equivalente de areia e/ou o valor do ensaio de azul de metileno. O primeiro critério decorre directamente da análise granulométrica dos agregados. Os restantes critérios, que se aplicam apenas para produtos com teor de finos superior ou igual a 3%, implicam a aplicação de novos métodos de ensaio que, embora sejam idênticos aos métodos anteriormente utilizados em Portugal, têm suscitado algumas dúvidas no meio técnico nacional.

Tendo em vista estudar a aplicação dos métodos de ensaio para avaliação da qualidade dos finos, em particular no que se refere à influência do teor de água dos agregados nos resultados do ensaio de equivalente de areia, foi estabelecido um Protocolo de Cooperação entre a Estradas de Portugal, E.P., S.A. e o LNEC, no âmbito do qual se realizou um estudo laboratorial que compreendeu ensaios de equivalente de areia e de azul de metileno de onze amostras de agregados de diferentes tipos litológicos, considerados representativos dos materiais existentes em Portugal, e apresentando uma ampla distribuição geográfica no território nacional.

Este estudo foi realizado a pedido da Estradas de Portugal, S.A., adiante designada abreviadamente por EP, enquanto Organismo de Normalização Sectorial (ONS-EP) que coordena a actividade da Comissão Técnica Portuguesa de Normalização em agregados – CT 154. O estudo foi co-financiado a 75 % pelo PRIME (Programa de Incentivos à Modernização da Economia) e a 25 % pela EP.

De acordo com o Plano de Trabalhos acordado entre a EP e o LNEC, o estudo desenvolvido compreendeu a realização de ensaios de equivalente de areia sobre amostras com três teores de água diferentes, para seis tipos litológicos – granito, granodiorito, gnaisse, calcário, basalto e seixo. Estes tipos de agregados foram definidos pela CT 154, e as amostras para ensaio, provenientes de diversos produtores, foram entregues no LNEC. Complementarmente os materiais em estudo foram caracterizados em termos do valor do azul de metileno, por forma a dispor-se de informação adicional relativa à qualidade dos finos.

A determinação do equivalente de areia assenta na metodologia expressa na norma de ensaio europeia, tendo em atenção a sua versão original em inglês bem como a sua tradução para português, e na sua aplicação a um conjunto de amostras de diferentes tipos de agregados

Os métodos de ensaio em aplicação neste trabalho são os que a seguir se apresentam:

- NP EN 933-8:2002 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 8: Determinação do teor de finos – Ensaio do equivalente de areia”;
- NP EN 933-9:2002 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 8: Determinação do teor de finos – Ensaio do azul de metileno”.

A determinação dos teores de água das amostras ensaiadas foi realizada conforme preconizado na Norma NP EN 1097-5:2002 “Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 5: Determinação do teor de humidade por secagem em estufa ventilada”.

Para além das acções previstas no Plano de Trabalhos, referidas anteriormente, foi ainda efectuada a análise granulométrica das amostras ensaiadas, segundo a NP EN 933-1:2000 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração”.

Neste relatório apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos pelo LNEC, nomeadamente:

1. Os resultados obtidos nos ensaios acima referidos;
2. A apreciação do método de ensaio para determinação do equivalente de areia, apontando eventuais aspectos a rever, tendo em conta a clareza da técnica de ensaio e/ou possíveis erros técnicos do próprio método de ensaio;
3. A apresentação de recomendações para aplicação do método de ensaio descrito, nos casos em que se considerou justificável.

Apresenta-se igualmente uma descrição sumária dos procedimentos de ensaio preconizados na norma de ensaio do equivalente de areia. Refira-se que esta descrição tem como objectivo principal facilitar uma primeira abordagem ao procedimento de ensaio discriminado na norma, não substituindo a consulta da respectiva norma.

Os Produtores que colaboraram neste estudo com a entrega dos vários produtos produzidos nos diversos centros de produção/pedreiras foram os seguintes: Agrepor, Alves Ribeiro, Irmãos Cavaco, Monte Adriano, Mota-Engil, e Sicóbrita.

2 | METODOLOGIA E ACÇÕES DESENVOLVIDAS

Tendo em atenção os objectivos do estudo, em particular a avaliação da influência do teor de água no resultado do ensaio do equivalente de areia foi definido um programa experimental que compreendeu a realização de ensaios respeitando escrupulosamente as condições expressas na Norma Portuguesa ou Norma Europeia aplicável. Foram igualmente adoptados alguns procedimentos de ensaio distintos dos preconizados na norma de ensaio em apreço que permitissem justificar algumas exigências expressas nessa norma.

Na Figura 1 apresenta-se de forma esquemática toda a metodologia adoptada, desde a preparação da amostra inicial até à obtenção dos vários provetes para ensaio e à realização dos ensaios de equivalente de areia (SE) e de azul de metileno (MB).

Assim, para cada um dos tipos litológicos de agregados a ensaiar foram preparadas amostras com três teores de água (W) – 0,1%, 1,0% e 2,0% (designadas $W_{0,1}$, W_1 e W_2 , respectivamente) – enquadrados dentro dos limites preconizados na Norma Portuguesa NP EN 933-8 (0% a 2%), tendo-se procedido à realização do ensaio de equivalente de areia.

Anota-se que na referida Norma Portuguesa o teor de água das amostras para ensaio deve ser obtido por secagem ao ar, sendo referido expressamente que estas não devem ser secas em estufa.

No entanto, de modo a identificar claramente as diferenças resultantes da metodologia de secagem das amostras, foi preparada e ensaiada uma amostra seca em estufa a 105°C, para algumas das amostras de agregado em estudo. Foram ainda realizados ensaios sobre amostras peneiradas com teor de água superior (2%) e posteriormente seca ao ar até ficar com teor de água inferior ou igual a 0,1%.

A preparação das amostras para ensaio foi realizada em simultâneo, para cada tipo litológico de agregado, a partir de uma amostra inicial, posteriormente esquartelada para a obtenção de dois provetes para cada teor de água.

Todos os ensaios de equivalente de areia foram realizados por um único operador por forma a reduzir a incerteza associada ao factor humano.

Realizou-se o ensaio de azul de metileno sobre as amostras com 0,1% de teor de água de acordo com a Norma Portuguesa NP EN 933-9.

Complementarmente procedeu-se à determinação da granulometria das amostras em estudo de acordo com a NP EN 933-1: 2002 – “Ensaio das Propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica – Método da peneiração” com vista à identificação dos materiais em estudo e em particular, à quantificação do teor de finos (quantidade de material passado acumulado no peneiro com 0,063 mm de abertura). Esta determinação realizou-se sobre amostras secas ao ar (com teores de água inferiores ou iguais a 0,1%).

Os materiais inicialmente entregues para ensaio correspondiam a materiais de dimensões 0/4 ou 0/6 de primeira qualidade. Posteriormente, foi solicitada e entregue no LNEC uma amostra adicional de Calcário identificado com sendo de “2ª escolha”, com piores características de limpeza dos finos, por forma a alargar o espectro de características dos materiais em estudo. Foram ainda ensaiadas três amostras obtidas a partir da peneiração de agregados de dimensões 0/32 (material a aplicar em camada de sub-base: 0/32SB) de materiais caracterizados noutra estudo realizado no âmbito do Protocolo EP/LNEC [1]. Neste caso, as amostras sujeitas a ensaio foram obtidas após truncagem do material retido no peneiro com 4 mm de abertura, tendo a sua escolha tido o mesmo objectivo que levou à caracterização do material calcário de 2ª escolha.

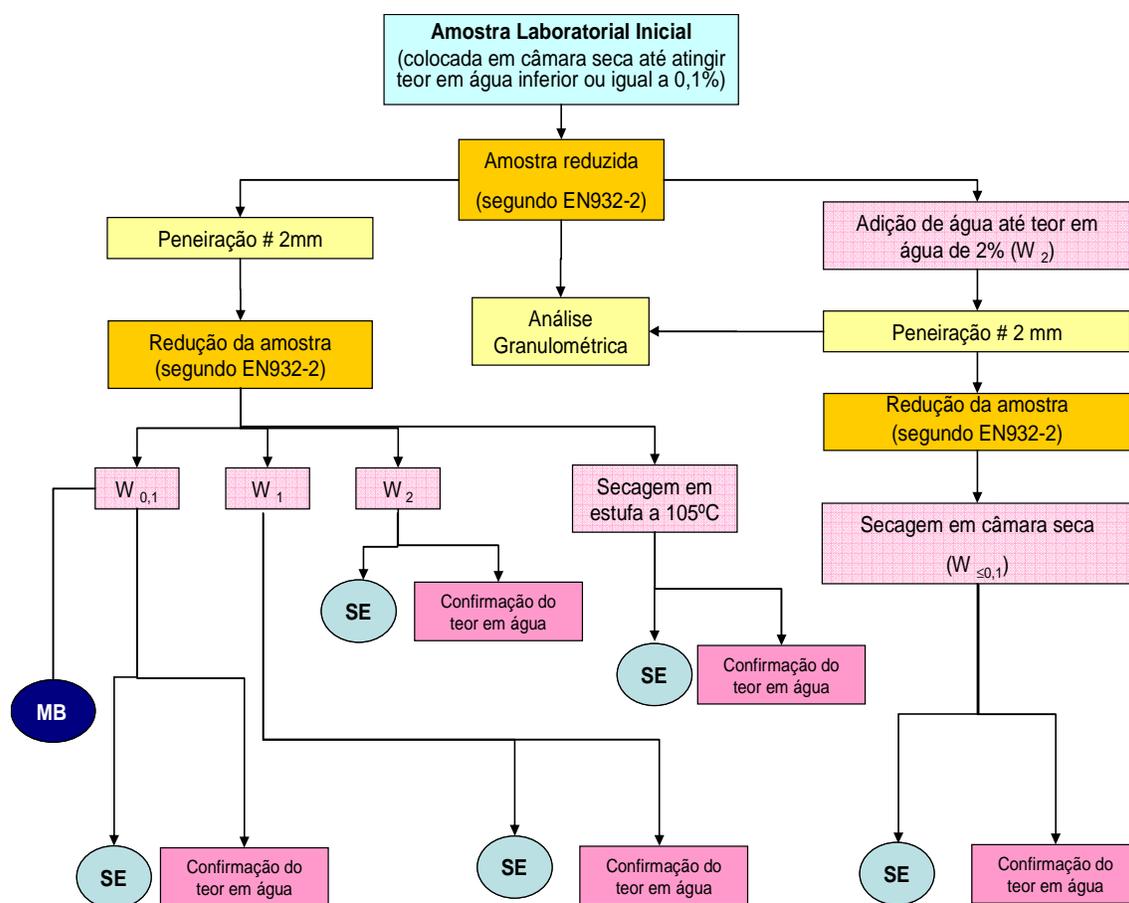


Figura 1 | Representação esquemática do programa experimental realizado

3 | SELECÇÃO DOS MATERIAIS A ENSAIAR

Os vários tipos de agregados a caracterizar no âmbito deste estudo foram definidos no seio da CT 154, com base na experiência nacional relativa aos materiais predominantemente utilizados na pavimentação de obras rodoviárias e aeroportuárias e mediante a colaboração da ANIET – Associação Nacional da Indústria Extractiva e Transformadora, que providenciou os contactos com a maioria dos produtores que forneceram as amostras.

Assim, face à produção nacional, foram seleccionados seis tipos litológicos de agregados: granito, granodiorito, calcário, basalto e quartzito/seixo, cujas características geológicas diversificadas foram consideradas representativas dos materiais naturais mais utilizados como agregados em Portugal, apresentando ainda uma ampla distribuição geográfica, compreendendo oito centros de produção, distribuídos de Norte a Sul do território continental (Figura 2). Não foi no entanto possível abranger, neste estudo, os arquipélagos dos Açores e da Madeira. Refira-se que os materiais fornecidos correspondem a produtos a incorporar em misturas betuminosas ou materiais granulares a aplicar em camadas “não ligadas” de base. Foi igualmente caracterizada uma amostra de agregado de granulometria extensa, de “segunda” a aplicar em camadas não ligadas, recolhida na zona de detritos de pedra, e três amostras obtidas a partir materiais a aplicar em camadas de sub-base identificados como 0/32SB. No total foram caracterizadas onze amostras de agregados provenientes de nove pedreiras ou centros de produção.



Figura 2 | Localização das pedreiras e dos centros de produção

As amostras ensaiadas correspondem às fracções 0/4 mm ou 0/6 mm dos materiais ensaiados num outro estudo realizado no âmbito do Protocolo EP/LNEC [1].

Na Figura 3 pode observar-se o aspecto de várias amostras de agregados submetidas a ensaio. No Quadro 1 identificam-se os produtores, as pedreiras e os respectivos materiais caracterizados no âmbito deste estudo.



Figura 3 | Algumas das amostras submetidas a ensaio

Quadro 1 | Agregados caracterizados

Produtores	Pedreiras/Centros de Produção	Materiais
Agrepor	CE Loulé – Loulé	Calcário
Alves Ribeiro	Moita da Ladra – Vialonga	Basalto
Irmãos Cavaco	Malaposta – Santa Maria da Feira	Gnaise – Amostra obtida por peneiração de material 0/32SB
Monte Adriano	Rebordo Longo – Vila Real	Granito
		Granito – Amostra obtida por peneiração de material 0/32SB
Mota-Engil	Mimosa – Penafiel	Granito
		Granito – Amostra obtida por peneiração de material 0/32SB
	Benafessim – Montemor-o-Novo	Granodiorito
	Estrada Larga – Alenquer	Calcário
	Catapereiro – Porto Alto	Seixo
Sicóbrita	Chão Queimado – Pombal	Calcário de 2ª (detritos de pedra)

4 | GRANULOMETRIA DAS AMOSTRAS DE AGREGADOS

Por forma a efectuar a identificação dos agregados ensaiados procedeu-se à sua análise granulométrica de acordo com a NP EN 933-1. No Quadro 2 apresentam-se as granulometrias obtidas para as várias amostras em estudo, incluindo as três amostras obtidas por peneiração de amostras 0/32SB, destacando-se a amarelo os resultados obtidos para estas amostras e para a amostra de “2ª escolha”

Na Figura 4 apresentam-se as curvas granulométricas das amostras submetidas a ensaio, para os vários tipos de materiais em caracterização.

Refira-se que as análises granulométricas foram realizadas sobre amostras secas ao ar, cujo teor de água no momento do ensaio era inferior ou igual a 0,1%.

Quadro 2 | Granulometrias dos agregados

TIPOS LITOLÓGICOS	Análise granulométrica									
	Dimensão das aberturas dos peneiros (mm)									
	10	8	6,3	4	2	1	0,5	0,250	0,125	0,063
Calcário – Loulé			100	97	59	34	20	13	9	6,5
Basalto – Moita da Ladra			100	99	68	42	26	16	11	8,9
Granito – Rebordo Longo			100	99	81	61	42	26	17	10,8
Granito – Mimosa			100	95	65	44	30	19	12	7,5
Granodiorito – Benafessim			100	94	59	36	23	15	9	6,1
Calcário – Estrada Larga			100	97	64	35	20	12	8	6,2
Seixo – Catapereiro	100	99	96	79	55	38	27	19	12	7,4
Calcário 2ª – Chão Queimado		100	94	75	51	31	21	15	11	9,0
Granito (obtida a partir de material 0/32SB) – Rebordo Longo			100	82,7	65,8	49,2	36,3	25,4	17,0	10,8
Gnaisse (obtida a partir de material 0/32SB) – Malaposta			100	78,7	60,9	45,1	34,8	27,4	21,3	16,1
Granito (obtida a partir de material 0/32SB) – Mimosa			100	86,3	73,3	57,4	42,8	30,1	20,5	13,9

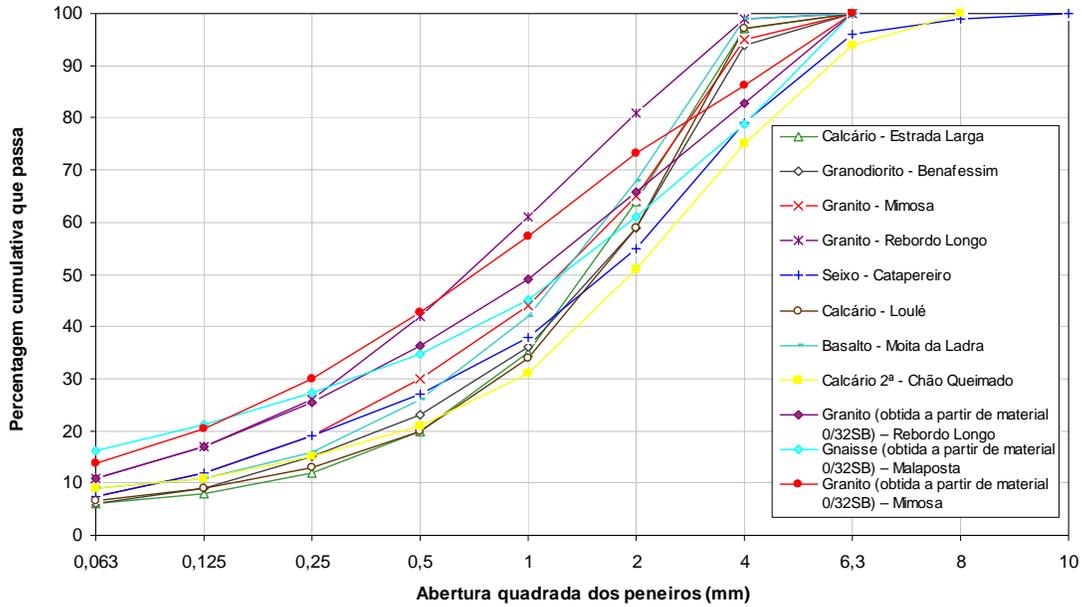


Figura 4 | Curvas granulométricas das amostras ensaiadas

Da análise dos valores das curvas granulométricas apresentadas referentes primeiro conjunto de amostras observa-se que as amostras de Calcário 2ª – Chão Queimado, Calcário – Estrada Larga e Granito – Rebordo Longo apresentam andamentos extremos quando comparados com os restantes materiais, correspondendo as primeiras a fracções mais grosseiras e a última a fracções mais finas.

No peneiro de 0,063 mm, cuja percentagem de material passado permite identificar o teor de finos de cada amostra, observa-se que é a amostra de Gnaiss – Malaposta (amostras obtida a partir de material 0/32SB) que apresenta o maior valor – 16,1%.

As restantes amostras apresentam valores entre 6,1% e 13,9% para a percentagem de material passado no peneiro de 0,063 mm.

5.1 Apresentação da Norma

5.1.1 Objectivos e campo de aplicação

A Norma Portuguesa NP EN 933-8:2002 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 8: Determinação do teor de finos – Ensaio do equivalente de areia” especifica a metodologia a adoptar para a determinação do Equivalente de Areia (SE) de material 0/2 mm contida em agregados finos e de granulometria extensa, aplicando-se a agregados naturais. O ensaio deve ser realizado em amostras com teor de água inferior a 2% e a uma temperatura de (23 ± 3) °C.

A determinação do equivalente de areia pode também ser realizada sobre a fracção 0/4mm (SE4), conforme descrito no Anexo A da Norma de ensaio. Observa-se que o ensaio de equivalente de areia anteriormente utilizado para caracterização de agregados em Portugal, também era realizado sobre materiais com dimensão máxima de 4,75 mm. No entanto, o SE4 não é utilizado como referência em qualquer das normas de produto de agregados.

5.1.2 Princípio e método de ensaio

Uma pequena quantidade de solução floculante é colocada junto com a amostra numa proveta cilíndrica graduada. A mistura é agitada, deixada repousar durante 20 minutos, findos os quais se mede a altura total do sedimento, expressa como uma percentagem da altura total do material floculado na proveta cilíndrica. Este valor é o equivalente de areia (SE).

De uma forma sumária o procedimento a adoptar para a determinação do valor do equivalente de areia (SE) é o que a seguir se apresenta.

- Secagem do agregado para ensaio ao ar (sem colocação em estufa) por forma a apresentar um teor de água entre 0% e 2%, e peneiração por forma a rejeitar as partículas retidas no peneiro com 2 mm;
- Redução da amostra para ensaio conforme preconizado na NP EN 932-2 de forma a obter dois provetes elementares. A massa de cada provete elementar deve ser igual a $120 \times (100+W) / 100$ g (arredondado às unidades), sendo W o teor de água;
- Colocação, dentro de uma proveta cilíndrica graduada, de uma solução de lavagem (com características específicas), conjuntamente com um provete elementar. Deixar repousar durante 10 minutos;
- Findo o período de repouso de 10 minutos, agitação da proveta durante (30 ± 1) s $[(90\pm 3)$ ciclos], utilizando equipamento de ensaio adequado descrito na norma;

- Lavagem do interior da proveta cilíndrica com a solução de lavagem especificada. Quando o nível do líquido no interior da proveta se aproximar da marca superior, retirar o tubo de lavagem e iniciar a contagem do período de assentamento da suspensão (20 minutos);
- Medição da altura (h_1), em milímetros, da camada superior do floculado em relação à base da proveta cilíndrica, passados (20,00±0,25) minutos;
- Medição da altura do sedimento (h_2), em milímetros, em relação à base da proveta, com a ajuda do pistão; Os valores medidos devem ser arredondados ao milímetro;
- Cálculo da razão $(h_2/h_1) \times 100$ para cada proveta, arredondado à décima. O resultado final do ensaio é a média dos resultados obtidos para duas provetas cilíndricas. Se a diferença entre os dois resultados for superior a 4, o procedimento de ensaio apresentado deve ser repetido.

5.1.3 Apresentação de resultados

Deve ser elaborado um relatório final contendo os seguintes dados obrigatórios:

- Referência à Norma de ensaio;
- Identificação do laboratório de ensaio;
- Identificação da amostra;
- Data de recepção da amostra;
- Valor do equivalente de areia (SE) arredondado às unidades;
- Certificado de amostragem, se disponível.

Caso seja considerado adequado podem ainda apresentar-se outros dados, como complemento à informação obrigatória.

- Nome e local da origem da amostra submetida a ensaio;
- Descrição do material e procedimento adoptado na redução da amostra;
- Massa dos provetes elementares;
- Teor de água dos provetes;
- Data de realização do ensaio.

5.2 Resultados dos ensaios efectuados com diferentes teores em água

Foram submetidas a ensaio onze amostras diferentes, incluídas nos seis tipos litológicos anteriormente referidos, com dimensões 0/4 mm (o ensaio foi feito na fracção 0/2 mm). Para cada uma das amostras foram preparados seis provetes com teores de água de 0,1%, 1,0% e 2,0% (dois de cada). Refira-se que todos os provetes submetidos a ensaio foram esquartejados a partir de uma amostra inicial, obtida após colocação em câmara seca até um teor em água inferior ou igual a 0,1% e posteriormente passada no peneiro de 2 mm. Só então foi adicionada água para obtenção dos provetes com 1,0% e 2,0% de água.

Na Figura 5 ilustra-se o aspecto das amostras ensaiadas. Na Figura 6 ilustram-se as várias fases de realização do ensaio de equivalente de areia, conforme descrito em 5.1.2. No Quadro 3 apresentam-se os resultados obtidos, indicando-se ainda os valores dos teores de finos. Na Figura 7 apresentam-se os resultados obtidos, possibilitando uma análise comparativa dos resultados para os diferentes teores de água.



Figura 5 | Aspecto de algumas das amostras submetidas a ensaio

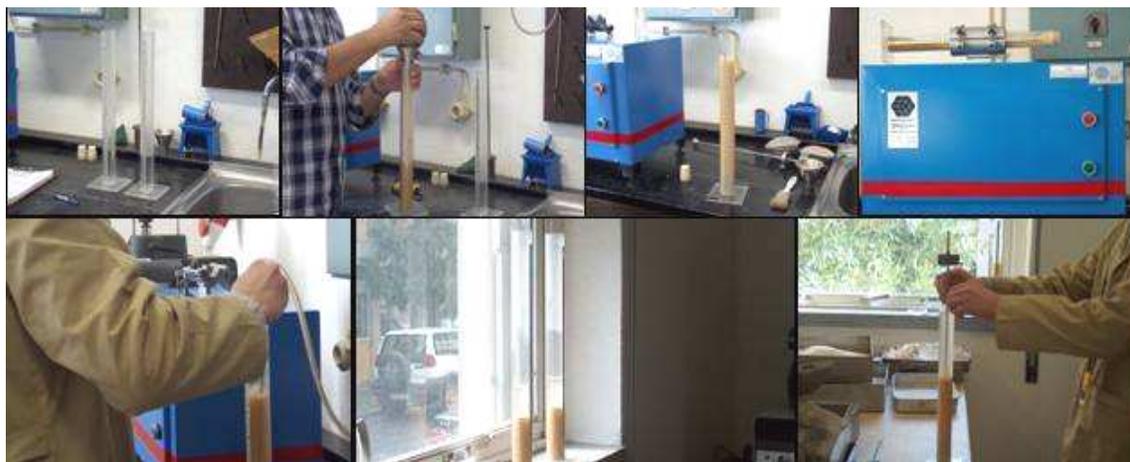


Figura 6 | Várias fases da realização do ensaio de equivalente de areia

Quadro 3 | Valores do equivalente de areia (SE) das amostras submetidas a ensaio

Identificação		Equivalente de areia (SE) (%)			Teor de finos (%)
Tipo Litológico	Origem	Teor de água			
		0,1%	1,0%	2,0%	
Calcário	Loulé	61	60	60	6,5
Basalto	Moita da Ladra	71	71	71	8,9
Granito	Rebordo Longo	58	58	58	10,8
Granito	Mimosa	65	65	65	7,5
Granodiorito	Benafessim	67	68	67	6,1
Calcário	Estrada Larga	66	65	67	6,2
Seixo	Catapereiro	64	64	66	7,4
Calcário 2ª	Chão Queimado	31	30	32	9,0
Granito (obtida a partir de material 0/32SB)	Rebordo Longo	45	46	46	10,8
Gnaisse (obtida a partir de material 0/32SB)	Malaposta	30	28	28	16,1
Granito (obtida a partir de material 0/32SB)	Mimosa	40	38	41	13,9

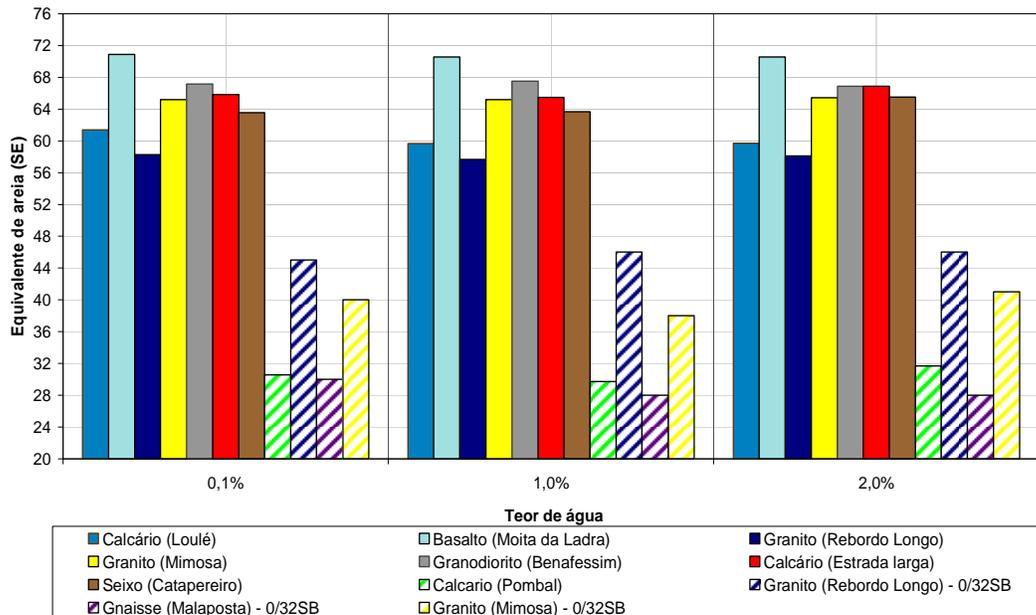


Figura 7 | Análise comparativa dos resultados do ensaio de equivalente de areia

Da análise dos valores apresentados no Quadro 3 e na Figura 7 e obtidos pela aplicação da metodologia expressa na norma de ensaio NP EN 933-8, observa-se que a variação do teor de água inicial das amostras não conduziu a uma variação significativa dos resultados obtidos.

A maior diferença, de três pontos, foi registada para a amostra de Granito – Mimosa (amostra obtida a partir de material 0/32SB). Para as amostras de Calcário – Estrada Larga, Seixo – Catapereiro, Calcário 2ª – Chão Queimado e Gnaiss – Malaposta (amostra obtida a partir de material 0/32SB) verificou-se uma diferença de dois pontos. Anote-se que, na referida norma de ensaio se preconiza que, quando a diferença entre os dois resultados obtidos para uma única amostra for superior a 4, o procedimento de ensaio apresentado deve ser repetido. Desta forma pode considerar-se que a variabilidade obtida nos ensaios realizados com diferentes teores em água está dentro da própria repetibilidade do ensaio.

Refira-se ainda que, com excepção das amostras de Calcário de 2ª escolha – Chão Queimado e as obtidas a partir de material 0/32SB, cujos valores são mais baixos, entre 28 e 46, todas as amostras apresentam valores de equivalente de areia da ordem de 60. Tal facto deve-se a que as amostras fornecidas correspondem a produtos de primeira qualidade, a incorporar no fabrico de misturas betuminosas ou em camadas de base não ligadas.

No ponto seguinte apresenta-se a apreciação dos vários aspectos da norma que se considerou poderem influenciar os resultados finais, destacando-se sempre que aplicável, quais os procedimentos a considerar.

Perante os resultados obtidos, e de modo a identificar a existência de outros factores, além do teor de água inicial da amostra, que possam influenciar o resultado final do ensaio de equivalente de areia, foram realizados ensaios complementares, conforme a seguir se apresenta.

5.3 Apreciação da metodologia de ensaio

A metodologia de ensaio para determinação do valor do equivalente de areia, pela Norma Europeia, é similar à preconizada na especificação LNEC anteriormente adoptada (LNEC E 199:1967), utilizando-se o mesmo equipamento de ensaio. A alteração mais significativa no procedimento de ensaio europeu diz respeito à dimensão máxima das partículas submetidas a ensaio, que é de 2 mm, enquanto na especificação LNEC era de 4,75 mm. Anota-se que este facto pode conduzir a resultados significativamente diferentes, para determinados tipos de agregados. No Anexo A da Norma Europeia de ensaio, de carácter normativo, é apresentado um procedimento para determinação do equivalente de areia da fracção de 0/4 mm.

Refira-se ainda a necessidade de realizar o ensaio sobre amostras com teores de água entre 0,0% e 2,0%, secas ao ar e nunca em estufa.

Assim, conforme referido anteriormente, em complemento dos ensaios apresentados em 5.2, foram analisados dois aspectos que poderão influenciar o valor do ensaio de equivalente de areia: i) o teor de água da amostra quando da sua preparação e ii) o método de secagem.

5.3.1 Influência do teor de água na análise granulométrica

Dado que, de acordo com a norma de ensaio, no caso de o provete a ensaiar ser proveniente de um agregado de dimensão máxima superior de 2 mm, a amostra deve ser passada por um peneiro com 2 mm de abertura apresentando um teor de água inferior ou igual a 2%, utilizando uma escova de peneiros para assegurar uma separação eficaz e a recolha de todas as partículas na fracção de 0/2 mm, procedeu-se à realização da análise granulométrica de cinco amostras (Calcário – Estrada Larga; Calcário 2ª – Chão Queimado; Gnaisse – Malaposta (0/32SB); Granito – Mimososa (0/32SB) e Granito – Rebordo Longo (0/32SB)) com teores de água de 0,1% e 2%, apresentando-se em seguida os resultados obtidos.

Refira-se que cada grupo de amostras submetidas a ensaio foi obtido a partir de uma única amostra inicial seca ao ar (até obtenção de um teor de água de 0,1%) e, após esquartelamento, foi corrigido o valor do teor de água com a adição da quantidade necessária para a obtenção do valor desejado – 0,1% e 2%. Foram então peneiradas manualmente com a colocação de uma tampa para evitar a perda de quaisquer partículas durante o processo. No Quadro 4 e na Figura 8 apresentam-se os resultados obtidos.

Quadro 4 | Granulometrias das amostras ensaiadas, para dois teores de água – 0,1% e 2%

TIPOS LITOLÓGICOS	Teor de água (%)	Análise granulométrica					
		Dimensão das aberturas dos peneiros (mm)					
		2	1	0,5	0,250	0,125	0,063
Calcário – Estrada Larga	0,1	100	55	31	19	12	9,1
	2,0	100	55	30	18	11	8,5
Calcário 2ª – Chão Queimado	0,1	100	56	35	24	18	14,5
	2,0	100	55	32	21	16	12,5
Granito – Rebordo Longo (obtida a partir de material 0/32SB)	0,1	100	75	56	39	25	15,2
	2,0	100	75	55	39	25	14,9
Gnaisse – Malaposta (obtida a partir de material 0/32SB)	0,1	100	75	58	45	34	24,6
	2,0	100	74	57	44	33	24,0
Granito – Mimososa (obtida a partir de material 0/32SB)	0,1	100	75	55	39	26	16,9
	2,0	100	75	54	38	26	17,0

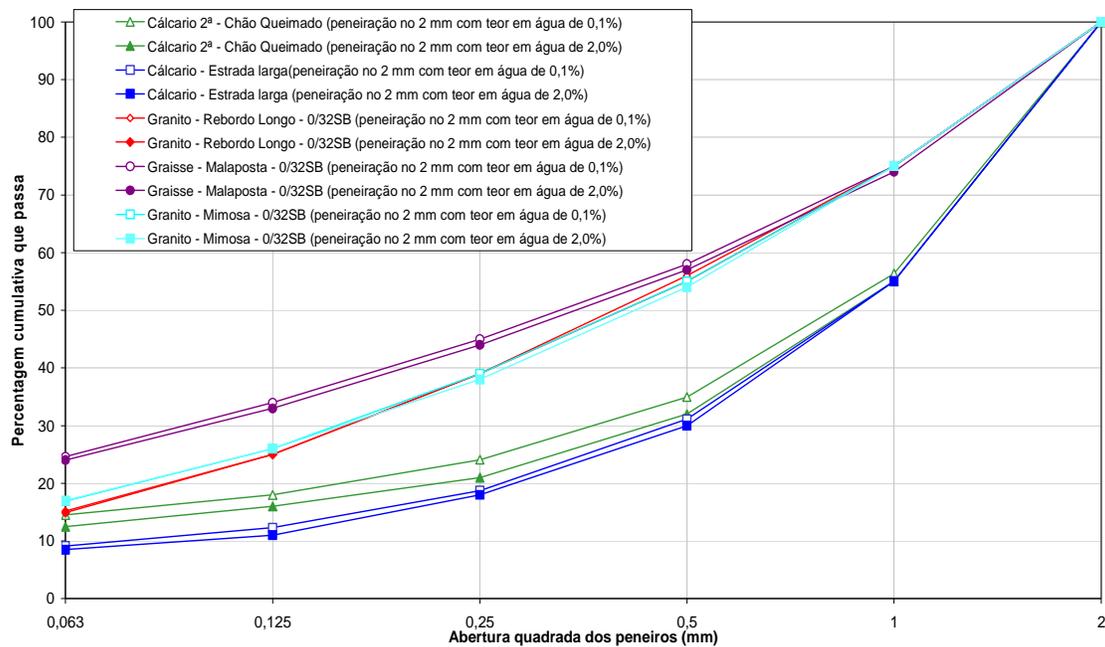


Figura 8 | Curvas granulométricas das cinco amostras ensaiadas, para dois teores de água

Durante a peneiração das amostras observou-se, para o caso do teor de água de 2%, que muitas partículas finas envolviam os agregados mais grossos, com dimensão superior a 2 mm. Este aspecto foi mais significativo para o caso das amostras obtidas a partir das fracções 0/32SB, tendo-se observado durante a peneiração no peneiro com 2 mm de abertura, para as amostras com 2,0% de teor de água, que se formavam grumos, tendo sido prolongado o tempo de peneiração por mais alguns minutos. No caso das amostras com teor de água de 0,1%, praticamente secas, este facto não foi evidente. Anote-se que para a amostra de Calcário 2ª – Chão Queimado a diferença entre as duas granulometrias é mais significativa.

Da análise dos resultados apresentados no Quadro 4 e na Figura 9 observa-se existir ligeiras diferenças nos valores da percentagem de material passado no peneiro de 0,063 mm, em função do teor de água usado, que para o caso da amostra de Calcário 2ª – Chão Queimado é de 2%.

Para as amostras obtidas a partir de material 0/32SB não se verificou uma diferença significativa nas duas granulometrias obtidas para os teores de água de 0,1% e 2%. Tal facto poderá ter resultado do procedimento de ensaio adoptado.

5.3.2 Influência da metodologia de peneiração e secagem das amostras no equivalente de areia

Foram determinados os valores do equivalente de areia das amostras de Calcário – Estrada Larga, Gnaisse – Malaposta (0/32SB), Granito – Mimosa (0/32SB) e Granito – Rebordo Longo (0/32SB) preparadas nas seguintes condições:

- i) teor de água de 0,1%, 1% e 2%, por secagem em estufa a 105°C;
- ii) teor de água de 0,1%, 1% e 2%, após peneiração da amostra húmida com teor de água de 2%.

Na Figura 10 apresentam-se os resultados obtidos, em conjunto com os valores resultantes da aplicação da norma de ensaio NP EN 933-8, já apresentados anteriormente.

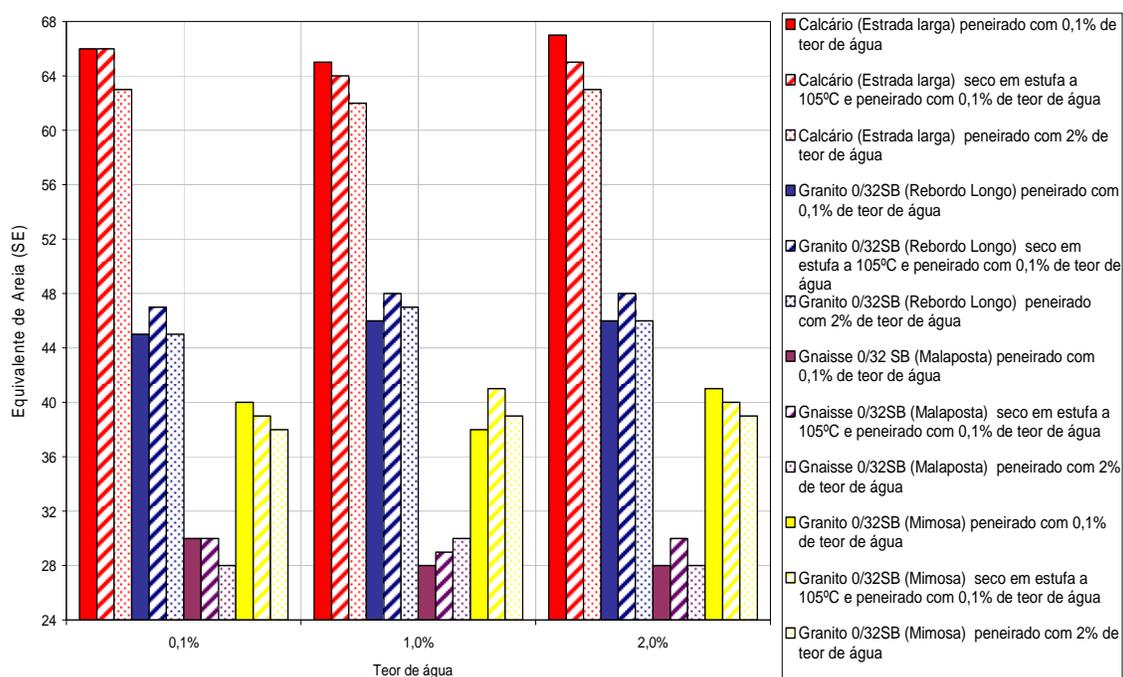


Figura 9 | Resultados do equivalente de areia para várias condições de ensaio das amostras ensaiadas

Os resultados apresentados na Figura 9, não evidenciam uma influência significativa do teor de água nos valores do equivalente de areia, desde que este se situe na gama permitida pela norma, mesmo que a peneiração da amostra seja realizada com diferentes teores de água. Não é igualmente notória, no caso das amostras ensaiadas, a influência do método de secagem (em estufa ou ao ar) do material.

Admite-se no entanto que, no caso da peneiração ser efectuada por um tempo mais curto, e sem o auxílio de uma escova, possa haver uma maior influência do teor em água da amostra na quantidade de finos obtida depois da peneiração, pelo facto de alguns dos finos com dimensão inferior a 0,063 mm ficarem agarrados às partículas mais grossas. Este aspecto terá provavelmente repercussões maiores no valor obtido para o equivalente de areia.

A experiência obtida durante a execução dos ensaios permite formular as seguintes recomendações relativamente à execução do ensaio de equivalente de areia:

- i) O esquarteamento da amostra deve ser efectuada cuidadosamente, uma vez que esta operação pode ter uma influência significativa nos resultados;
- ii) A peneiração da amostra deve ser efectuada após esta ser seca ao ar, devendo-se garantir que não há partículas aglomeradas durante o processo de peneiração.

6 | AZUL DE METILENO (NP EN 933-9:2002)

Foram submetidas a ensaio todas as amostras de agregados em estudo, com dimensões 0/4 mm e teor de água inicial de 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 “Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 8: Determinação do teor de finos – Ensaio do azul de metileno”, já anteriormente apresentada [2].

Na Figura 10 ilustram-se as várias fases de realização do ensaio, sendo ainda possível observar o aspecto do papel de filtro onde é realizado o ensaio da mancha. No Quadro 6 apresentam-se os resultados obtidos, apresentando-se ainda o valor do teor de finos para uma análise comparativa.



Figura 10 | Várias fases da realização do ensaio de azul de metileno

Quadro 5 | Valores do azul de metileno (MB) das amostras submetidas a ensaio

Identificação		Azul de metileno (g/1000g)	Teor de finos (%)
Tipo Litológico	Origem		
Calcário	Loulé	1,7	6,5
Basalto	Moita da Ladra	2,0	8,9
Granito	Rebordo Longo	1,0	10,8
Granito	Mimosa	1,0	7,5
Granodiorito	Benafessim	0,7	6,1
Calcário	Estrada Larga	0,6	6,2
Seixo	Catapereiro	0,5	7,4
Calcário 2ª	Chão Queimado	2,8	9,0
Granito (obtida a partir de material 0/32SB)	Rebordo Longo	1,0	10,8
Gnaisse (obtida a partir de material 0/32SB)	Malaposta	3,7	16,1
Granito (obtida a partir de material 0/32SB)	Mimosa	3,0	13,9

Da análise dos resultados apresentados no Quadro 5 observa-se que os valores do azul de metileno se situam entre 0,5 e 3,7 g/1000g, sendo a amostra de Gnaisse da Malaposta obtida a partir de material 0/32SB, a que apresenta o maior valor de azul de metileno em resultado do tipo e quantidade de finos presentes. Anota-se que o agregado 0/32 SB a partir do qual se obteve esta amostra se destina geralmente à aplicação em camada de sub-base, apresentando mais finos do tipo argiloso.

7 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nas figuras 11 a 13, apresentam-se os resultados obtidos, por forma a correlacionar os três critérios que permitem avaliar a qualidade dos finos: o teor de finos, o valor do ensaio de equivalente de areia e o valor do ensaio de azul de metileno.

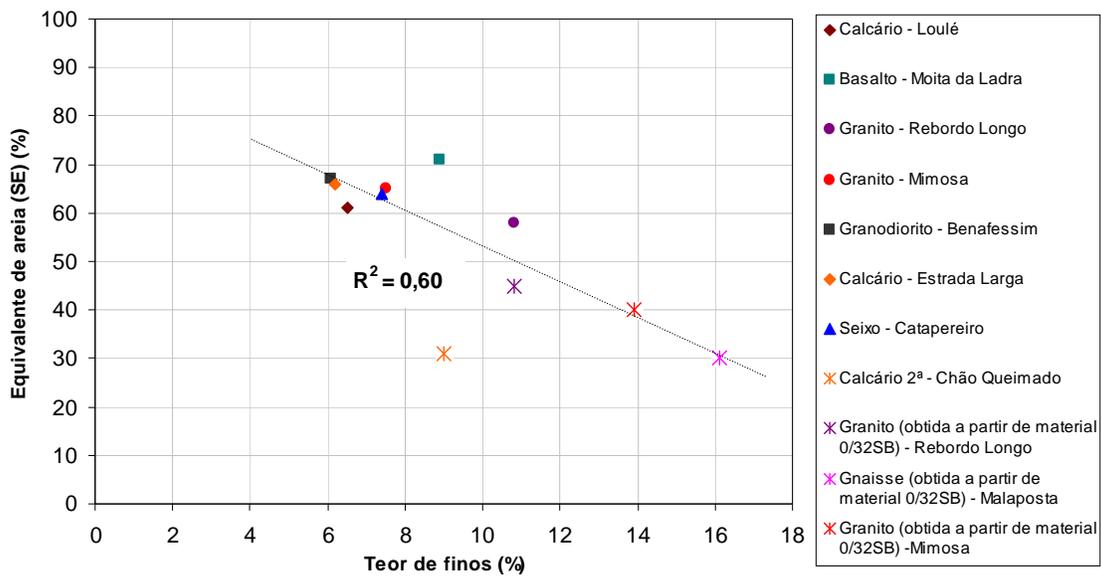


Figura 11 | Relação entre os resultados do ensaio de equivalente de areia e o teor de finos

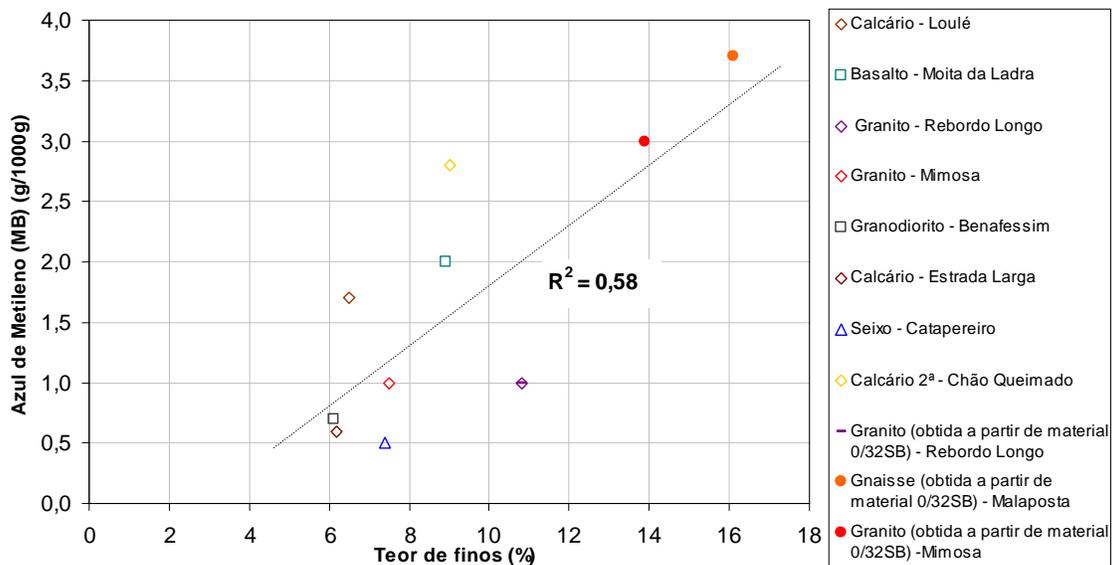


Figura 12 | Relação entre os valores do azul de metileno e o teor de finos

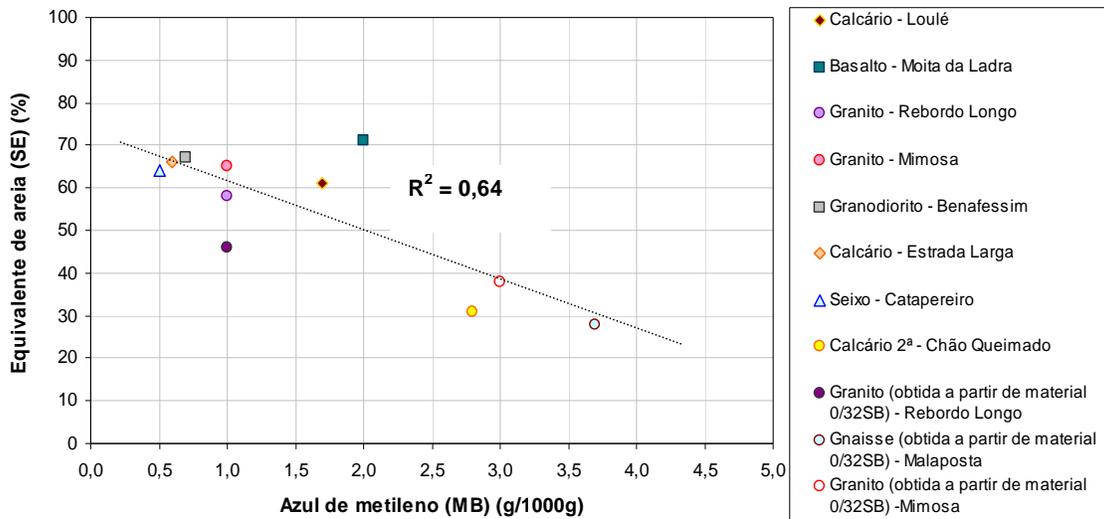


Figura 13 | Relação entre os resultados do equivalente de areia e do azul de metileno

Da análise da Figuras 11 a 13 podem tecer-se as seguintes considerações:

- Observa-se, como seria de esperar, que valores mais elevados do teor de finos conduziram a equivalentes de areia mais baixos e a valores do azul de metileno mais elevados;
- Embora se possam estabelecer correlações entre o valor do ensaio de azul de metileno e do ensaio de equivalente de areia, observa-se que alguns materiais, nomeadamente o basalto e o granito (Rebordo Longo) apresentam um comportamento mais díspar.

No âmbito do Protocolo de Cooperação entre a Estradas de Portugal, S.A. e o LNEC, foi realizado um estudo da aplicação dos métodos de ensaio para avaliação da qualidade dos finos dos agregados preconizados nas Normas Europeias. Este estudo incidiu particularmente na avaliação da influência do teor de água dos agregados nos resultados do ensaio de equivalente de areia, tendo sido complementado com outros ensaios, tais como a análise granulométrica e a determinação do valor do azul de metileno.

O programa laboratorial desenvolvido compreendeu a realização de ensaios de equivalente de areia e de azul de metileno sobre onze amostras de agregados de diferentes tipos litológicos, apresentando uma ampla distribuição geográfica no território nacional por forma a serem considerados representativos dos materiais existentes em Portugal. Procurou-se ainda incluir no conjunto de amostras ensaiadas materiais ditos de “2ª categoria”, ou seja possuindo finos com maior argilosidade.

De acordo com o Plano de Trabalhos acordado foram realizados ensaios de equivalente de areia sobre onze amostras com três teores de água diferentes (0,1%, 1,0% e 2%), para seis tipos litológicos – granito, granodiorito, gnaiss, calcário, basalto e seixo. A determinação do equivalente de areia, para os três teores de água referidos, foi efectuada conforme preconizado norma de ensaio europeia NP EN 933-8:2002.

Para todas as amostras ensaiadas foi ainda efectuada a análise granulométrica segundo a NP EN 933-1:2000 e a determinação do azul de metileno segundo a NP EN 933-9:2002.

Complementarmente, foi estudada a influência do teor de água utilizada na peneiração das amostras para ensaio, bem como do método de secagem considerado – ao ar, conforme preconizado na norma de ensaio, ou em estufa a 105°C.

Face aos resultados obtidos, que se apresentam neste relatório, podem tecer-se as seguintes considerações:

- Não há diferenças significativas nos valores de equivalente de areia obtidos para amostras preparadas nas mesmas condições (peneiradas com teor de água inferior ou igual a 0,1%) e posteriormente ensaiadas com diferentes teores de água, dentro da gama admitida na NP EN 933-8:2002;
- No entanto, o teor de água utilizado quando da preparação da amostra (peneiração para obtenção de material passado no peneiro de 2 mm), pode ter alguma influência na granulometria final da amostra sujeita a ensaio, o que, por sua vez pode afectar o resultado do ensaio de equivalente de areia, devendo-se garantir que na peneiração da amostra para obter os provetes para ensaio não há aglomeração dos materiais mais finos;

- Poderá haver alguma correlação entre os resultados do ensaio de equivalente de areia e do azul de metileno obtendo-se para valores mais baixos de azul, equivalentes de areia mais elevados; no entanto, alguns tipos de materiais apresentam comportamento bastante diferenciado dos restantes. É pois essencial que se disponha de um ensaio de referência.

Pode considerar-se que a metodologia de ensaio apresentada na NP EN 933-8:2002, que foi objecto de análise no estudo desenvolvido, é suficientemente clara para a implementação e realização do ensaio, não tendo sido identificados aspectos a rever ou possíveis erros técnicos do próprio método de ensaio.

Como recomendações sobre a aplicação da metodologia de ensaio para determinação do valor do equivalente de areia referem-se:

1. A necessidade de realizar o esquartelamento da amostra de forma cuidada;
2. A necessidade de cumprir escrupulosamente a metodologia de secagem preconizada, com a secagem das amostras para ensaio ao ar;
3. A preparação dos provetes para ensaio a partir de uma amostra inicial com teor de água inferior ou igual a 0,1% por forma a minimizar a alteração do teor de finos final da amostra para ensaio.

Os autores desejam expressar à ANIET e aos produtores que facultaram ao LNEC os agregados (referenciados no Quadro 1), o seu reconhecimento pelo apoio prestado à realização do presente trabalho.

Agradece-se também à Dr.^a Susana Reis, da EP – Estradas de Portugal, S.A., a colaboração prestada na selecção das amostras para ensaio e o acompanhamento do trabalho realizado.

Colaboraram na realização dos trabalhos experimentais os seguintes técnicos:

- Técnica Especialista Graziela Gato, na realização dos ensaios de azul de metileno;
- Técnico Profissional de 2^a Classe Nuno Nunes, na preparação das amostras e na realização dos ensaios de equivalente de areia, análise granulométrica e teor de água;

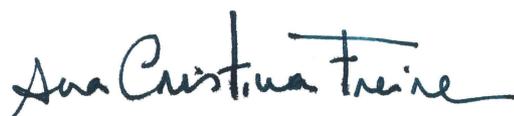
Lisboa, LNEC, Abril de 2008

VISTOS



António Lemonde de Macedo
Director do Departamento de Transportes

AUTORIAS



Ana Cristina F. O. R. Freire
Investigadora Auxiliar do LNEC



Maria de Lurdes B. C. Antunes
Investigadora Coordenadora do LNEC
Chefe do Núcleo de Infra-estruturas Rodoviárias
e Aeroportuárias

- [1] Freire, A. C., Antunes, M. L. – “Caracterização de Agregados produzidos em Portugal de acordo com as referências normativas EN 13043 e EN 13242”, Relatório DT/2008 (em impressão).
- [2] Freire, A. C., Antunes, M. L. – “Aplicação de métodos de ensaio especificados em normas europeias de agregados”, Relatório DT 224/06, 2006.

