

1. Introdução

Desde os seus primórdios o homem tem vindo a evoluir e a diferenciar-se dos restantes animais que habitam, ou habitaram, o nosso planeta graças à sua capacidade de raciocínio e de aprendizagem. Estas características têm-lhe permitido entre outras coisas utilizar a seu favor os recursos geológicos que o planeta lhe coloca à disposição. Prova disso são os inúmeros achados pré-históricos que têm vindo a ser descobertos um pouco por todo o mundo. Desta forma o homem conseguiu, passo a passo, evoluir, aumentar a sua população e colonizar os quatro cantos do mundo.

No entanto, com o surgimento das primeiras grandes civilizações, como por exemplo a Grega, a Romana ou a Egípcia, iniciou-se a corrida aos recursos naturais. Estas civilizações populosas, cuja defesa assentava em grandes exércitos, tinham necessidade de alimentar e equipar cada vez melhor tanto a população, como os seus enormes exércitos. Ainda limitados a técnicas e meios essencialmente baseados no esforço humano e de animais, normalmente apenas lhes era possível extrair os recursos geológicos existentes à superfície vendo-se desta forma obrigados a expandir os seus impérios de forma a satisfazer a sua crescente necessidade destes recursos.

Com o passar dos séculos, à medida que o homem foi descobrindo novas técnicas, tendo mais e melhores meios à sua disposição, o volume de recursos disponíveis foi crescendo significativamente, com o aumento da profundidade a que se poderia efectuar a sua recolha. Esse aumento teve uma tal magnitude que acabou por se criar a falsa sensação de que por um lado, os recursos geológicos seriam praticamente inesgotáveis e por outro que seriam cada vez mais acessíveis economicamente. Contudo, hoje sabemos que os recursos geológicos não só não são inesgotáveis como se tornam quase economicamente inacessíveis, seja pela sua escassez, seja pelo aumento dos custos de extracção.

Com a queda do mito de que os recursos geológicos seriam inesgotáveis e com o aumento do custo da sua utilização, torna-se imperativo garantir a sua gestão criteriosa, tirando o máximo partido dos materiais explorados e reduzindo, ou mesmo eliminando, os desperdícios.

Embora em muitos sectores estas noções já estejam assimiladas há algum tempo, a verdade é que noutros, só há alguns anos se deu início a esta mudança de mentalidades e de estratégias.

No caso do sector das rochas ornamentais e industriais, até há poucos anos parecia prevalecer a ideia de que os recursos seriam suficientemente extensos para se considerarem quase inesgotáveis, pelo que os industriais procuravam os melhores depósitos e jazidas com o intuito de extrair o que era economicamente mais rentável, deixando tudo o resto ao abandono, depositado em escombreliras. No entanto, muito em especial no decurso das duas últimas décadas, também neste sector se têm verificado muitas alterações. As sucessivas crises que têm abalado o sector e as alterações legislativas a nível europeu entretanto ocorridas têm fortalecido a ideia, junto dos industriais e das autoridades nacionais, de que urge fazer um aproveitamento mais eficaz e racional dos nossos recursos geológicos.

Com a entrada em vigor do decreto-lei 270/2001 de 6 de Outubro, que veio legislar a pesquisa e exploração de massas minerais-pedreiras, o panorama nacional sofreu várias alterações. Os exploradores passaram a ter que garantir que os depósitos de rejeitados conhecidos como escombreliras, tenham o menor volume possível, promovendo dessa forma um maior aproveitamento dos recursos. Por outro lado, em certa medida, essa obrigatoriedade ajudou ainda a minimizar os custos de encerramento das explorações, visto que as mesmas passaram a ser responsáveis pela recuperação das áreas afectas à exploração, no momento do seu encerramento como unidades extractivas.

Por seu turno, a evolução do país, a sua industrialização, o aumento da qualidade de vida e a aposta por parte de sucessivos governos na modernização das infra-estruturas e das redes de transportes e comunicações, têm feito aumentar os consumos de matéria-prima para a construção, particularmente no que respeita aos materiais para a produção de betão, misturas betuminosas e para a aplicação directa em estradas, auto-estradas, linhas férreas, estruturas portuárias e aeroportuárias.

Todos estes factores têm feito com que as escombreliras, embora não tenham deixado de constituir um problema ambiental, passem cada vez mais a ser vistas como uma fonte ou reserva de matéria-prima e, conseqüentemente, de rendimento. No entanto, importa assegurar e aprofundar o conhecimento das

características dos inertes e agregados produzidos a partir destas “fontes” de matéria-prima, de forma a otimizar a sua aplicação.

Para a generalidade das pedreiras, e muito em particular para aquelas que se destinam à exploração de rochas com fins ornamentais, a criação de escombreyras é algo praticamente inevitável. Nelas se depositam todos os materiais resultantes da exploração que não têm aproveitamento comercial. Assim, após alguns anos de laboração da exploração, as escombreyras passam a ter volumes de dimensão considerável, situação penalizada com o cálculo das cauções já definidas a partir da entrada em vigor do decreto-lei 270/2001. Mas nem só as cauções tornam as escombreyras uma fonte de custos e problemas. Elas provocam custos tanto no que refere ao transporte dos materiais até à escombreyra, como na sua remoção, sem considerar que muitas destas explorações se encontram em áreas bastante confinadas, tornando-se as escombreyras num verdadeiro estorvo, atendendo à área que ocupam.

Assim, se a rocha tiver qualidade e com ela for possível produzir inertes a partir dos produtos armazenados nas escombreyras, considerando igualmente a viabilidade económica desta transformação, estes materiais podem passar a ser consumidos na produção de misturas betuminosas, betões, ou mesmo para aplicação directa nos mais diversos tipos de obras de construção.

Apesar dos custos de remoção dos materiais das escombreyras e dos custos inerentes à preparação do material para entrar na linha de britagem, é cada vez maior o número de empresas a recorrer a estas fontes de matéria-prima. Considerando-se apenas as despesas associadas ao carregamento e transporte dos materiais, desde a sua fonte até à linha de britagem, e as despesas associadas à própria britagem, torna-se claro que o recurso a material obtido numa exploração com explosivos se torna mais económico, considerando circunstâncias idênticas no que respeita à distância entre o local de extracção e a central de britagem, uma vez que o material desmontado com recurso a explosivo é constituído por partículas de menores dimensões, facilitando as operações de carregamento, de transporte e de britagem.

Porém, importa considerar muitos outros factores e contabilizar os seus custos pois, numa exploração em que a rocha é desmontada com recurso a explosivos existem outros encargos que poderão não existir nas situações em que se obtêm os

materiais a partir de uma escombreira. Por exemplo, no caso da exploração de escombreiras, não será necessário proceder ao licenciamento de uma exploração de extracção da matéria-prima pois esta já será licenciada como exploração de rocha ornamental. Tal significa que a empresa de britagem não terá de pagar nenhuma caução para obter a licença de exploração da pedreira, uma vez que apenas irá explorar a escombreira, ou os materiais que de outra forma nela iriam ser depositados.

Isto é, se imaginarmos uma empresa de exploração de rocha ornamental, que passa a efectuar a britagem dos materiais rejeitados, essa empresa apenas será obrigada a fazer o licenciamento para legalizar o sector da central de britagem. Mas, por outro lado, passará a ter mais uma fonte de rendimento com a venda de agregados, ao mesmo tempo que elimina, ou diminui, os problemas relacionados com a escombreira.

Outra possibilidade é a de serem duas empresas, em que uma faz a exploração de rocha ornamental, e outra que se dedica à produção de inertes e agregados a partir dos rejeitados. Neste caso, a empresa de exploração de inertes e agregados não terá os custos relativos à extracção (incluindo o licenciamento dessa actividade), sendo esses encargos da responsabilidade da empresa de extracção de rocha ornamental. Deste modo, todos podem tirar proveitos desta relação de simbiose. Os exploradores de rocha ornamental libertam-se das escombreiras, que para eles são bastante onerosas, os produtores de inertes conseguem uma fonte de matéria-prima de fácil acesso. Neste caso, até o Estado beneficia de uma melhor utilização dos recursos naturais do país, conseguindo produzir mais riqueza, consumindo menos recursos e potenciando a redução de um problema ambiental.

Aos factores assinalados acresce ainda a vantagem de diminuir a necessidade de recurso a novos locais de exploração, ou seja, a um número menor de zonas de intervenção com todos os problemas ambientais e sociais que lhe são inerentes.

Porém, para o produtor de inertes, esta possibilidade está fortemente condicionada pela qualidade da matéria-prima e pelas condições de mercado, particularmente no que concerne ao escoamento dos materiais que produz.

Apesar de a produção de inertes e agregados a partir de materiais depositados em escombreira não ser uma técnica nova, têm sido desenvolvidos estudos sobre esse reaproveitamento, em especial na zona Sul do país.

Efectivamente, é fundamental adquirir conhecimentos sobre as características dos inertes produzidos a partir dos materiais rejeitados das explorações de rocha ornamental, comparando-os com as especificações e exigências dos cadernos de encargo dos diferentes tipos de obras. Só desta forma será possível recorrer, com segurança, à sua utilização.

Todavia, esta situação também não é de fácil resolução, visto estarmos a atravessar uma fase de profunda mudança no sector, com o processo de implementação das novas normas europeias. Estas normas, conhecidas como "normas harmonizadas", vêm estabelecer novos princípios e novas exigências, bem como novas regras para a utilização de materiais de construção, em particular os inertes e agregados.

Após ter sido adoptada, por parte do Conselho das Comunidades Europeias, a Directiva n.º 89/106/CEE, de 21 de Dezembro de 1988, que posteriormente veio a ser alterada pela Directiva n.º 93/68/CEE, de 22 Junho de 1993, foi iniciado um processo de harmonização das normas e especificações, que até há muito pouco tempo foram, e ainda são utilizadas em cada país da comunidade. Estas directivas foram transpostas para o direito nacional através do Decreto-lei n.º 113/93 de 10 de Abril.

Não apenas com o objectivo de facilitar as trocas comerciais de produtos de construção, mas também como uma forma de garantir a qualidade dos produtos transaccionados entre os estados membros, foram criadas novas normas europeias, com o intuito de regulamentar a caracterização de produtos idênticos em toda a Comunidade Europeia.

Para tal foram desenvolvidos dois grandes grupos de normas:

- **normas harmonizadas**, que são aquelas que estão mandatadas pela Comissão Europeia e que especificam os produtos, sob a forma de exigência quanto ao seu comportamento funcional, e que estabelecem as propriedades a verificar, definem a forma de classificar os agregados mediante os resultados obtidos

relativamente a cada uma dessas propriedades e dão orientações quanto ao controlo a desenvolver para verificar a sua conformidade;

- **normas de ensaio**, as quais estão directamente relacionadas com as anteriores, já que estabelecem os procedimentos de ensaio para determinação das propriedades dos agregados especificadas pelas normas harmonizadas.

A implementação destas normas obriga à criação de novos cadernos de encargos, por parte dos donos de obra, com novas limitações e requisitos, uma vez que todos os cadernos de encargo até aqui em vigor se baseiam em características controladas com base nas normas nacionais.

Assim, importa determinar uma correlação entre os resultados obtidos nos ensaios executados segundo as normas portuguesas e as novas normas europeias. Só desta forma se poderá garantir que os novos cadernos de encargos sejam tão exigentes como os seus antecessores, garantindo um mesmo nível de qualidade nas obras onde os agregados serão aplicados. De resto, este princípio consta da Directiva 89/106/CEE de 21 de Dezembro, no seu Anexo I, onde se estabelecem os requisitos essenciais.

Desta forma, e para que todos estes requisitos possam ser assegurados, terá em primeiro lugar de ser feita uma correlação entre as normas portuguesas e as novas normas europeias, promovendo uma adaptação de todos os conhecimentos adquiridos ao longo dos tempos em que as normas portuguesas foram utilizadas. Só assim será possível acautelar a continuidade do trabalho que muitas empresas e entidades têm efectuado ao longo dos últimos anos, salvaguardando a qualidade.

Conhecendo as novas normas europeias e os resultados obtidos pela sua aplicação na execução de ensaios em materiais, cujas características já são conhecidas através da aplicação das normas portuguesas, será possível relaciona-las ou compara-las. Com essa base de trabalho, será possível alterar ou readaptar, os antigos cadernos de encargos ou mesmo criar novos cadernos de encargos.

Quando chegarmos a esse estágio poderemos realmente progredir no estudo e na consequente utilização de agregados, com particular interesse no que respeita aos provenientes de britagem de material rejeitado pelas explorações de rocha ornamental, garantindo-se a qualidade dos materiais produzidos desta forma.

2. Objectivos

Este estudo teve como objectivo inicial, a caracterização geotécnica dos materiais da escombreira da pedreira da Granialpa, com vista ao seu aproveitamento na produção de agregados.

Pretendeu-se estudar as características dos agregados, bem como as suas propriedades geométricas.

Para tal, foram realizados ensaios de granulometria, equivalente de areia, peso específico e absorção de água, índices de lamelação e de alongamentos, azul-de-metileno e desgaste pela máquina de Los Angeles, sendo que todos estes ensaios foram efectuados segundo as normas portuguesas em vigor (Especificações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil e normas portuguesas).

Porém, dada a situação actual a nível legislativo, no que respeita ao processo de implementação das novas normas europeias, importava comparar os resultados assim obtidos, com os correspondentes ensaios realizados com as novas normas europeias.

Com o propósito de alargar o campo de amostragem e de aplicação das referidas normas, foram também estudadas duas amostras de areia provenientes de depósitos da região de Sines.

Tendo a Estradas de Portugal, SA. lançado no ano de 2009 a sua nova proposta de caderno de encargos tipo obra (CETO 2009), espera-se que esta venha a substituir a antiga versão de 1998. Dado o CETO de 2009 ter sido elaborado já com base nas novas directrizes europeias, pretende-se ainda com este estudo efectuar uma breve análise comparativa entre as exigências de ambos os cadernos de encargos, deste que é sem duvida um dos principais organismos relacionados com a área da construção, nomeadamente no que refere à execução de obras públicas no país.

3. Localização geográfica

Para a realização deste estudo foram recolhidas amostras em dois locais. O primeiro, situa-se na região de Évora e corresponde ao local de recolha da amostra de material granítico. O segundo situa-se nas proximidades de Sines e corresponde ao local de recolha das duas amostras de areias.

Na figura1 apresenta-se um esquema da localização dos pontos de recolha das amostras, correspondendo a bandeira vermelha ao material granítico e a azul às amostras de areias.

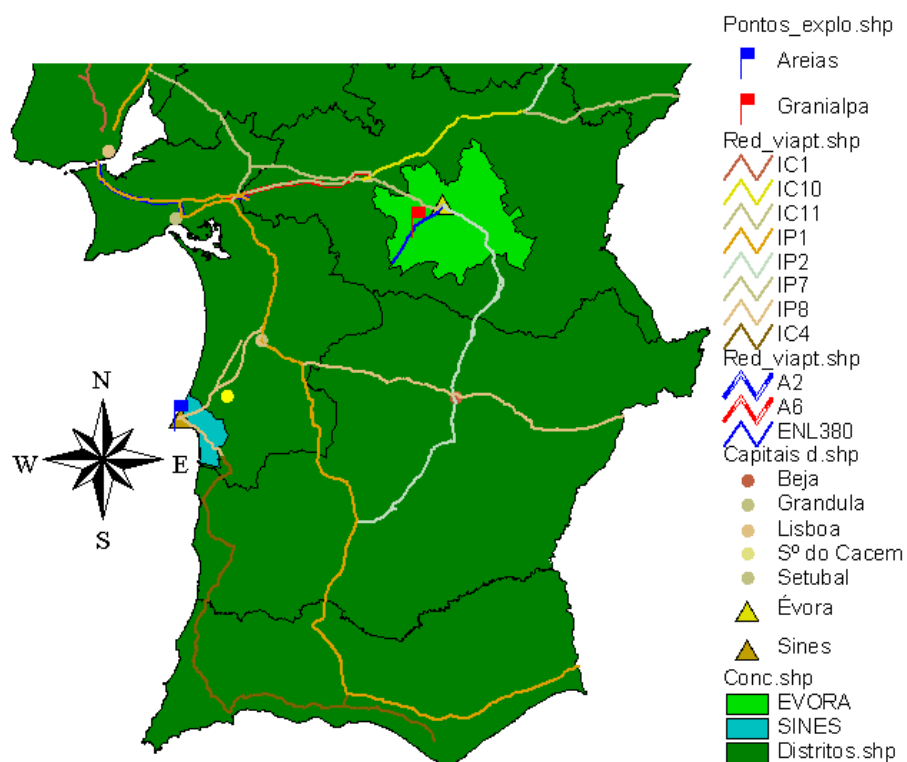


Figura 1 - Esquema representativo da localização dos pontos de recolha das amostras sobre o mapa da zona sul de Portugal continental.

3.1. Local de amostragem do material granítico.

O local de recolha da amostra de granito situa-se no Alto Alentejo, distrito de Évora, freguesia de Nossa Senhora da Tourega. Consiste numa exploração de rochas ornamentais graníticas, de onde provêm grandes quantidades de materiais sem aproveitamento como rocha ornamental, quer seja devido ao acabamento de blocos, quer seja resultante dos trabalhos de decapagem das zonas mais superficiais.

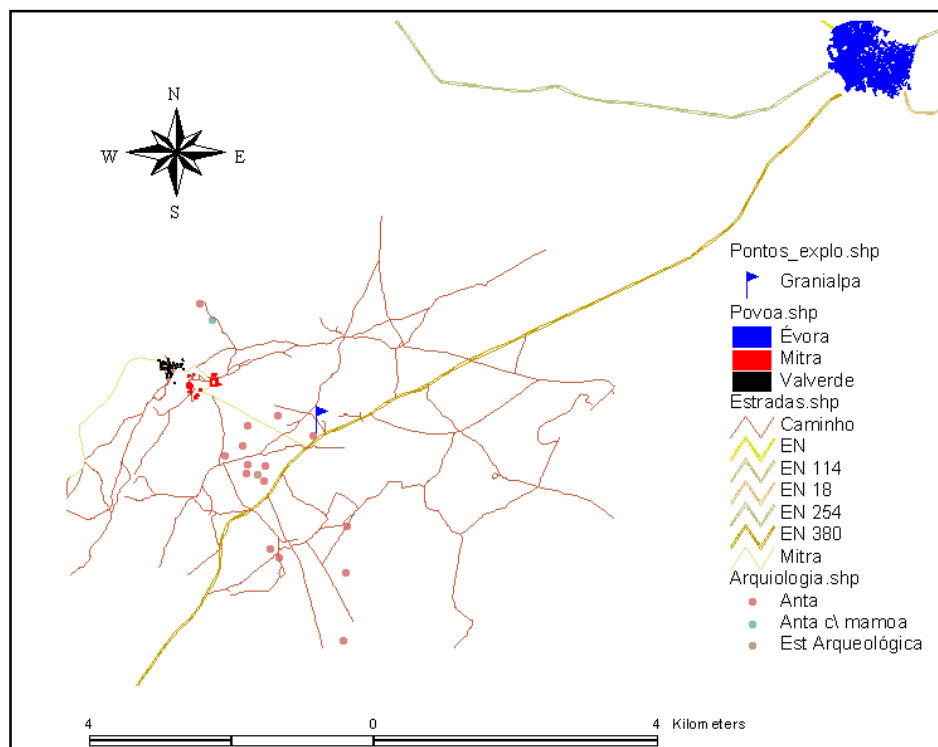


Figura 2 -Esquema representativo da localização da pedreira da Granialpa onde a amostra G1 foi recolhida, tendo como pontos de referência a cidade de Évora e a Herdade da Mitra.

Na figura 2 pode observar-se um esquema da localização da exploração onde a amostra G1 foi recolhida.

Partindo da cidade de Évora pela estrada nacional nº 380, que liga esta cidade à vila de Alcáçovas, percorre-se cerca de 8 km saindo-se à direita para um caminho de terra batida. Caminho esse localizado aproximadamente a 150 metros antes do entroncamento com a estrada que dá acesso à Herdade da Mitra e a Valverde. Uma vez neste caminho percorre-se uma distância aproximada de 300 metros até à entrada da exploração onde a amostra de material granítico foi recolhida.

3.2. Local de amostragem das areias 1 e 2.

A recolha das duas amostras de areias foi efectuada nas proximidades da vila de Sines. Ambas as amostras foram recolhidas a uma distância de 50 a 100 metros uma da outra, numa propriedade junto ao parque industrial de Sines, sendo que as coordenadas UTM aproximadas do local de recolha das amostras são M = 136044.220 e P= 112176.543.

Na figura 3, extraída das cartas militares 515A e 516, pode observar-se, assinalado a vermelho, o ponto de recolha da amostra A2 e a azul o da amostra A1.

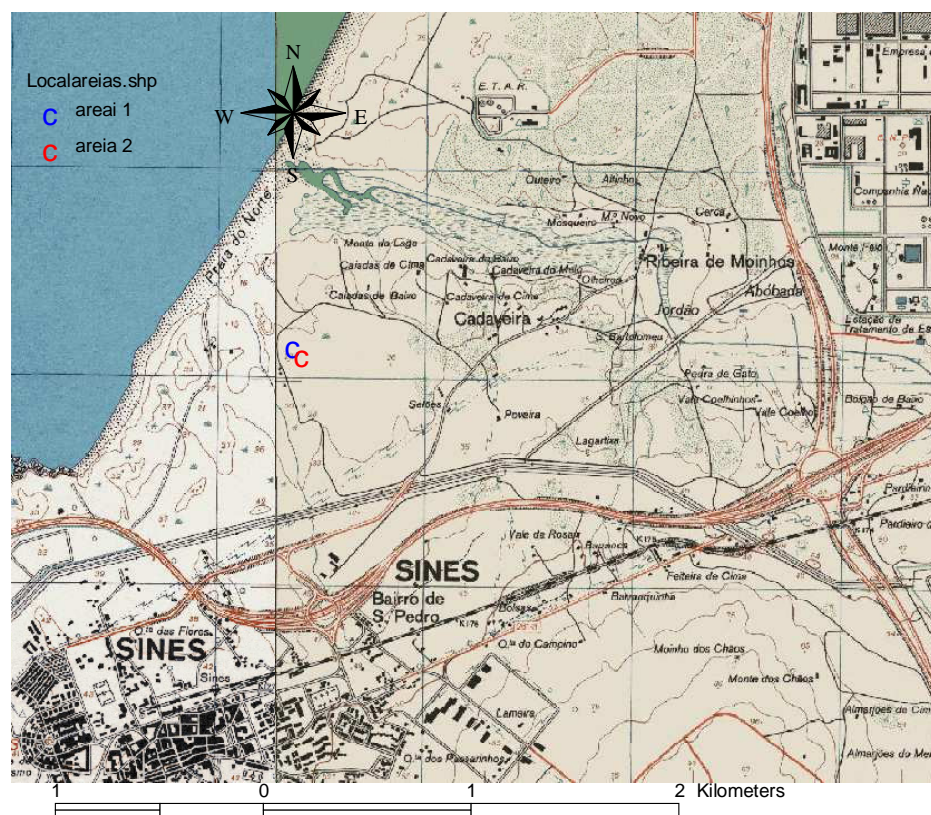


Figura 3 - Estrato das cartas militares n.º 515 A e 516 dos serviços Cartográficos do Exército com a implantação dos pontos de amostragem das amostras A1 e A2

4. Enquadramento geológico

A área de recolha da amostra de material granítico, situada na região de Évora é abrangida pela carta geológica 40 A, que revela uma área de altitudes bastante uniformes, rondando os 230 a 260 metros. O extracto desta carta, aqui apresentado na figura 4, abrange uma área integrada na bacia hidrográfica do Sado, bacia que ocupa a maior parte da área representada pela carta 40 A. Nela são ainda representadas as bacias do Guadiana e do Tejo, ocupando a última apenas uma pequena parte a norte da referida carta.

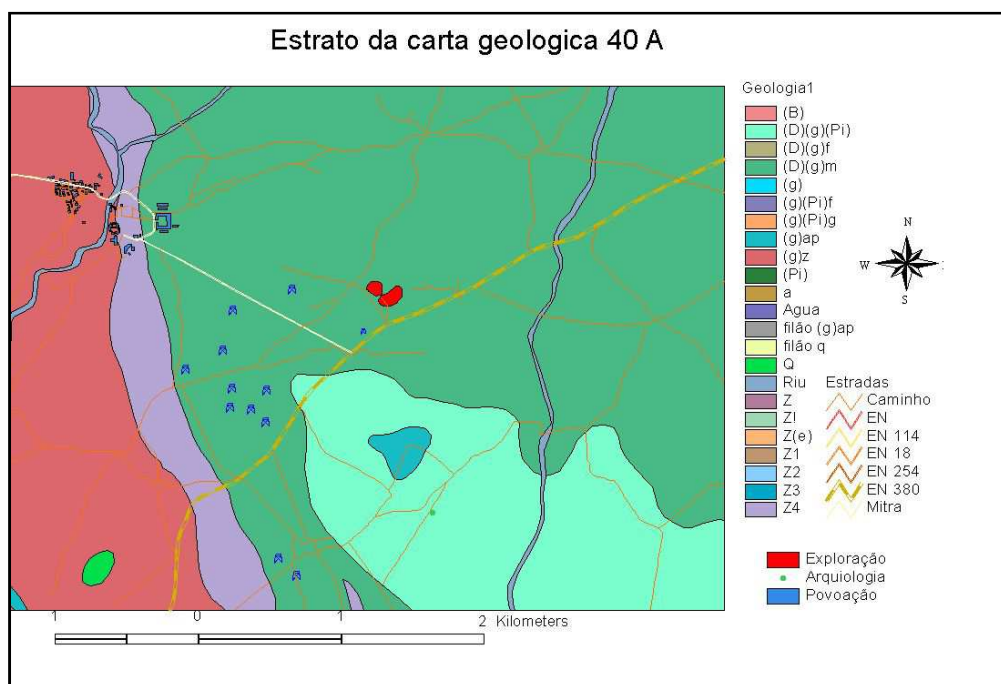


Figura 4 - Estrato da carta geológica 40 A com a representação da área de cavidade e de escombreira da exploração da Granialpa.

De acordo com a notícia explicativa da referida carta, na região surgem alguns depósitos cenó-antropozóicos, como é o caso de alguns aluviões e depósitos de cascalheira.

Surgem também, numa vasta área, afloramentos de rochas das séries cristalofílicas, azóicas, de idade indeterminada, como é o caso dos micaxistos, rochas verdes, quartzitos, leptinitos, calcários e dolomitos.

Uma parte significativa da área é ocupada por gnaisses, granitóides e migmatitos, os quais apresentam normalmente uma foliação bem definida. A estes, surgem muitas vezes associadas corneanas, muito em especial corneanas calcíticas ou calco-silicatadas, embora existam também corneanas pelíticas e mais raramente corneanas do tipo básico.

Mas, são as rochas granitóides não orientadas que representam a maior parte das rochas eruptivas da região, como os granitos calco-alcalinos e quartzodioritos, sendo que estes se podem dividir petrograficamente em:

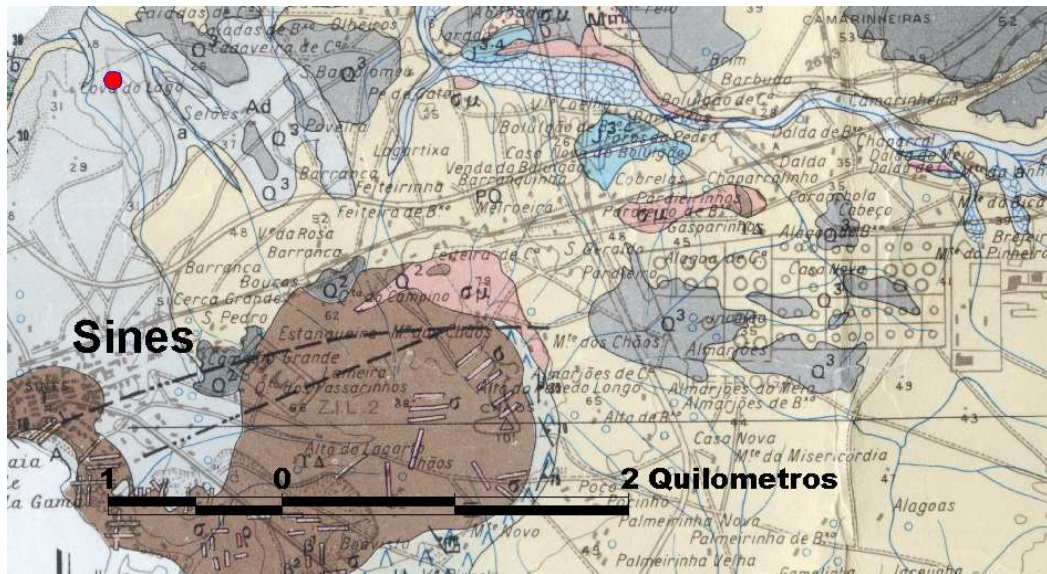
- Granito porfiróide de grão grosseiro a médio;
- Granito de grão fino não porfiróide;
- Quartzodiorito e granodiorito porfiróide de grão grosseiro a médio;
- Quartzodiorito e granodiorito de grão fino, não porfiróide;
- Quartzodiorito e granodiorito de grão médio, não porfiróide.

É neste último tipo de afloramento que se encontra a exploração pertencente à Granialpa da qual foi recolhida a amostra de material granítico (G1) que posteriormente deu origem às amostras G2 e G3.

A recolha das amostras de areias, foi efectuada numa propriedade junto à vila de Sines, onde à superfície se encontram vastas áreas de dunas do Holocénico. Na região, surgem ainda vários depósitos de cascalheiras e areias pertencentes ao Plio-Plistocénico, sobre os quais surgem vários níveis de areias e cascalheiras em terraços do Plistocénico.

Em zonas mais próximas da costa, surgem várias rochas filonianas, tais como, Basaltos, Microgabros, Traquitos, Microsienitos, Microgranitos, entre outros.

Na figura 4, retirada da carta geológica de Portugal, folha 42 C, pode ver-se o local de recolha das amostras assinalado com um ponto de cor Vermelha.



Legenda

a	Aluviões	}	Holocénico
Ad, d, A	Areias de dunas (Ad), dunas (d), e areias de praia (A)		
Q ⁴	Nível de praia e de terraços de 15-20 m	}	Plistocénico
Q ³	Nível de praia e de terraços de 30-40 m		
Q ²	Nível de praia e de terraços de 60-70 m		
Q ¹	Nível de praia e de terraços de 90-100 m		
PQ' PQ	Cascalheiras e areias dos planaltos (PQ') Areias com seixos da planície litoral (PQ)	}	Plio-Plistocénico

Figura 5 – Imagem digitalizada de parte da Carta Geológica de Portugal folha 42 C (Santiago do Cacém) com a localização do ponto de recolha da amostra A1 e A2.

5. Recolha das amostras

Para a elaboração deste trabalho, como já referido anteriormente, foi recolhida uma amostra de material granítico e duas amostras de areia.

A amostra de material granítico foi recolhida na pedreira da Granialpa, dedicada a exploração de rocha ornamental granítica da qual resulta um grande volume de material rejeitado, que é normalmente depositado em escombreira, juntamente com outros materiais como lamas e terras de cobertura. Com o intuito de evitar penalizar a exploração, foi feita a recolha da amostra directamente há boca da pedreira, evitando desta forma, a mobilização de equipamentos propositadamente para a sua recolha. Assim, aproveitando os trabalhos de remoção de alguns volumes superficiais, demasiado fracturados para serem aproveitados na exploração ornamental, recolheu-se uma amostra de aproximadamente 2,5 toneladas.

Importa ainda referir, que este material foi desmontado recorrendo à utilização de explosivos, método que apenas é utilizado esporadicamente na exploração.

A amostra de material granítico, de forma a ser o mais representativa possível do material explorado como rocha ornamental, foi obtida a partir da colheita de material rochoso de vários pontos das frentes de desmonte da pedreira.

Esta amostra foi posteriormente encaminhada para uma britadeira, onde foi sujeita a um processo de britagem. Após este processo de fragmentação, foi possível colher duas amostras, uma com material de granulometria extensa ("*tout-venant*"), e outra com material de dimensões semelhantes a um balastro (> 25,00 mm).

Assim, foi recolhida uma amostra de "*tout-venant*" de aproximadamente 200 kg que se denominou de G3, e uma amostra de balastro de aproximadamente 150 kg que se denominou de G2, Esta última amostra foi recolhida com o intuito de completar, no que refere a material de maiores dimensões, alguns provetes como foi o caso de alguns dos provetes submetidos ao desgaste pela máquina de Los Angeles.

O segundo tipo de amostra, compreende duas areias recolhidas numa propriedade junto ao parque industrial de Sines.

Neste local, foram recolhidas para sacos de plástico, duas amostras de areia que foram denominadas de Areia 1 (mais fina) e areia 2 (mais grosseira) com 60kg e 70kg respectivamente. As referidas amostras foram recolhidas em locais que aparentavam ter sofrido pouca ou nenhuma alteração causada por anteriores explorações.

6. Normas Portuguesas versus normas Europeias

6.1. Análise Granulométrica

6.1.1. Norma Portuguesa

Após a preparação dos provetes, estes foram sujeitos ao ensaio de granulometria segundo a especificação normativa LNEC E 233-1969.

Este ensaio consiste na separação das partículas que constituem o provete em função da sua dimensão. Desta forma, faz-se passar o provete por uma bateria de peneiros sobrepostos ordenados pela dimensão das suas malhas, de forma em que o de maior malha fica no topo e o de menor na base. Assim, coloca-se o provete no topo da bateria e, com o auxílio de um "chuveiro", procede-se à lavagem do material fazendo com que todo o material de dimensão inferior à malha do peneiro que está no topo passe para os peneiros inferiores. Este procedimento é repetido para cada um dos peneiros ficando retido todo o material de dimensão igual ou superior a 0,074 milímetros. O restante material (constituído pelo conjunto de partículas e dimensão inferior a 0,074 milímetros), fica retido no recipiente de fundo ou acaba por se perder juntamente com a água de lavagem.

Separado todo o material do provete nas diversas fracções granulométricas, coloca-se numa estufa ventilada onde permanece 24 horas a uma temperatura de aproximadamente 105°C.

Após esta secagem, as fracções granulométricas, já secas, são colocados num excicador de forma a atingirem a temperatura ambiente sem absorverem humidade da atmosfera. Quando atingem a temperatura ambiente procede-se à sua pesagem, fracção a fracção, registando-se as respectivas massas.

Para a execução deste ensaio foram preparados três provetes, NP-G3-G, NP-A1-G e NP-A2-G, obtidos por redução por esquartelamento das amostras G3, A1 e A2, respectivamente.

Foi efectuada uma granulometria por via húmida, razão pela qual, parte do material acaba por se perder, uma vez que o material de dimensão inferior a 0,074 milímetros passa por todos os peneiros, acabando por se perder juntamente com a água de lavagem.

Foi escolhido este método por via húmida em detrimento do método por via seca, dado que assim se garante a desagregação dos finos aglomerados em torno das partículas mais grosseiras.

Os resultados obtidos em cada um dos ensaios realizados são apresentados nos quadros 1, 2 e 3, enquanto nos gráficos 1, 2 e 3, se representam as correspondentes curvas de distribuição granulométrica.

Para além dos valores registados nos referidos quadros foram também determinados o diâmetro médio (D_{50}), o diâmetro efectivo (D_{10}), o diâmetro efectivo 60 (D_{60}), diâmetro efectivo 30 (D_{30}), o coeficiente de curvatura (C_c) e ainda o coeficiente de uniformidade (C_u). Sendo estes valores obtidos a partir da curva granulométrica, temos:

- D_{50} - diâmetro efectivo corresponde à percentagem de 50 % do material que passa;
- D_{10} - diâmetro efectivo corresponde à percentagem de 10 % do material que passa;
- D_{60} - diâmetro efectivo corresponde à percentagem de 60 % do material que passa;
- D_{30} - diâmetro efectivo corresponde à percentagem de 30 % do material que passa;
- C_u - coeficiente de uniformidade corresponde à razão entre D_{60} e D_{10} ;

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

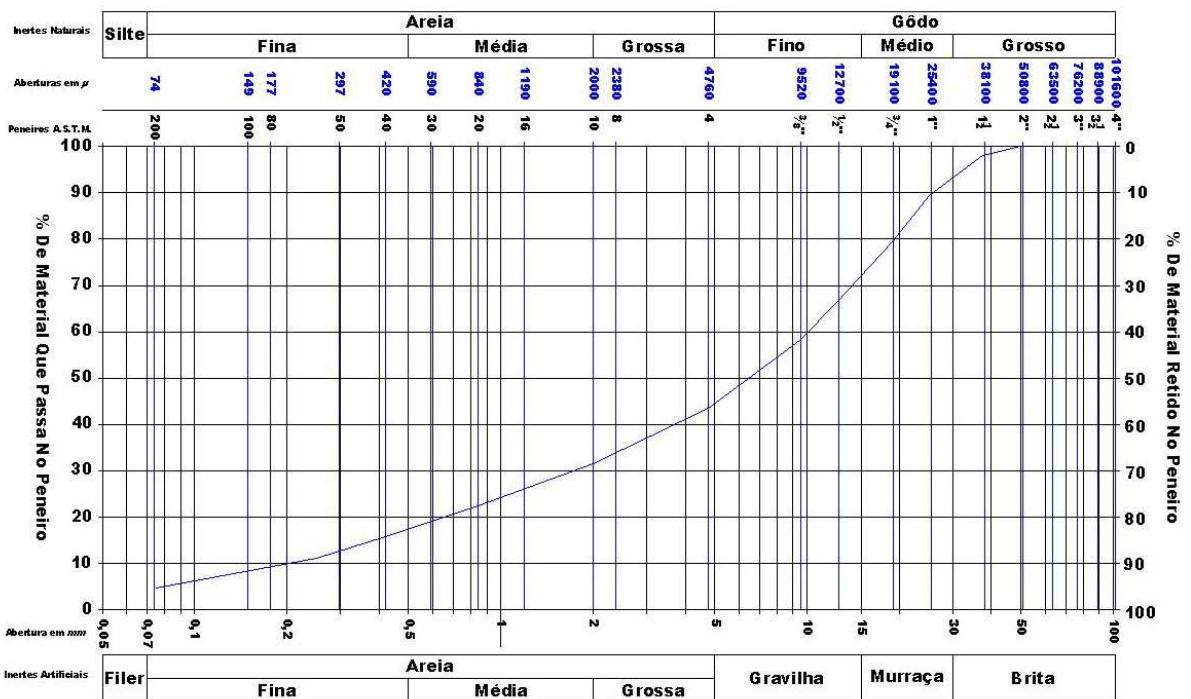
- C_c - coeficiente de curvatura é calculado pela aplicação da seguinte fórmula.

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Estes valores, para cada um dos provetes, encontram-se especificados junto aos respectivos gráficos de cada uma das análises granulométricas.

Quadro 1 - Resultados dos cálculos e registos das massas, para a análise granulométrica da amostra NP- G3- G, referente ao ensaio efectuado segundo a norma portuguesa.

Amostra NP-G3-G				
Peneiros	Massa retida (g)	Material Retido Percentagem		Material Passado Percentagem Acumulada
		Simples	Acumulada	
90,5 mm	0,00	0,0	0,0	100,0
76,1 mm	0,00	0,0	0,0	100,0
63 mm (2"1/2)	0,00	0,0	0,0	100,0
50,8 mm (2")	0,00	0,0	0,0	100,0
38,1 mm (1"1/2)	278,24	2,0	2,0	98,0
25,4 mm (1")	1222,16	8,6	10,5	89,5
19,0 mm (3/4")	1420,86	10,0	20,5	79,5
12,7 mm (1/2")	1882,24	13,2	33,7	66,3
9,51 mm (3/8")	1160,83	8,1	41,8	58,2
4,76 mm (N. 4)	2093,34	14,7	56,5	43,5
2,00mm (N. 10)	1709,78	12,0	68,5	31,5
0,841mm (N. 20)	1299,33	9,1	77,6	22,4
0,420mm (N. 40)	938,72	6,6	84,2	15,8
0,250mm (N. 80)	668,84	4,7	88,9	11,1
0,074mm (N.200)	917,84	6,4	95,3	4,7
-----	667,01	4,7	100,0	----
Somatório	14259,19	100,0		

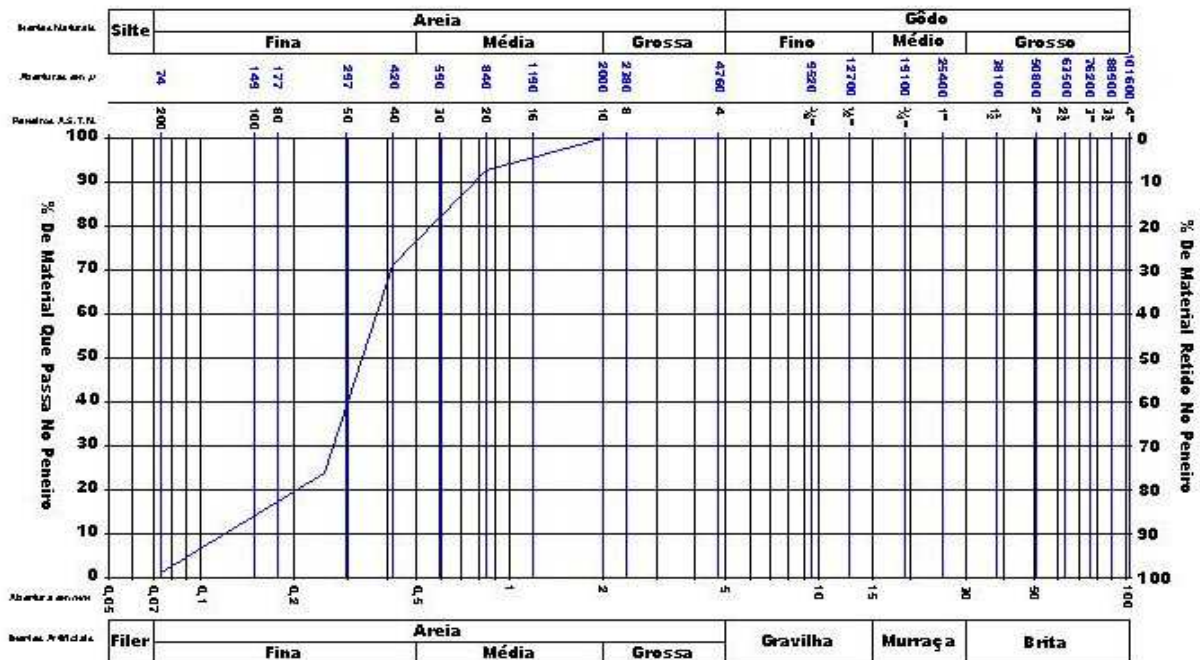


$D_{10} = 0,20$ mm $D_{30} = 1,8$ mm $D_{50} = 6,41$ mm
 $D_{60} = 10,15$ mm $C_u = 50,75$ $C_c = 1,60$

Gráfico 1 - Representação da curva da análise granulométrica da amostra NP-G3-G referente ao ensaio efectuado segundo a norma portuguesa.

Quadro 2 - Resultados dos cálculos e registos das massas, para a análise granulométrica da amostra NP-A1-G, referente ao ensaio efectuado segundo a norma portuguesa.

Amostra NP-A1-G				
Peneiros	Massa retida (g)	Material Retido Percentagem		Material Passado Percentagem Acumulada
		Simplex	Acumulada	
90,5 mm	0,00	0,0	0,0	100,0
76,1 mm	0,00	0,0	0,0	100,0
63 mm (2"1/2)	0,00	0,0	0,0	100,0
50,8 mm (2")	0,00	0,0	0,0	100,0
38,1 mm (1"1/2)	0,00	0,0	0,0	100,0
25,4 mm (1")	0,00	0,0	0,0	100,0
19,0 mm (3/4")	0,00	0,0	0,0	100,0
12,7 mm (1/2")	0,00	0,0	0,0	100,0
9,51 mm (3/8")	0,00	0,0	0,0	100,0
4,76 mm (N. 4)	0,00	0,0	0,0	100,0
2,00mm (N. 10)	0,51	0,1	0,1	99,9
0,841mm (N. 20)	44,33	7,2	7,3	92,7
0,420mm (N. 40)	133,87	21,7	28,9	71,1
0,250mm (N. 80)	292,44	47,4	76,3	23,7
0,074mm (N.200)	138,79	22,5	98,8	1,2
-----	7,46	1,2	100,0	0,0
Somatório	617,40	100,0		



D₁₀ = 0,12 mm
D₆₀ = 0,37 mm

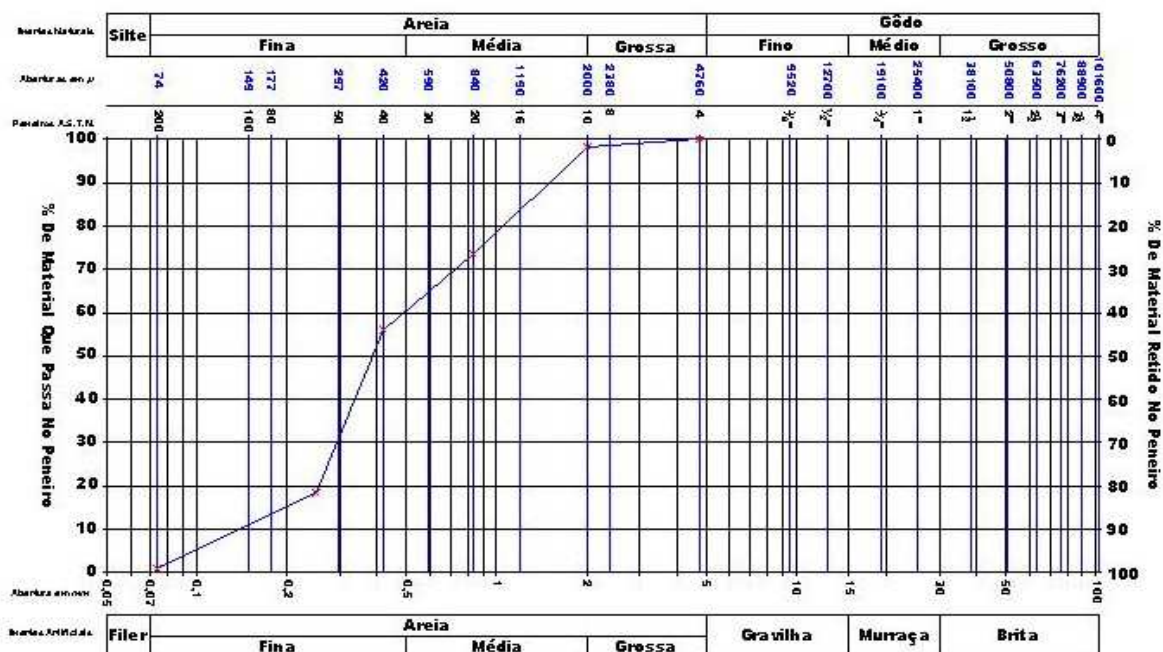
D₃₀ = 0,28 mm
Cu = 3,08

D₅₀ = 0,33 mm
C_c = 1,74

Gráfico 2 – Representação da curva da análise granulométrica da amostra NP-A1-G referente ao ensaio efectuado segundo a norma portuguesa.

Quadro 3 - Resultados dos cálculos e registos das massas, para a análise granulométrica da amostra NP-A2-G, referente ao ensaio efectuado segundo a norma portuguesa

Amostra NP-A2-G				
Peneiros	Massa retida (g)	Material Retido Percentagem		Material Passado Percentagem Acumulada
		Simples	Acumulada	
90,5 mm	0,00	0,0	0,0	100,0
76,1 mm	0,00	0,0	0,0	100,0
63 mm (2"1/2)	0,00	0,0	0,0	100,0
50,8 mm (2")	0,00	0,0	0,0	100,0
38,1 mm (1"1/2)	0,00	0,0	0,0	100,0
25,4 mm (1")	0,00	0,0	0,0	100,0
19,0 mm (3/4")	0,00	0,0	0,0	100,0
12,7 mm (1/2")	0,00	0,0	0,0	100,0
9,51 mm (3/8")	0,00	0,0	0,0	100,0
4,76 mm (N. 4)	0,00	0,0	0,0	100,0
2,00mm (N. 10)	12,44	1,8	1,8	98,2
0,841mm (N. 20)	171,71	24,7	26,5	73,5
0,420mm (N. 40)	122,49	17,6	44,1	55,9
0,250mm (N. 80)	261,53	37,6	81,7	18,3
0,074mm (N.200)	121,56	17,5	99,1	0,9
-----	6,00	0,9	100,0	0,0
Somatório	695,73	100,0		



D₁₀ = 0,14 mm
D₆₀ = 0,49 mm

D₃₀ = 0,29mm
Cu = 3,50

D₅₀ = 0,39 mm
C_c = 1,23

Gráfico 3 – Representação da curva da análise granulométrica da amostra NP-A2-G referente ao ensaio efectuado segundo a norma portuguesa

6.1.2. Norma Europeia

Para a execução destes ensaios foram seguidas as normas NP-EN-933-1 /2000 e a NP-EN-933-2/1999.

A segunda norma estabelece, grosso modo, apenas o número de peneiros e as respectivas malhas a utilizar na execução deste ensaio.

É a primeira norma que estabelece o método de ensaio propriamente dito. Nele se define de que modo se promove a separação das partículas que compõem o provete por intervalos de calibres, ou seja por intervalos de dimensão, fazendo passar a amostra por uma bateria de peneiros, na qual a dimensão da abertura das malhas vai diminuindo à medida que o provete desce na bateria. A peneiração faz com que o material fique retido nos diferentes peneiros consoante a sua dimensão. O material retido em cada peneiro é colocado em recipiente de peso conhecido, e levado a uma estufa onde permanece 24 horas a uma temperatura de mais ou menos 105°C, para obtenção do peso constante, sendo posteriormente retirados e colocados num excicador, de forma a atingirem a temperatura ambiente sem absorverem água da atmosfera. Uma vez arrefecidos são pesados registando-se as suas massas.

Com o intuito de facilitar o ensaio, no caso em que o provete tem elevada concentração de finos, este é previamente mergulhado durante algum tempo em água de forma a libertar as partículas mais finas, antes de realizar a peneiração. Desta forma, ao passarmos a água pelo peneiro de 0,063 milímetros ela irá arrastar consigo as partículas mais finas.

Tal como no caso dos provetes sujeitos a ensaio segundo a norma portuguesa, também no caso da norma europeia, os provetes foram obtidos por esquartelamento das respectivas amostras.

À semelhança do referido para o ensaio segundo a norma portuguesa, também para a norma europeia foram criados três provetes, EN-G3-G, EN-A1-G e EN A2-G, correspondendo, respectivamente, às amostras G3, Areia 1 e Areia 2.

Tal como nos casos das granulometrias segundo a norma portuguesa, e pelos mesmos motivos, optou-se por efectuar os ensaios por via húmida.

Nos quadros 4, 5 e 6 e nos gráficos 4, 5 e 6 podem observar-se os resultados e as suas respectivas representações gráficas, obtidos para cada uma das amostras.

No caso da norma europeia foi calculado ainda o teor em finos, por aplicação da seguinte fórmula.

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100$$

Onde:

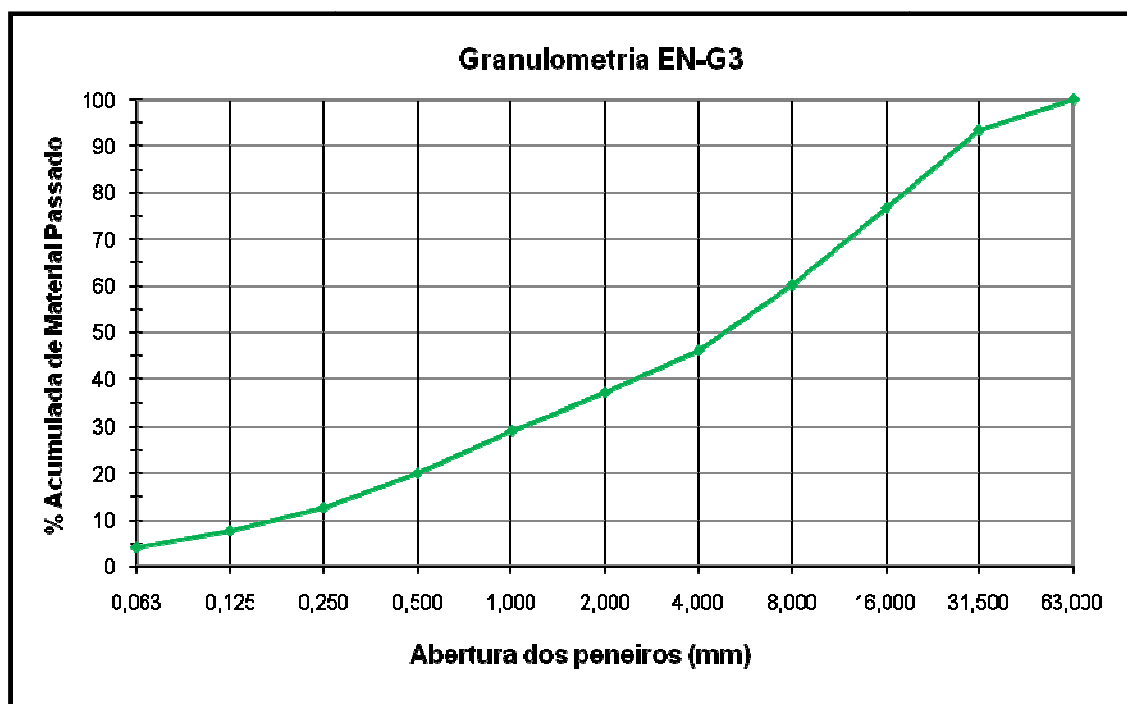
- M_1 é a massa seca do provete de ensaio, em quilogramas;
- M_2 é a massa seca do material com granulometria superior a 63 μm , em quilogramas;
- P é a massa do material peneirado retido no recipiente de fundo, em quilogramas.

Os resultados obtidos para cada um destes valores são indicados para cada provete junto dos seus respectivos gráficos.

Quadro 4 - Resultados dos cálculos e registos das massas, para a análise granulométrica da amostra EN-G3-G, referente ao ensaio efectuado segundo a norma europeia

Massa inicial (M_1)	12456,93	(g)
-------------------------	----------	-----

Granulometria EN-G3-G				
Fracção	Massa	Retido (%)		Passado (%)
		Simples	Acumulada	
63,000	0,00	0,0	0,0	100,0
31,500	825,17	6,6	6,6	93,4
16,000	2073,17	16,6	23,3	76,7
8,000	2076,63	16,7	39,9	60,1
4,000	1728,94	13,9	53,8	46,2
2,000	1126,90	9,0	62,9	37,1
1,000	1016,28	8,2	71,0	29,0
0,500	1100,45	8,8	79,9	20,1
0,250	929,81	7,5	87,3	12,7
0,125	618,33	5,0	92,3	7,7
0,063	441,31	3,5	95,8	4,2
< 0,063	519,94	---	---	---



$M_1 = 12,457 \text{ kg}$

$M_2 = 11,937 \text{ kg}$

$P = 0,519 \text{ kg}$

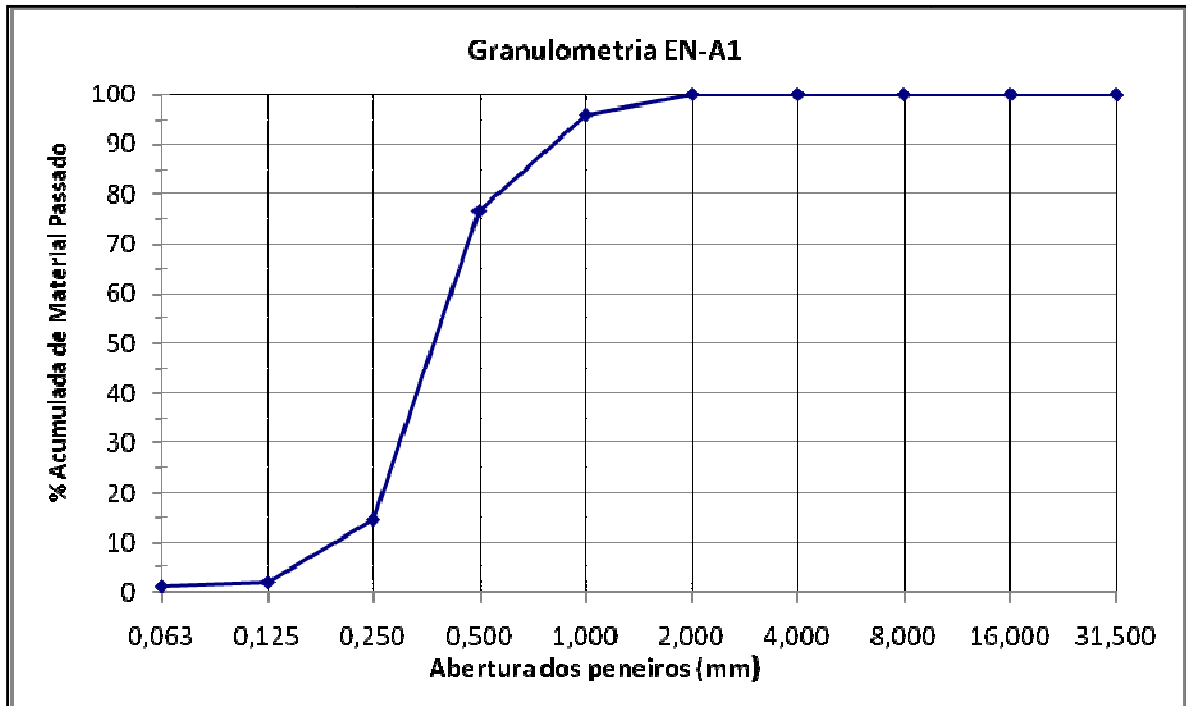
$f = 8,34\%$

Gráfico 4 – Representação da curva da análise granulométrica da amostra EN-G3-G referente ao ensaio efectuado segundo a norma europeia.

Quadro 5 - Resultados dos cálculos e registos das massas, para a análise granulométrica da amostra EN-A1-G, referente ao ensaio efectuado segundo a norma europeia

Massa inicial (M_1)	1369,59 (g)
-------------------------	-------------

Granulometria EN-A1				
Fracção	Massa	Retido (%)		Passado (%)
		Simples	Acumulada	
31,500	0,00	0,0	0,0	100,0
16,000	0,00	0,0	0,0	100,0
8,000	0,00	0,0	0,0	100,0
4,000	0,00	0,0	0,0	100,0
2,000	0,85	0,1	0,1	99,9
1,000	57,36	4,2	4,3	95,7
0,500	262,10	19,1	23,4	76,6
0,250	850,46	62,1	85,5	14,5
0,125	170,62	12,5	97,9	2,1
0,063	11,38	0,8	98,8	1,2
< 0,063	16,82	---	---	---



$f = 2,48\%$

$M_1 = 1,370 \text{ kg}$

$M_2 = 1,353 \text{ kg}$

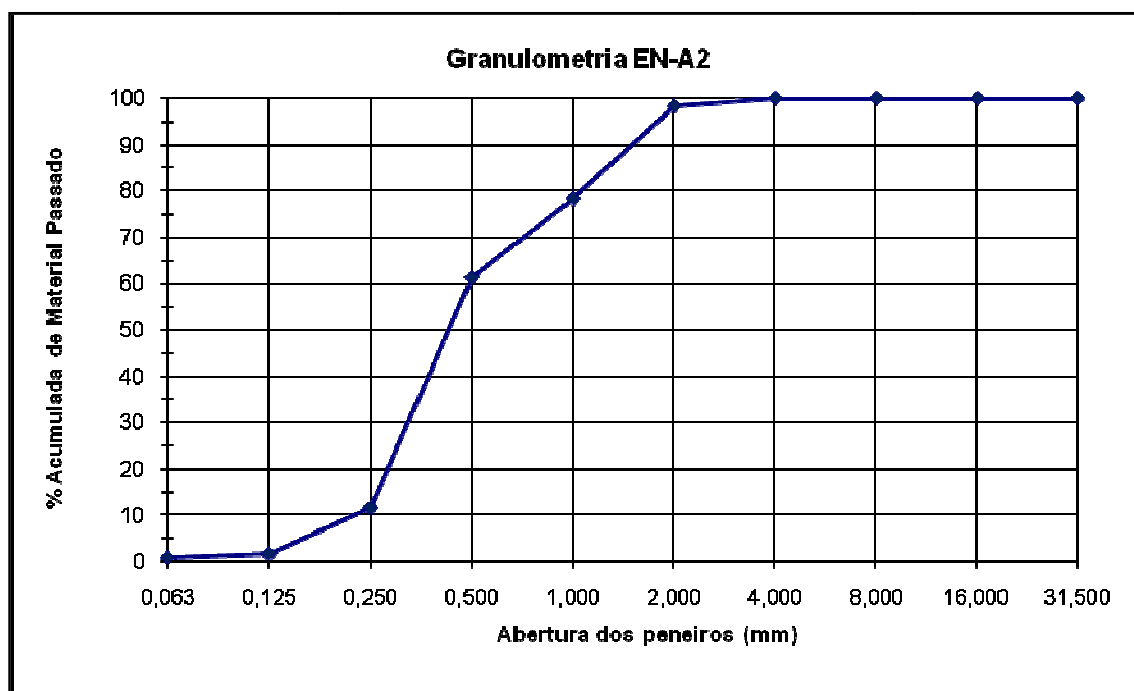
$P = 0,017 \text{ kg}$

Gráfico 5 – Representação da curva da análise granulométrica da amostra EN-A1-G referente ao ensaio efectuado segundo a norma europeia.

Quadro 6 - Resultados dos cálculos e registos das massas, para a análise granulométrica da amostra EN-A2-G, referente ao ensaio efectuado segundo a norma europeia

Massa inicial (M_1)	1711,55 (g)
-------------------------	-------------

Granulometria EN-A2				
Fracção	Massa	Retido (%)		Passado (%)
		Simples	Acumulada	
31,500	0,00	0,0	0,0	100,0
16,000	0,00	0,0	0,0	100,0
8,000	0,00	0,0	0,0	100,0
4,000	0,18	0,0	0,0	100,0
2,000	31,60	1,8	1,9	98,1
1,000	342,07	20,0	21,8	78,2
0,500	289,22	16,9	38,7	61,3
0,250	853,34	49,9	88,6	11,4
0,125	168,31	9,8	98,4	1,6
0,063	13,58	0,8	99,2	0,8
< 0,063	13,25	---	---	---



$M_1 = 1,712 \text{ kg}$

$M_2 = 1,698 \text{ kg}$

$P = 0,013 \text{ kg}$

$f = 1,57\%$

Gráfico 6 – Representação da curva da análise granulométrica da amostra EN-A2-G referente ao ensaio efectuado segundo a norma europeia.

6.1.3. Comparação entre a norma Portuguesa e a norma Europeia

Existem inúmeras diferenças entre estas duas normas que, quando comparadas, se tornam evidentes. A primeira diferença refere-se às aberturas das malhas dos peneiros, bem como ao número de peneiros utilizados. No caso da Norma Portuguesa, foram utilizados 12 peneiros, enquanto, segundo a Norma Europeia apenas foram utilizados 11 peneiros. Porém há que ter em consideração que, para o caso da norma europeia, poderão existir mais peneiros dependendo, entre outros factores, das amostras, da sua aplicação e dos cadernos de encargos que estejam a ser seguidos. Na realidade, a bateria base aqui utilizada, poderá vir a ser complementada com peneiros de outras séries. (Exemplo ver NP EN 12620 capítulo 4.2- Dimensões do agregado)

Outra diferença importante refere-se às características das malhas utilizadas. Enquanto na norma NP todos os peneiros são de malha quadrada em arame entrançado, na norma EN os peneiros são de dois tipos. Os primeiros de malha com abertura de dimensão inferior a 4,00 milímetros são idênticos aos utilizados na

norma NP, sendo os de malha com abertura de dimensão igual ou superior a 4,00 milímetros, de chapa perfurada, mantendo-se a abertura com forma quadrada, tal como se pode ver na imagem 1.

Os peneiros de chapa perfurada, são mais resistentes e deformam-se com mais dificuldade, característica que nos dá uma maior segurança nos resultados obtidos.



Figura 6 – À esquerda um peneiro da série ASTM utilizado nos ensaios segundo as normas portuguesas. À direita um peneiro de chapa perfurada utilizado nas novas normas europeias.

No caso dos provetes ensaiados, os resultados não são significativamente diferentes. Para uma melhor comparação representou-se num gráfico semi-logarítmico os resultados obtidos segundo a norma europeia. Como se pode ver no gráfico 7, a curva a vermelho, correspondente ao provete ensaiado segundo a norma EN, tem uma distribuição semelhante à do provete ensaiado segundo a norma portuguesa, representada a azul.

De facto, as diferenças que se registaram serão devidas, por um lado, às diferenças dos provetes, pois muito embora todos os provetes de cada amostra tenham sido obtidos por esquartelamento, existem sempre diferenças entre eles e, por outro lado, devido ao facto de os peneiros dos extremos das baterias de peneiros serem diferentes. Por exemplo; segundo a norma portuguesa para a amostra G3 o peneiro de menor dimensão onde passa 100% do material é o de 50,8 milímetros, ao passo que para a norma europeia passa a ser o peneiro de 63,00 milímetros. Isto faz com que a representação da curva granulométrica seja mais estirada neste extremo.

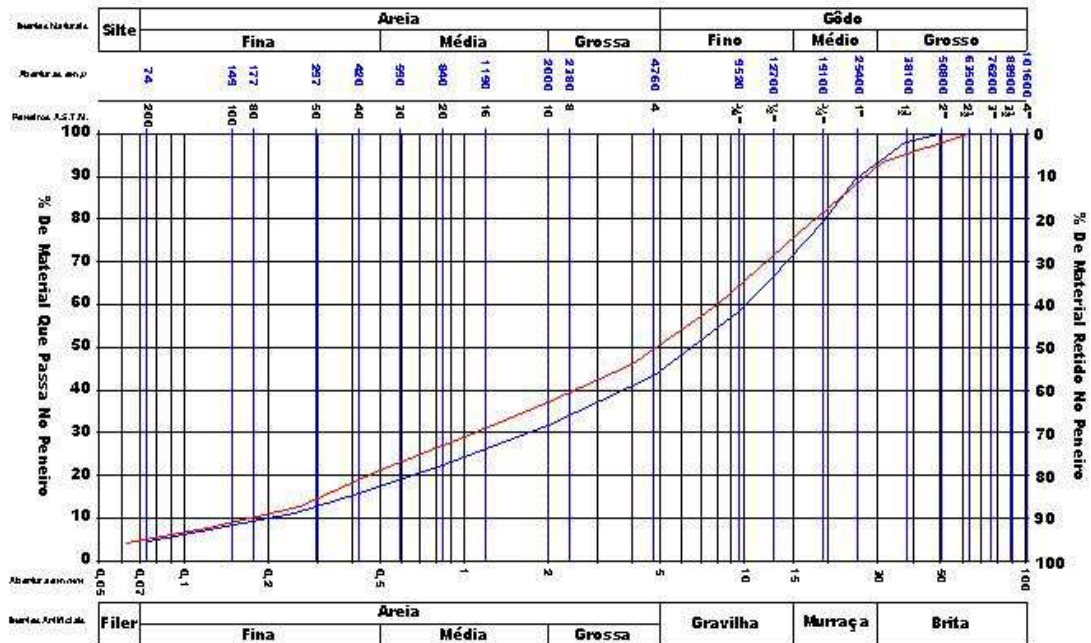


Gráfico 7 – Representação das curvas granulométricas das amostras NP-G3-G e EN-G3-G sobre o gráfico semi-logarítmico correspondente à norma portuguesa.

Outro dos factores que pode eventualmente afectar os resultados prende-se com o tipo de peneiro utilizado, ou seja, com o facto de se utilizar chapa perfurada ou malha de rede de arame. Efectivamente, o facto de os peneiros de chapa perfurada possuírem menos aberturas que os outros, pode dificultar mais a passagem das partículas que têm dimensão inferior à das aberturas da malha, o que fará com que a massa retida nesses peneiros possa ser ligeiramente superior ao que deveria ser na realidade. Por este motivo a norma europeia estabelece no número 4, uma nota que indica: “ **Os peneiros de tela de arame de 4mm e mais poderão ser utilizados caso se possa estabelecer uma correlação com os resultados obtidos utilizando peneiros de chapa perfurada. Em caso de divergências deve de ser efectuado um ensaio utilizando peneiros de chapa perfurada**” In NP EN 933-2 1999.

No anexo I pode observar-se mais alguns exemplos com as representações de todos os ensaios realizados sobrepostos nos gráficos das normas portuguesas.

6.2. Ensaio de Equivalente de Areia

6.2.1. Norma Portuguesa

Para a execução deste ensaio foi seguida a especificação E199-1967 do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Este ensaio é realizado sobre dois provetes de 120 gramas de uma mesma amostra, pelo que foi necessário preparar uma toma da amostra com uma massa tal, que permitisse obter 500 gramas de material passado no peneiro de 4,76 milímetros, tendo o cuidado de fazer a desagregação das partículas, sem reduzir o seu tamanho natural, aquando do corte a 4,76 milímetros.

Obtida esta sub-amostra de 500 gramas procedeu-se à determinação do seu teor de humidade de forma a permitir preparar dois provetes que correspondessem a 120 gramas de material seco.

Uma vez preparados os provetes, para cada um deles procede-se ao enchimento da proveta de ensaio, até à primeira marca, com solução de equivalente de areia previamente preparada. Verte-se o provete de 120 gramas com o auxílio de um funil, para que não se perca material, e bate-se o fundo da proveta com a palma da mão, a fim de libertar as bolhas de ar na amostra.

Depois de se deixar repousar durante 10 minutos, tapa-se a proveta de ensaio com uma rolha de borracha e agita-se a proveta. Esta agitação é feita durante 30 segundos, nos quais a proveta deverá ser sujeita a 90 ciclos de agitação.

Retira-se a rolha de proveta, com o cuidado de não perder material, lavando a rolha de borracha para dentro da proveta com o auxílio do tubo de lavagem. Lavam-se as paredes da proveta de cima para baixo e introduz-se o tubo de lavagem até ao fundo da proveta. Com movimentos ascendentes e descendentes remexe-se a amostra de modo a libertar as partículas mais finas. Quando a solução se aproxima da marca superior da proveta retira-se o tubo de lavagem lentamente, sem que o fluxo de solução pare de ser vertido, antes do tubo ser totalmente retirado.

Deixa-se repousar a proveta durante 20 minutos, após os quais se podem medir as alturas h_1 , h_2 e h_{2V} .

onde:

- h_1 é a distância entre a base da proveta e ao topo da suspensão;
- h_2 é a altura de sedimentos depositados no fundo da proveta medida com o auxílio de um pistão;
- h_{2V} é a altura de sedimentos depositados no fundo da proveta medida com uma régua.

Todo este procedimento é repetido para o segundo provete.

Para este estudo foram preparadas três amostras, que deram origem a dois provetes de ensaio, cada uma. Os resultados obtidos para os provetes ensaiados encontram-se no quadro 7, assim como os valores das variáveis associadas a cada equipamento.

Quadro 7 – Registo das massas e dos resultados dos cálculos efectuados na execução do ensaio de equivalente de areia, segundo a norma portuguesa, para as amostras G3, A1 e A2.

Equivalente de Areia								
Amostra	Massa Amostra (g)	Proveta	K (cm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_{2V} (mm)	E.A.	E.A.V.
G3A-EA	120,05	A	5,80	114	75	84	66	74
G3B-EA	120,02	B	5,75	108	74	81	69	75
A1A-EA	120,30	A	5,80	95	88	90	93	95
A1B-EA	120,40	B	5,75	98	89	92	91	94
A2A-EA	120,07	A	5,80	92	84	89	91	97
A2B-EA	120,02	B	5,75	93	85	89	91	96

Desta forma, o valor de Equivalente de Areia para cada uma das amostras, resulta da média dos provetes ensaiados:

- E.A. (NP-G3-EA) = 68

- E.A. (NP-A1-EA) = 92

- E.A. (NP-A2-EA) = 91

E os correspondentes valores de Equivalente de Areia visual serão:

- E.A.V. (NP-G3-EA) = 74,5

- E.A.V. (NP-A1-EA) = 94,5

- E.A.V. (NP-A2-EA) = 96,5

Como seria de esperar, tanto os valores de E.A. como os de E.A.V., são significativamente superiores nas amostras A1 e A2 comparativamente à amostra G3. Isto porque as primeiras são areias e a amostra G3 é de um agregado britado de granulometria extensa.

Ainda assim, os valores para a amostra G3 revelaram-se mais elevados do que o esperado, tendo em atenção o valor da percentagem de finos observada na sua distribuição granulométrica.

6.2.2. Norma Europeia

Este ensaio foi executado segundo a norma EN 933-8. Nela são especificadas duas possibilidades de ensaio, diferindo ambas na granulometria do material a ensaiar. No caso mais comum deverá ser submetido a ensaio um provete de material com granulometria inferior a 2,00 milímetros. Mas no anexo A da referida norma são indicadas as condições para que o ensaio se realize com a fracção 0 a 4,00 milímetros.

Para este estudo, as três amostras iniciais foram sujeitas aos dois tipos de procedimento. No entanto, para cada uma das amostras, foram ensaiados quatro provetes com material abaixo de 2,00 milímetros e apenas dois com material abaixo de 4,00 milímetros.

Sendo os dois procedimentos muito semelhantes, optou-se por fazer apenas uma breve descrição do procedimento aplicado aos provetes com material inferior a 2,00 milímetros.

Assim, para a execução do ensaio são preparados dois provetes de material inferior a 2 milímetros, de tal forma que o seu peso seco corresponda a 120 gramas. No

entanto o provete nunca deverá ser seco em estufa, pois no momento do ensaio, deverá ter um teor de humidade inferior a 2% mas nunca igual a zero.

Coloca-se o provete dentro de uma proveta contendo solução até à primeira marca. Bate-se o fundo com a palma da mão de forma a libertar as bolhas de ar e facilitar a impregnação da amostra. Deixa-se repousar durante 10 minutos, tempo após o qual se submete a proveta a uma agitação de 90 ciclos durante 30 segundos. Lava-se a tampa e as paredes da proveta tendo o cuidado de não perder material com o auxílio do tubo de lavagem. Introduce-se o tubo de lavagem até ao fundo da proveta em movimentos de subida e descida de forma a libertar as partículas mais finas da amostra. Repete-se este procedimento até que a solução atinja a marca superior da proveta.

Após repousar durante 20 minutos procedesse à leitura de h_1 e h_2 , onde:

- h_1 é a altura da suspensão medida desde a base da proveta.
- h_2 é a altura de sedimentos depositados medida com o auxílio de um pistão.

Todo este procedimento é repetido para a segunda proveta de forma a permitir uma comparação entre os resultados que não deverão diferir mais de 4%.

Importa salientar que estes ensaios foram executados recorrendo aos mesmos equipamentos utilizados na norma portuguesa, visto as especificações referentes aos novos equipamentos apenas serem diferentes no que diz respeito à ponteira do tubo de lavagem.

Os resultados obtidos, bem como algumas das medições efectuadas no decorrer dos ensaios constam do quadro 8.

Os equipamentos, são iguais aos utilizados na norma portuguesa. Mas neste caso os valores de h_2 apresentados no quadro 8, ainda não englobam as correcções, correspondentes aos valores de K do pistão, associados a cada um dos equipamentos de ensaio utilizados.

Quadro 8 – Registo das massas e dos resultados dos cálculos efectuados na execução do ensaio de equivalente de areia, segundo a norma europeia, para as amostras G3, A1 e A2.

Referência	Fracção	Massa seca (g)	Massa Húmida (g)	Teor de Humidade (%)	Proveta	K	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	E.A.	Médias
EN-G3A-EA	< 2	120	120,19	0,16	A	58,0	140	134	54	56
EN-G3B-EA	< 2	120	120,19	0,16	B	57,5	136	135	57	
EN-G3C-EA	< 2	120	120,18	0,15	A	58,0	135	134	56	
EN-G3D-EA	< 2	120	120,18	0,15	B	57,5	134	132	56	
EN-G3E-EA	< 4	120	121,16	0,96	A	58,0	123	131	59	59
EN-G3F-EA	< 4	120	120,18	0,15	B	57,5	125	131	59	
EN-A1A-EA	< 2	120	122,42	1,98	A	58,0	100	144	86	85
EN-A1B-EA	< 2	120	122,35	1,92	B	57,5	102	144	85	
EN-A1C-EA	< 2	120	120,72	0,60	A	58,0	99	141	84	
EN-A1D-EA	< 2	120	120,72	0,60	B	57,5	100	142	85	
EN-A1E-EA	< 4	120	120,72	0,60	A	58,0	100	147	89	89
EN-A1F-EA	< 4	120	120,72	0,60	B	57,5	101	148	90	
EN-A2A-EA	< 2	120	121,91	1,57	A	58,0	95	143	89	89
EN-A2B-EA	< 2	120	121,91	1,57	B	57,5	96	144	90	
EN-A2C-EA	< 2	120	121,16	0,96	A	58,0	96	143	89	
EN-A2D-EA	< 2	120	121,16	0,96	B	57,5	96	143	89	
EN-A2E-EA	< 4	120	121,20	0,99	A	58,0	92	143	92	93
EN-A2F-EA	< 4	120	121,20	0,99	B	57,5	91	142	93	

6.2.3. Comparação entre a norma Portuguesa e a norma Europeia

Ao contrário de muitos dos outros ensaios, não se levantaram problemas no que refere à influência dos equipamentos para cada uma das normas, visto serem os mesmos, e, por conseguinte, as variáveis a eles ligadas serem as mesmas.

Mas, o mesmo não se poderá dizer da preparação dos provetes a sujeitar a ensaio, dado que no caso da norma portuguesa, o provete é composto pela fracção 0 a 4,76 milímetros, enquanto, na norma europeia o provete é composto pela fracção 0 a 2,00 milímetros. Mas, tal como em outras das novas normas europeias, também a EN 933-8, no seu anexo A prevê a elaboração do ensaio a outra fracção, que neste caso será 0 a 4,00 milímetros.

Tendo estes factores em conta, seria de esperar que a quantidade de finos existente nos provetes preparados segundo a norma europeia fosse maior e, na realidade, é isto que ocorre, exceptuando o caso dos provetes A2A-EA, A2B-EA (Norma portuguesa), EN-A2E-EA e EN-A2F-EA (Norma europeia). Sendo todos eles

referentes à amostra A2, situação que levou a considerar que pode ter ocorrido algum erro no decorrer do ensaio.

Mas na realidade admite-se que estes valores anómalos se deveram às variações entre os provetes, causadas no momento da repartição da amostra para a criação de cada um deles.

Por outro lado, se tivermos em consideração o ensaio de granulometria feito para a amostra A2, facilmente chegamos à conclusão de que os provetes, para ambas as normas, deveriam de ser muito semelhantes, o que se teria reflectido nos resultados obtidos, não fora o possível problema referido anteriormente. Visto 99,99% do material desta amostra passar no peneiro de quatro milímetros, percebe-se que tanto para a norma portuguesa como para a europeia, os provetes eram compostos por material de dimensão inferior a quatro milímetros.



Figura 7 – Equipamento utilizado na execução dos ensaios de Equivalente de Areia.

6.3. Ensaio de Peso Específico e Absorção de Água dos Inertes

6.3.1. Norma portuguesa

A norma seguida na execução deste ensaio foi a especificação LNEC E. 3-1952.

Esta norma apresenta dois procedimentos, um que se aplica ao material passado no peneiro com malha de 3/8" de abertura, e outro, ao material retido nesse peneiro.

No caso do material retido no peneiro de 3/8", é preparado um provete com cerca de 5 quilogramas, lavando-se a amostra para retirar as impurezas das superfícies das partículas.

Depois de convenientemente seco, em estufa ventilada a uma temperatura aproximada de 105°C durante 24 horas, mergulha-se o provete em água, deixando-o submerso durante 24 horas, tendo o cuidado de o remexer para que as bolhas de ar se libertem das partículas.

As partículas são depois secas na sua superfície, recorrendo a um pano húmido, após o que são pesadas, registando-se a sua massa como p_2 . Estas pesagens são feitas com recurso a uma balança que permita pesagens hidrostáticas. De seguida, e com o cesto devidamente tarado dentro de água, coloca-se o cesto com o provete dentro de água. O valor do peso assim determinado é registado como P_3 .

Finalmente, a amostra é seca em estufa ventilada até peso constante registando-se este valor como P_1 .

As fórmulas a utilizar para determinar cada um dos pesos específicos e a absorção de água pelas partículas são as seguintes:

Para o caso do peso específico das partículas secas (G_s):

$$G_s = \frac{P_1}{P_2 - P_3} \times G_a$$

Onde

- P_1 é o peso no ar do provete seco em gramas;
- P_2 é o peso no ar do provete saturado com a superfície seca, em gramas;

- P_3 é o peso na água do provete saturado, em gramas;
- G_a é o peso específico da água à temperatura a que foi realizado o ensaio, em gramas por centímetro cúbico;

Para o caso do peso específico do material impermeável das partículas (G_h):

$$G_h = \frac{P_1}{P_1 - P_3} \times G_a$$

Para o caso do peso específico das partículas saturadas, com a superfície seca (G'_h):

$$G'_h = \frac{P_2}{P_2 - P_3} \times G_a$$

Na determinação da absorção (a) de água pelas partículas a formula a utilizar é:

$$a = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$

Para ensaiar o material de dimensão inferior a 3/8", é necessário fazer uma preparação prévia do provete. A amostra tem de ser cuidadosamente lavada de forma a separar as partículas maiores dos materiais mais finos, garantindo deste modo que todo o material de dimensão inferior a 3/8" passa no peneiro, sendo recolhido num recipiente de fundo.

Seca-se o material numa estufa ventilada e pesa-se um provete de aproximadamente 1,0 quilogramas. Este é submerso em água durante 24 horas remexendo-se regularmente de modo a libertar as bolhas de ar que possa conter. Retira-se o provete e espalha-se num tabuleiro para permitir uma secagem lenta e regular.

Com o auxílio de um molde tronco-cónico (ver imagem 3) e de um pilão, determina-se o momento em que o material está suficientemente seco para perder a forma quando se retira o molde. Para tal enche-se o molde com o material a ensaiar e com o pilão dão-se 25 pancadas calcando a amostra dentro do molde. Completa-se o molde com material e rasa-se o topo. Retira-se o molde e, se o material não se desmoronar, repete-se o teste esperando previamente que a amostra seque mais

um pouco. Este teste é repetido até que o material tenha um teor de humidade tal que se observe o material a desmoronar, aquando da retirada do molde.



Figura 8 – Picnómetro com tampa e conjunto de pilão e molde tronco-cónico

Pesam-se cerca de 500 gramas de material com este teor de humidade e regista-se como P_1 .

De seguida pesa-se o picnómetro cheio de água e com tampa, garantindo que estes se encontram devidamente secos por fora, e regista-se esta massa como P_2 .

Com o picnómetro com água até cerca de 1/3 da sua capacidade, verte-se o provete para o seu interior, lentamente, e remexe-se de forma a libertar as bolhas de ar. Enche-se o picnómetro com água até ao traço de referência e regista-se a massa do conjunto como P_3 .

Volta-se a retirar o provete do picnómetro e separa-se da água, tendo o cuidado de não perder material. Este é posteriormente seco em estufa ventilada, a aproximadamente 105°C, até peso constante, registando-se a massa seca como P_4 .

Para a determinação dos diferentes pesos específicos são utilizadas as seguintes fórmulas:

Peso específico das partículas secas:

$$G_s = \frac{P_4}{P_1 + P_2 - P_3} \times G_a$$

Onde:

- P_1 é o peso da amostra saturada com a superfície seca, em gramas;
- P_2 é o peso do picnómetro cheio de água, em gramas;
- P_3 é o peso do picnómetro cheio com o provete e água, em gramas;
- P_4 é o peso do provete seco, em gramas;
- G_a é o peso específico da água à temperatura a que foi realizado o ensaio, em gramas por centímetro cúbico.

Peso específico do material impermeável das partículas:

$$G_h = \frac{P_4}{P_4 + P_2 - P_3} \times G_a$$

Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca:

$$G'_h = \frac{P_1}{P_1 + P_2 - P_3} \times G_a$$

Para da determinação da absorção a formula utilizada foi:

$$a = \frac{P_1 - P_4}{P_4} \times 100$$

No caso deste estudo, todas as amostras foram sujeitas a ensaio, sendo que a amostra G3 foi sujeita ao ensaio de material com partículas de dimensão superior e inferior a 3/8", enquanto as amostra A1 e A2, de areias, apenas foram sujeitas a ensaio pela norma referente a material de dimensão inferior a 3/8".

Assim sendo, os provetes NP-G3A1-PE e NP-G3A2-PE representam material de dimensão superior a 3/8", enquanto todos os restantes se referem a material de dimensão infra 3/8".

Nos quadros 9 a 16 podem observar-se todos os registos obtidos no decorrer dos ensaios, assim como os resultados dos cálculos para cada um dos provetes.

Quadro 9 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação dos valores dos pesos específicos e de absorção de água para o provete NP-G3A1-PE (material de dimensão superior a 3/8”), correspondente à amostra G3, segundo a norma portuguesa.

Amostra	NP-G3A1-PE	Tipo de Amostra	Retido em 3/8"
Peso da amostra seca no ar (P_1)			1816,57 g
Peso no ar da amostra saturada (P_2)			1829,05 g
Peso na água da amostra saturada (P_3)			1140,51 g
Temperatura da água (T)			25 °C
Peso específico da água à temperatura T (G_a)			1,00 g/cm ³
Peso específico das partículas secas (G_s)			2,63 g/cm ³
Peso específico do material impermeável das partículas (G_h)			2,68 g/cm ³
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca (G'_h)			2,65 g/cm ³
Absorção de água (a)			0,69 %

Quadro 10 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação dos valores dos pesos específicos e de absorção de água para o provete NP-G3A2-PE (material de dimensão superior a 3/8”), correspondente à amostra G3, segundo a norma portuguesa.

Amostra	NP-G3A2-PE	Tipo de Amostra	Retido em 3/8"
Peso da amostra seca no ar (P_1)			1434,64 g
Peso no ar da amostra saturada (P_2)			1446,70 g
Peso na água da amostra saturada (P_3)			901,16 g
Temperatura da água (T)			25 °C
Peso específico da água à temperatura T (G_a)			1,00 g/cm ³
Peso específico das partículas secas (G_s)			2,62 g/cm ³
Peso específico do material impermeável das partículas (G_h)			2,68 g/cm ³
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca (G'_h)			2,64 g/cm ³
Absorção de água (a)			0,84 %

Quadro 11 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação dos valores dos pesos específicos e de absorção de água para o provete NP-G3B1-PE (material de dimensão inferior a 3/8”), correspondente à amostra G3, segundo a norma portuguesa.

Amostra	NP-G3B1-PE	Tipo de Amostra	Passado em 3/8"
Peso no ar da amostra saturada (P_1)			509,36 g
Peso do picnómetro cheio de água (P_2)			1097,70 g
Peso do frasco cheio com amostra saturada e água (P_3)			1388,61 g
Peso da amostra seca (P_4)			462,25 g
Temperatura da água (T)			25 °C
Peso específico da água à temperatura T (G_a)			1,00 g/cm ³
Peso específico das partículas secas (G_s)			2,11 g/cm ³
Peso específico do material impermeável das partículas (G_h)			2,69 g/cm ³
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca (G'_h)			2,32 g/cm ³
Absorção de água (a)			10,19 %

Quadro 12 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação dos valores dos pesos específicos e de absorção de água para o provete NP-G3B2-PE (material de dimensão inferior a 3/8”), correspondente à amostra G3, segundo a norma portuguesa.

Amostra	NP-G3B2-PE	Tipo de Amostra	Passado em 3/8"
Peso no ar da amostra saturada (P_1)			583,41 g
Peso do picnómetro cheio de água (P_2)			1097,70 g
Peso do frasco cheio com amostra saturada e água (P_3)			1433,23 g
Peso da amostra seca (P_4)			534,66 g
Temperatura da água (T)			25 °C
Peso específico da água à temperatura T (G_a)			1,00 g/cm ³
Peso específico das partículas secas (G_s)			2,15 g/cm ³
Peso específico do material impermeável das partículas (G_h)			2,68 g/cm ³
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca (G'_h)			2,35 g/cm ³
Absorção de água (a)			9,12 %

Quadro 13 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação dos valores dos pesos específicos e de absorção de água para o provete NP-A1A-PE (material de dimensão inferior a 3/8”), correspondente à amostra A1, segundo a norma portuguesa.

Amostra	NP-A1A-PE	Tipo de Amostra	Passado em 3/8"
Peso no ar da amostra saturada (P_1)			505,74 g
Peso do picnómetro cheio de água (P_2)			1097,03 g
Peso do frasco cheio com amostra saturada e água (P_3)			1408,06 g
Peso da amostra seca (P_4)			500,22 g
Temperatura da água (T)			25 °C
Peso específico da água à temperatura T (G_a)			1,00 g/cm ³
Peso específico das partículas secas (G_s)			2,56 g/cm ³
Peso específico do material impermeável das partículas (G_h)			2,64 g/cm ³
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca (G'_h)			2,59 g/cm ³
Absorção de água (a)			1,10 %

Quadro 14 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação dos valores dos pesos específicos e de absorção de água para o provete NP-A1B-PE (material de dimensão inferior a 3/8”), correspondente à amostra A1, segundo a norma portuguesa.

Amostra	NP-A1B-PE	Tipo de Amostra	Passado em 3/8"
Peso no ar da amostra saturada (P_1)			498,42 g
Peso do picnómetro cheio de água (P_2)			1097,03 g
Peso do frasco cheio com amostra saturada e água (P_3)			1403,38 g
Peso da amostra seca (P_4)			493,11 g
Temperatura da água (T)			25 °C
Peso específico da água à temperatura T (G_a)			1,00 g/cm ³
Peso específico das partículas secas (G_s)			2,56 g/cm ³
Peso específico do material impermeável das partículas (G_h)			2,63 g/cm ³
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca (G'_h)			2,59 g/cm ³
Absorção de água (a)			1,08 %

Quadro 15 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação dos valores dos pesos específicos e de absorção de água para o provete NP-A2A-PE (material de dimensão inferior a 3/8”), correspondente à amostra A2, segundo a norma portuguesa.

Amostra	NP-A2A-PE	Tipo de Amostra	Passado em 3/8"
Peso no ar da amostra saturada(P_1)			511,00 g
Peso do picnómetro cheio de água(P_2)			1097,03 g
Peso do frasco cheio com amostra saturada e água(P_3)			1412,13 g
Peso da amostra seca (P_4)			507,37 g
Temperatura da água(T)			25 °C
Peso específico da água à temperatura T(G_a)			1,00 g/cm ³
Peso específico das partículas secas(G_s)			2,58 g/cm ³
Peso específico do material impermeável das partículas (G_h)			2,63 g/cm ³
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca(G'_h)			2,60 g/cm ³
Absorção de água(a)			0,72 %

Quadro 16 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação dos valores dos pesos específicos e de absorção de água para o provete NP-A2B-PE (material de dimensão inferior a 3/8”), correspondente à amostra A2, segundo a norma portuguesa.

Amostra	NP-A2B-PE	Tipo de Amostra	Passado em 3/8"
Peso no ar da amostra saturada(P_1)			506,10 g
Peso do picnómetro cheio de água(P_2)			1097,03 g
Peso do frasco cheio com amostra saturada e água(P_3)			1409,59 g
Peso da amostra seca (P_4)			503,16 g
Temperatura da água(T)			25 °C
Peso específico da água à temperatura T(G_a)			1,00 g/cm ³
Peso específico das partículas secas(G_s)			2,59 g/cm ³
Peso específico do material impermeável das partículas (G_h)			2,63 g/cm ³
Peso específico das partículas saturadas com a superfície seca(G'_h)			2,61 g/cm ³
Absorção de água(a)			0,58 %

6.4. Ensaio de azul-de-metileno

6.4.1. Norma Portuguesa

A norma seguida para a execução deste ensaio foi a procedimento adoptado pela Brisa, Auto-estradas de Portugal, SA, que por sua vez foi extraída da norma NP18-592, de Dezembro de 1990.

A execução deste ensaio baseia-se na capacidade que as partículas têm em estabelecerem ligações com a solução de azul-de-metileno.

Partido de um provete do qual se conhece o seu teor em finos e o seu teor de humidade, determina-se a massa do provete necessária para obter aproximadamente 30 gramas de material passado no peneiro com malha de 0.08 milímetros de abertura. Este corte faz-se recorrendo a uma lavagem do provete, após a qual as restantes partículas, de maior dimensão, ficam retidas no peneiro. Todo o material retido nesses peneiros é levado a uma estufa onde permanece até atingir um peso constante. Desta forma, é possível determinar a massa real de finos sujeita a ensaio, uma vez que se conhece o peso inicial da amostra submetida a separação granulométrica.

À solução que contem os finos do provete a ensaiar, são normalmente adicionadas 30 gramas de caulino da qual conhecemos previamente o seu valor de azul-de-metileno. Esta nova solução, é sujeita a uma agitação a 600 rotações por minuto, durante um período de 5 minutos. Após este tempo e durante o tempo que durar o resto do ensaio, a solução é mantida com uma agitação de 400 rotação por minuto.

De seguida, inicia-se a adição de solução de azul, começando-se por adicionar a quantidade necessária para saturar o caulino, passando-se posteriormente para dosagens de 5 mililitros de 2 em 2 minutos até que o teste da mancha dê positivo.

O teste da mancha, consiste em retirar uma gota da solução em análise deixando-a cair sobre um papel de filtro. Quando a solução está saturada passará a haver azul-de-metileno livre em suspensão na solução. Desta forma, quando se deita a gota no papel de filtro forma-se uma auréola de cor azul clara em torno da mancha de uma cor mais escura, que contém partículas da amostra analisada.

Faz-se o teste da mancha de minuto a minuto durante 5 minutos. Se ele não se mantiver positivo durante esse tempo e sem adição de mais solução de azul,

continua-se a adicionar solução, mas desta vez em fracções de 2 mililitros, fazendo o teste da mancha após cada adição. Este procedimento repete-se até que o teste da mancha se mantenha positivo em 5 vezes consecutivas (ou seja, durante 5 minutos), sem a adição de mais solução de azul. Chegados a este ponto, regista-se o volume de solução de azul-de-metileno adicionada à solução contendo o provete a analisar.

No caso deste trabalho, foram preparados 5 provetes, NP-G3A-AM, NP-G3B-AM, NP-G3C-AM, NP-A1-AM e NP-A2-AM, sendo que os três primeiros correspondem à amostra G3 e o penúltimo e o último correspondem às amostras A1 e A2, respectivamente.

Além destes provetes, foram ainda preparados alguns outros de caulino, com o intuito de determinar o seu valor de azul-de-metileno.

Os resultados obtidos para cada ensaio encontram-se indicados do quadro 17. Nele pode verificar-se que apenas foi efectuado um ensaio com adição de caulino, na amostra NP-G3C-AM, onde se verificou um resultado semelhante ao do ensaio NP-G3B-A, sem a adição de caulino.

Para o cálculo de todos os valores de azul-de-metileno (V_{Bta}) foi utilizada a seguinte fórmula, constante da norma anteriormente referida:

$$V_{Bta} = \frac{V_1 - v'}{q}$$

Onde

- V_1 é o volume final de solução injectada;
- v' é o volume de solução de azul para o caulino;
- q é a massa real de finos sujeitos ao ensaio.

Esta fórmula torna-se ainda mais reduzida nos casos em que não se adiciona caulino, pois o valor de v' passa a ser nulo e o valor de q , passa a ser apenas a massa do provete sujeito a ensaio.

Quadro 17 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação dos valores de Azul-de-metileno para os provetes, correspondente às amostras A1, A2 e G3, segundo a norma portuguesa.

Azul-de-metileno					
Amostra	Massa Amostra (g)	Massa Caulino (g)	Valor de Azul (ml)	VOLUME p/ Caulino	V _{Bta}
NP-G3A-AM	30,05	0,00	10,00	0,00	0,33
NP-G3B-AM	30,38	0,00	8,00	0,00	0,26
NP-G3C-AM	30,26	30,00	50,20	42,00	0,27
NP-A1-AM	30,28	0,00	4,00	0,00	0,13
NP-A2-AM	30,10	0,00	2,00	0,00	0,07

O valor alcançado para o caulino foi de 42 mililitros por cada 30 gramas de caulino.

No caso do provete NP-G3A-AM, o resultado é significativamente diferente. Embora apenas tenham sido adicionados mais dois mililitros de solução, o resultado final é muito diferente. Isto revela que, provavelmente, terá sido adicionada solução em excesso. Esta possibilidade prende-se com a subjectividade de escolha do momento de paragem do ensaio, pois revela-se difícil estabelecer qual é o momento em que a auréola se forma em torno da mancha, facto que dificulta a determinação da quantidade de solução a adicionar no passo seguinte. Isto faz com que, por um lado o ensaio se torne relativamente difícil de executar, e por outro lado, com que o resultado dependa muito da experiência de quem o executa. Assim, o resultado final pode ser muito influenciado pelo operador que o realiza, pois, dois operadores distintos, podem considerar que se chegou ao ponto de saturação com diferentes volumes de solução adicionados.

6.4.2. Norma Europeia

A norma europeia EN 933-9 de 2002, admite a possibilidade de se efectuar este ensaio de duas formas, dependendo da dimensão das partículas do provete ensaiado.

Para a execução deste ensaio é preparado um provete, de modo a produzir um sub-provete de aproximadamente 200 gramas, constituído por partículas de dimensão inferior a 2 milímetros. Para assegurar que o provete não terá massa inferior à indicada, seca-se previamente o material em estufa a 105°C durante

aproximadamente 24 horas. A massa seca do provete corresponde a massa a submeter a ensaio e regista-se como M_1 .

Este provete é colocado num copo ao qual se juntam 500 mililitros de água destilada e mistura-se bem com a ajuda de uma espátula. Posteriormente, agita-se a solução durante 5 minutos com o auxílio de um agitador a 600 rotações por minuto. Passado este tempo, e até à conclusão do ensaio, baixa-se a rotação do agitador para 400 rotações por minuto.

A partir desse momento, procede-se à adição de solução de azul-de-metileno em fracções de 5 mililitros, fazendo um teste da mancha 1 minuto após cada adição. No momento em que a auréola de cor azul clara se forma em torno da mancha central, interrompe-se a adição de corante. Se a auréola se continuar a formar após 4 minutos mas desaparecer antes dos 5 minutos, após a última adição de corante, passa-se a fazer adições de 2 mililitros. Caso a auréola se deixe de formar antes da passagem dos 4 minutos, faz-se mais uma adição de 5 mililitros. Quando a auréola se continuar a formar até ao quinto minuto após a última adição de corante, considera-se o ensaio como terminado. Regista-se então o volume de solução de azul (V_1), adicionado até esse ponto.

O ensaio da mancha é efectuado da mesma forma já descrita no caso da aplicação da norma portuguesa.

Todo este procedimento poderá também ser efectuado, com provetes constituídos por partículas de dimensão inferior a 0,125 milímetros.

Assim, para realizar os dois ensaios foram criados dois grupos de provetes, um com partículas de dimensão inferior a 2,00 milímetros e outro com partículas de dimensão inferior a 0.125 milímetros. Para o segundo grupo assinalado, realizaram-se ensaios com e sem adição de caulino, tal como ocorre para a aplicação da norma portuguesa.

No quadro 18 podem observar-se os valores obtidos para cada ensaio.

Quadro 18 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação dos valores de Azul-de-metileno para os provetes, correspondente às amostras A1, A2 e G3, segundo a norma europeia.

Amostra	Massa Amostra (g)	Massa Caulino (g)	Valor de Azul (ml)	Volume p/ Caulino	MB/MB _F
Amostra com partículas de dimensão entre 0,00 e 2,00 milímetros (MB)					
EN-G3A-AM	205,57	0,00	18,00	0,00	0,88
EN-G3B-AM	203,49	0,00	17,00	0,00	0,84
EN-A1A-AM	208,73	0,00	2,00	0,00	0,10
EN-A1B-AM	209,85	0,00	1,00	0,00	0,05
EN-A2A-AM	205,38	0,00	1,50	0,00	0,07
EN-A2B-AM	212,00	0,00	1,00	0,00	0,05
Amostra com partículas de dimensão entre 0,00 e 0,125 milímetros (MB_F)					
EN-G3C-AM	30,02	0,00	7,00	0,00	2,33
EN-G3D-AM	30,16	0,00	8,00	0,00	2,65
EN-G3E-AM	30,03	0,00	7,00	0,00	2,33
EN-G3F-AM	30,12	0,00	8,00	0,00	2,66
EN-G3G-AM	30,06	30,00	52,00	42,00	3,33
EN-G3H-AM	30,18	30,00	50,00	42,00	2,65
EN-A1C-AM	30,56	30,00	44,00	42,00	0,65
EN-A2C-AM	30,19	30,00	43,00	42,00	0,33

Os resultados, indicados no quadro 18, foram obtidos por aplicação dos formulários presentes na norma seguida e no seu anexo A. Os valores de MB e MB_F indicam a quantidade em gramas, de corante, por quilograma de fracção 0 a 2,00 milímetros ou 0 a 0,125 milímetros, respectivamente.

Para o caso de provetes de fracção 0 a 2,00 milímetros, em que não houve adição de caulino, a fórmula utilizada foi:

$$MB = \frac{V_1}{M_1} \times 10$$

Onde

- M_1 é a massa do provete, em gramas
- V_1 é o volume total de solução corante injectada, em mililitros

No caso de provetes de fracção 0 a 2,00 milímetros e em que houve adição de caulino a fórmula utilizada foi:

$$MB = \frac{V_1 - V'}{M_1} \times 10$$

Onde:

- V' é o volume de solução corante absorvida pelo caulino, em mililitros

Para o caso dos provetes com fracção 0 a 0,125 milímetros e situações em que não é adicionada caulino, a norma EN 933-9, apenas indica a seguinte fórmula

$$MB_F = \frac{V_1}{M_1} \times 10$$

Onde

- M_1 é a massa do provete, em gramas
- V_1 é o volume total de solução corante injectada, em mililitros

Contudo, para se poder fazer uma melhor comparação dos resultados obtidos, pela aplicação da norma europeia, com os que se obtiveram com a aplicação da norma portuguesa, prepararam-se alguns provetes com adição de caulino como foi o caso dos provetes EN-G3G-AM, EN-G3H-AM, EN-A1C-AM e EN-A2C-AM.

6.4.3. Comparação entre a norma portuguesa e a norma europeia

Comparando ambas as normas, é fácil entender que na base dos ensaios estão os mesmos princípios. Assim, aparentemente, não deveria de ser difícil comparar os resultados obtidos mas, na realidade, não é isso que ocorre, em especial, devido às características dos provetes sujeitos a ensaio, em cada uma das normas.

No caso da norma portuguesa, o material sujeito a ensaio é de fracção 0 a 0.08 milímetros e a sua massa pode variar. Esta variação irá depender da quantidade de partículas de dimensão inferior a 0.08 milímetros presente no provete inicial (mais ou menos 500 gramas).

No caso da norma europeia, existem duas possibilidades para se obter o provete de ensaio. Uma refere-se à fracção 0 a 2,00 milímetros e outra à fracção 0 a 0,125 milímetros, sendo os resultados registados respectivamente como MB ou MB_F. No primeiro caso, a massa do provete a submeter a ensaio deverá ter aproximadamente 200 gramas, mas nunca menos que esse valor, ao passo que no segundo caso, o provete deverá ter aproximadamente 30 gramas.

Como seria de esperar, os valores obtidos com a fracção 0 a 2,00 milímetros na norma europeia, diferem muito dos obtidos com a antiga norma portuguesa, dado que a quantidade de finos presentes em cada amostra pode diferir significativamente, pelo que seria mais fácil tentar correlacionar os valores da antiga norma com os da fracção 0 a 0,125 milímetros. Em primeiro lugar porque as massas de ambos os provetes sujeitos a ensaio são semelhantes e em segundo lugar porque as fracções de ambas as normas seriam mais aproximadas. Mas, ainda assim, seria incorrecto relacionar estes dois valores, uma vez que, para uma mesma amostra, a quantidade de partículas do calibre das argilas existentes em 30 gramas de fracção 0 a 0.08 milímetros, é diferente da existente em 30 gramas de fracção 0 a 0,125 milímetros.

6.5. Ensaio de Índice de Lamelação & Índice de Achatamento

6.5.1. Norma portuguesa (Índice de lamelação)

Na execução deste ensaio foi observada a norma P-812.

Este ensaio tem como objectivo classificar as partículas constituintes de uma amostra quanto à sua forma, mais concretamente quanto à sua tendência para a forma lamelar.

As partículas de cada provete são testadas para determinar, para cada uma delas, se a sua espessura é ou não 0,6 vezes menor do que o seu tamanho nominal, considerando para o efeito, tamanho nominal como a média das aberturas dos peneiros que deram origem a cada fracção do provete a ensaiar. Deste modo, diz-se que uma determinada partícula é lamelar se a sua espessura for 0,6 vezes menor do que o seu tamanho nominal.

Para tal, o provete é separado em fracções granulométricas recorrendo aos peneiros indicados no quadro 19. Todo o material composto por partículas de dimensão inferior a 6,3 milímetros, ou superior a 63 milímetros, é rejeitado. Regista-se a soma das massas de todas as restantes fracções como M_1 . A este valor, é ainda necessário subtrair o valor das massas de todas as fracções que correspondam a um valor inferior a 5% de M_1 , registando-o como M_2 .

Utilizando um medidor específico (imagem 4) confirma-se, partícula a partícula, se passa ou não na abertura, correspondente à fracção em que se encontram. Consideram-se lamelares as partículas que passam na respectiva abertura. Pesam-se todas as partículas lamelares, que passam nas ranhuras, e regista-se essa massa como M_3 .



Figura 9

Medidor de espessuras utilizado na verificação da lamelação das partículas, segundo a norma portuguesa

Para o cálculo do índice de lamelação é utilizada a seguinte fórmula.

$$IL = \frac{M_3 \times 100}{M_2}$$

Onde:

- M_3 é a soma das massas de todas as partículas lamelares (passadas no medidor)
- M_2 é a soma das massas de todas as fracções sujeitas a ensaio

A este ensaio apenas foi sujeita a amostra G3 com o provete NP-G3-IL, visto o ensaio não se aplicar a materiais arenosos, como é o caso das restantes duas amostras.

Os valores obtidos pela realização do ensaio, encontram-se registados no quadro 19. Dele constam também as percentagens correspondentes a cada uma das fracções, bem como as dimensões das aberturas correspondentes aos limites dimensionais de cada fracção.

Como se pode ver, uma das fracções (37,5mm a 50,0mm) não foi sujeita a ensaio por constituir menos de 5% da massa inicial do provete.

Na análise dos dados obtidos observa-se que a fracção, de 19 a 25 milímetros, apresenta um valor elevado ($\pm 28\%$), quando comparada à média das restantes fracções ($\pm 17\%$). Além desta, também a fracção seguinte (25 a 37,5 milímetros) apresenta um valor relativamente superior às restantes três, o que faz com que o valor final do índice de lamelação suba para 19%.

Quadro 19 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação do valor de Índice de lamelação para o provete NP-G3-IL, correspondente à amostra G3, segundo a norma portuguesa.

Massa inicial da amostra (MT _i)	7,222 (kg)
Massa inicial para ensaio (M ₀)	7222,48 (g)

Índice de Lamelação com Granulometria									
Peneiros	Massa Retida (g)	% Relativa a M ₁	Massa para ensaio (g)	% Relativa a M ₂	Medidor de Espessuras				
					Fenda	Retido		Passado	
					(mm)	(g)	%	(g)	%
63 mm (2"1/2)	0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
50 mm (2")	0	0%	0	0%	100 X 34,3	0,00	0%	0,00	0%
37,5 mm (1"1/2)	278,24	4%	0	0%	90 X 26,7	0,00	0%	0,00	0%
25,0 mm (1")	1222,16	17%	1222,16	18%	80 X 19,1	988,50	81%	233,80	19%
19,0 mm (3/4")	1420,86	20%	1420,86	20%	70 X 13,3	1027,98	72%	391,24	28%
12,5 mm (1/2")	1882,24	26%	1882,24	27%	50 X 9,53	1529,67	81%	336,85	18%
9,5 mm (3/8")	1160,83	16%	1160,83	17%	30 X 5,53	941,49	81%	179,64	15%
6,3 mm (1/4")	1258,15	17%	1258,15	18%	25 X 4,8	1061,57	84%	195,95	16%
Somatório	7222,48	100%	6944,24	100%	-----	5549,2	-----	1337	

$$M_1 = 7222,48\text{g}$$

$$M_2 = 6944,24\text{g}$$

$$M_3 = 1337,48\text{g}$$

$$\text{Índice de lamelação} = 19\%$$

$$\text{Perdas de Massa de } M_1 \text{ para } M_2 = 278,24\text{ g} = 4\% \text{ Relativamente a } M_1$$

$$\text{Perdas de Massa de } M_2 \text{ para } M_3 = 57,55\text{ g} = 1\% \text{ Relativamente a } M_2$$

No gráfico 8, observam-se a representação das massas das partículas passadas e retidas de cada fracção, bem como as massas totais de cada fracção obtidas a partir da granulometria.

No caso da fracção de 37,5 a 50 milímetros, apenas foi representada a massa total da fracção, visto esta não possuir o mínimo de massa exigido na norma para ser sujeita a ensaio.

Como se pode verificar a fracção identificada no gráfico com a abertura 70 x 13,3 milímetros, embora seja apenas a segunda com maior massa total é a que contém uma maior massa de material passado no medidor. Este facto vem uma vez mais confirmar que esta fracção (fracção 19 a 25 milímetros da granulometria) é a principal responsável pela subida do valor de índice de lamelação final.

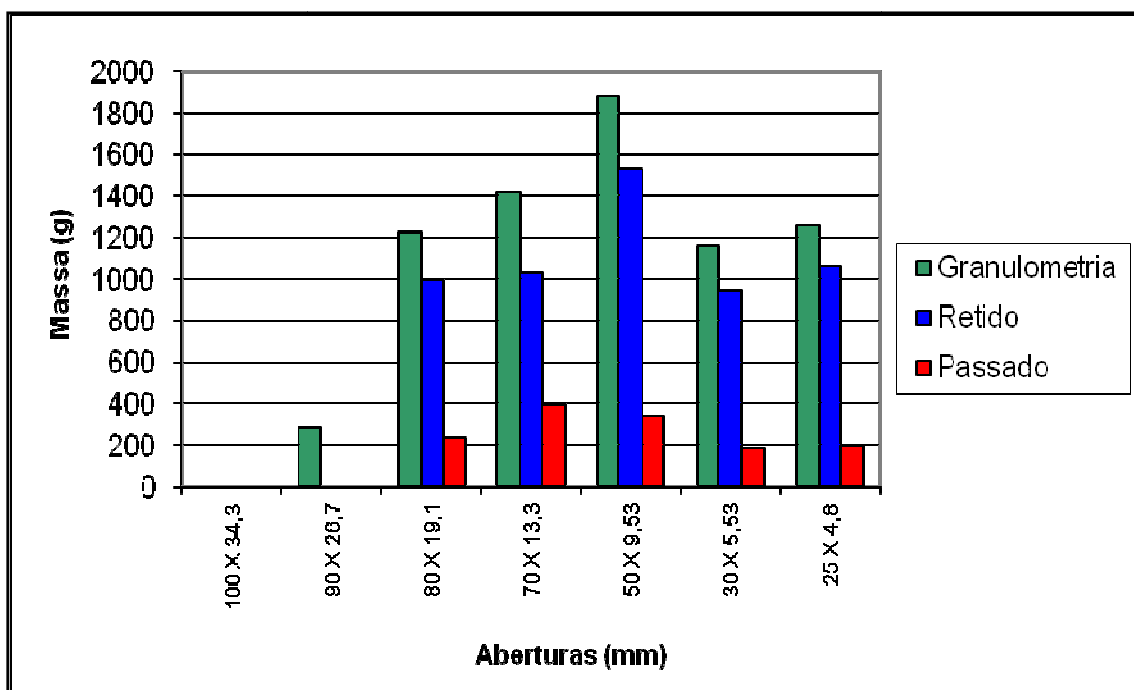


Gráfico 8 – Representação das distribuições, em massa, do material retido e passado na régua para cada uma das fracções do provete G3-IL, correspondente à amostra G3, segundo a norma portuguesa.

6.5.2. Norma europeia (Índice de Achatamento)

Na execução deste ensaio foi seguida a norma EN 933-3, na qual se descreve o procedimento a adoptar. Para uma melhor compreensão, é aqui apresentado um pequeno resumo desta norma.

Este ensaio consiste em duas operações de peneiração. Na primeira, o provete é separado em diferentes fracções, com recurso a peneiros idênticos aos utilizados na análise granulométrica, tal como se apresenta no quadro 20. Na segunda, procede-se a uma peneiração de cada uma das fracções, com recurso a peneiros de barras (imagem 5), cujas aberturas se encontram assinaladas no mesmo quadro.



Figura 10 – Peneiros de barras utilizados no ensaio de Índice de achatamento, segundo a norma europeia.

No final, o índice de achatamento, é calculado com base na massa das partículas que passam no peneiro de barras, relativamente à massa total do provete. A fórmula a utilizar no cálculo do índice de achatamento é a seguinte:

$$FI = \left(\frac{M_2}{M_1} \right) \times 100$$

Onde:

- M_1 é a soma das massas, em gramas, das partículas de cada fracção granulométrica d_i/D_i
- M_2 é a soma das massas, em gramas, das partículas de cada uma das fracções granulométricas que passa pelo peneiro de barras correspondente, com ranhura de largura $D_i/2$

No caso de se pretender determinar o índice de achatamento para cada uma das fracções teremos que, o índice de achatamento na fracção é a relação entre a massa das partículas que passam no peneiro de barras relativamente a massa total da fracção, tal como indicado na fórmula que se apresenta de seguida:

$$FI = \left(\frac{m_I}{R_I} \right) \times 100$$

Onde:

- R_I é a massa, em grama, de cada fracção granulométrica d_i/D_i
- m_I é a massa, em gramas, do material em cada fracção granulométrica d_i/D_i , que passa pelo peneiro de barras correspondente, com ranhura de largura $D_i/2$

Com este ensaio apenas se analisou a amostra G3 através do provete EN-G3-IA. No quadro 20, observam-se os resultados obtidos tanto para cada uma das fracções como para o índice de achatamento total.

Quadro 20 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação do valor de Índice de Achatamento para o provete EN-G3-IA, correspondente à amostra G3, segundo a norma europeia.

Índice de Achatamento da Amostra EN-G3-IA					
Fracção	Massa (g)	Abertura P.barras (mm)	Retido (g)	Passado (g)	FI (mi/Ri)x100
4,00 - 5,00	432,05	2,50	374,57	57,41	13,3
5,00 - 6,30	613,41	3,15	524,09	89,27	14,6
6,30 - 8,00	664,50	4,00	580,91	83,54	12,6
8,00 - 10,00	632,44	5,00	544,58	87,78	13,9
10,00 - 12,50	599,21	6,30	525,12	74,08	12,4
12,50 - 16,00	836,42	8,00	694,39	142,09	17,0
16,00 - 20,00	595,57	10,00	503,36	92,25	15,5
20,00 - 25,00	845,09	12,50	711,89	133,24	15,8
25,00 - 31,50	660,74	16,00	581,49	79,35	12,0
31,50 - 40,00	779,66	20,00	735,31	44,38	5,7
M_1	6659,09		M_2	883,38	
FI	13				

6.5.3. Comparação entre a norma Portuguesa e a norma Europeia

Muito embora as normas não sejam comparáveis, fazendo um esforço de comparação entre os procedimentos presentes nas duas normas, relativamente às características exigidas para que as partículas sejam consideradas achatadas, ou lamelares, é possível encontrar algumas diferenças. Assim, para o caso da norma portuguesa, as partículas serão classificadas como lamelares quando possuem uma espessura 0,6 vezes menor que o seu tamanho nominal, sendo esse tamanho

tomado como a média das aberturas dos peneiros limites da fracção na qual a partícula se insere.

No caso da norma europeia, as partículas são consideradas achatadas se possuírem uma espessura inferior a metade do seu tamanho nominal, sendo este igual à abertura do peneiro de maior dimensão que limita superiormente a fracção.

Para uma melhor comparação procurou-se converter a fórmula de classificação da norma portuguesa na fórmula de classificação da norma europeia.

Desta forma, se compararmos, por exemplo, a fracção 19 a 25 milímetros da norma portuguesa verificamos que, relativamente a norma europeia corresponderia a uma abertura de barras de 12,50 milímetros ($25/2=12,5\text{mm}$), ao passo que na norma portuguesa, correspondeu na realidade uma abertura de 13,34 milímetros

Assim sendo, verifica-se que para o caso da norma portuguesa, os valores das espessuras (equivalentes à dimensão das aberturas dos peneiros de barras) são normalmente superiores aos valores que lhe correspondem na norma europeia.

Por este motivo seria de esperar que os valores de índice de lamelação fossem superiores aos de índice de achatamento, o que se veio a comprovar com os ensaios efectuados.

6.6. Ensaio de Índice de Alongamento & Índice de Forma

6.6.1. Norma portuguesa (*Índice de alongamentos*)

Este ensaio foi executado de acordo com a norma P – 813. Nela se especifica, tanto o princípio em que o ensaio se baseia, como o procedimento para a sua execução, do qual se passa a apresentar um pequeno resumo.

Este ensaio consiste em determinar a relação entre o comprimento máximo da partícula e o seu tamanho nominal, entendendo-se como tamanho nominal, a média da dimensão das aberturas dos dois peneiros que delimitam a fracção onde essa partícula se insere.

Os peneiros utilizados para fazer a separação por calibres das partículas são os que possuem as seguintes aberturas: 63 mm, 50mm, 37,5mm, 25mm, 19mm, 12,5mm, 9,5mm e 6,3mm.

Separada a amostra por diferentes calibres, pesa-se cada uma das fracções e determina-se a sua percentagem em massa, relativamente ao total das massas de todas as fracções. Todas aquelas que constituírem menos de 10% do total, serão rejeitadas, tal como todo o material constituído por partículas de dimensão superior a 63 milímetros e inferior a 6,3 milímetros.

Para cada uma das restantes fracções é feito o estudo, partícula a partícula, do seu comprimento máximo, recorrendo a uma régua com pernes distanciados entre si de um determinado valor, consoante a fracção a analisar (imagem 6). Estas distâncias poderão ser observadas no quadro 21.



Figura 11 – Régua de Pernes utilizada para a determinação do índice de alongamento, segundo a norma portuguesa.

Desta forma, são separadas as partículas que passam entre os pernes das que são retidas.

No final, é utilizada a seguinte fórmula para determinar o índice de alongamento.

$$IA = \frac{M_3 \times 100}{M_2}$$

Onde:

- M_3 é a soma das massas de todas as partículas que ficam retidas no teste da régua de pernes
- M_2 é a soma de todas as fracções obtidas pela granulometria que possuem mais de 10%

Uma vez mais, apenas a amostra G3 foi sujeita a ensaio, desta vez com o provete NP-G3-IA.

Os valores recolhidos durante o ensaio, bem como os resultados dos cálculos são apresentados no quadro 21.

Para além dos valores referidos, apresentam-se também o valor de perda de massa entre M_1 e M_2 , correspondendo à percentagem em massa das fracções que possuíam menos de 10% (que para o caso estudado foi apenas uma das fracções).

Quadro 21 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação do valor de Índice de alongamento para o provete G3-IA, correspondente à amostra G3, segundo a norma portuguesa.

Massa inicial da amostra (MTI)	7,222 (kg)
Massa inicial para ensaio (M ₀)	7222,5 (g)

Índice da Alongamento com Granulometria									
Peneiros	Massa Retida (g)	% Relativa a M ₁	Massa para ensaio (g)	% relativa a M ₂	Medidor de Alongamentos				
					D. Pernes (mm)	Retido		Passado	
						(g)	(%)	(g)	(%)
50 mm (2")	0,00	0%	0,00	0%					
37,5 mm (1"1/2)	278,24	4%	0,00	0%	80	0,00	0%	0,00	0%
25,0 mm (1")	1222,16	17%	1222,16	18%	57,2	238,18	19%	984,01	81%
19,0 mm (3/4")	1420,86	20%	1420,86	20%	39,9	450,61	32%	970,14	68%
12,5 mm (1/2")	1882,24	26%	1882,24	27%	28,5	579,52	31%	1286,69	68%
9,5 mm (3/8")	1160,83	16%	1160,83	17%	20,1	346,94	30%	773,98	67%
6,3 mm (1/4")	1258,15	17%	1258,15	18%	14,2	440,71	35%	816,62	65%
Somatório	7222,48	-----	6944,24	---	-----	2055,96	-----	4831,44	---

M1 = 72222,48 g

M2 = 6944,24 g

M3 = 2055,96 g

Perdas de Massa de M1 para M2 = 278,24 g que corresponde a 4% relativamente a M1

Índice geral de alongamento (IA) = 30%

No gráfico 9 pode facilmente perceber-se quais foram as proporções de material passado e retido em cada fracção.

Pode ainda observar-se que, para o primeiro intervalo de Pernes, não existem valores de massas tanto de material retido como de material passado, isto ocorre porque esta é a fracção que possuía menos de 10% da massa total, facto que impediu a sua análise.

No gráfico 9, onde se representam as massas totais, as massas retidas e passadas de cada uma das fracções, pode observar-se que a fracção identificada com 57,2 tem uma massa de material retido significativamente menor do que as restantes. No quadro 21 pode ver-se que, esta fracção que corresponde à fracção granulométrica passada em 37,5 e retida em 25 milímetros, apenas tem 19% da massa retida, valor este significativamente inferior ao observado nas restantes fracções da amostras.

Atendendo ao anteriormente referido verifica-se que esta fracção contribui para a descida do valor do índice de alongamento da amostra, que assim se fixa em 30%.

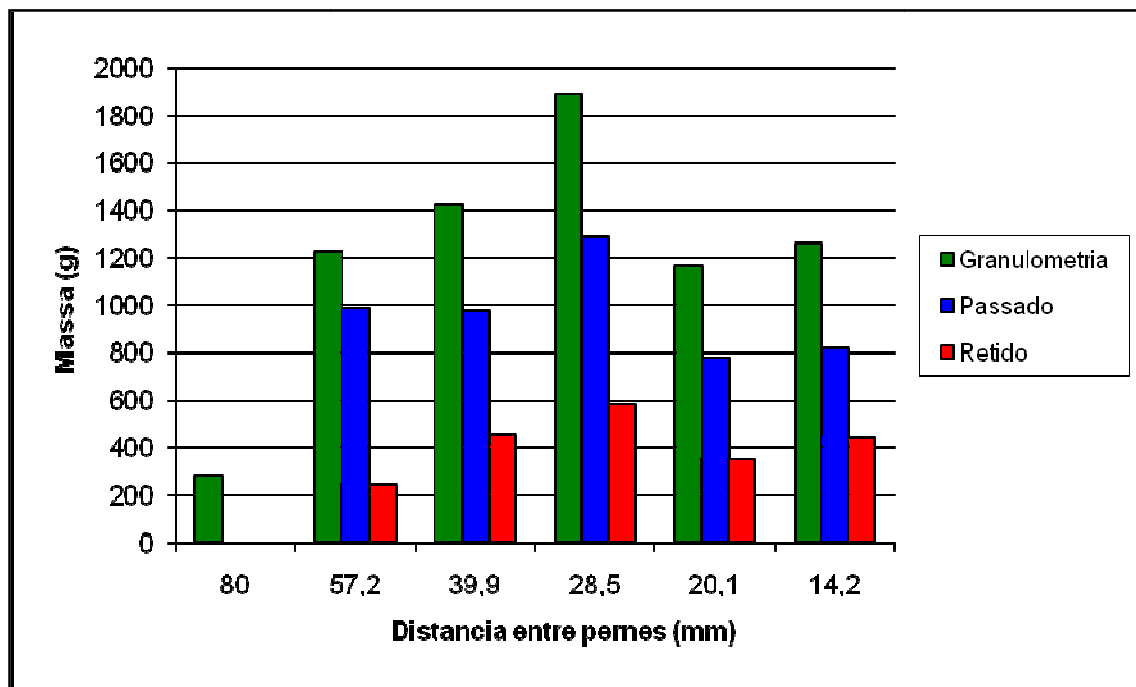


Gráfico 9 – Representação das distribuições, em massa, do material retido e passado na régua de pernes para cada uma das fracções do provete G3-IA, correspondente à amostra G3, segundo a norma portuguesa.

6.6.2. Norma Europeia (Índice de Forma)

Para a execução do ensaio foi seguida a norma EN 933-4, que especifica as condições e procedimentos para a determinação do índice de forma.

De acordo com esta norma, as partículas são classificadas como cúbicas ou não cúbicas, dependendo da relação existente entre o seu alongamento máximo (L) e a sua espessura (E), sendo consideradas como não cúbicas todas as partículas que tenham uma razão de $L/E > 3$.

Para a execução do ensaio é necessário separar a amostra em diferentes fracções granulométricas, utilizando para o efeito os seguintes peneiros: 63 mm, 45 mm, 31,5 mm, 22,4 mm, 16 mm, 11,2 mm, 8 mm, 5,6 mm e 4 mm.

Todo o material passado no peneiro de malha com abertura de 4 milímetros, ou retido no peneiro de malha com abertura de 63 milímetros, é rejeitado sendo apenas sujeitas a ensaio as restantes fracções.

Esta norma estabelece duas possibilidades de excussão do ensaio, dependendo da relação entre a maior (D_i) e a menor (d_i) dimensão das partículas a ensaiar.

No caso em que $D_i \leq 2 d_i$, apenas a fracção predominante é submetida a ensaio e a sua massa é registada como M_1 . Neste caso, separa-se esta fracção e mede-se, partícula a partícula, tanto a sua espessura como o seu comprimento máximo recorrendo a um paquímetro especial (imagem 7). Desta forma separam-se as partículas onde $L/E > 3$ (partículas não cúbicas) e registasse a sua massa como M_2 .

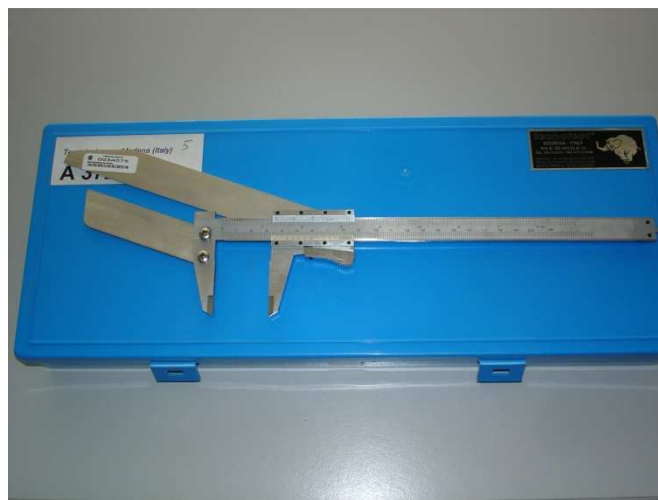


Figura 12 – Paquímetro especial com duas leituras sendo que uma delas é 3 vezes superior à outra.

Caso a relação $D_i \leq 2 d_i$ não se verifique, terá de se separar o provete em fracções para as quais a relação se verifique. Mas, neste caso, terá de ser feito o ensaio a todas as fracções que contenham mais de 10 % da massa M_0 , resultante da soma das massas de todas as fracções compostas por partículas de dimensão entre 4 e 63 milímetros. À massa de cada fracção que contenha mais de 10 % de M_0 , passa a chamar-se M_{1i} .

Em cada fracção, separam-se todas as partículas que têm uma relação dimensional $L/E > 3$ e registam-se as suas massas como M_{2i} .

Dentro deste segundo procedimento a norma EN 933-4 estabelece ainda uma outra possibilidade. Esta refere-se às fracções que possuem um número excessivo de partículas. Nestes casos, é possível efectuar a repartição dessas fracções sempre que, após essa repartição, a sub-fracção não fique com menos de 100 partículas.

Dependendo da situação da amostra a ensaiar, de acordo com o anteriormente referido, o cálculo do índice de forma faz-se com recurso a uma das seguintes fórmulas:

No caso em que $D_i \leq 2d_i$ a formula a utilizar é:

$$SI = \left(\frac{M_2}{M_1} \right) \times 100$$

Onde

- M_1 é a massa do provete de ensaio, em gramas
- M_2 é a massa das partículas não cúbicas, em gramas

No caso em que $D_i > 2d_i$ a formula a utilizar é:

$$SI = \frac{\sum M_{2i}}{\sum M_{1i}} \times 100$$

Onde

- $\sum M_{1i}$ é a soma das massas, das partículas de cada uma das fracções granulométricas ensaiadas, em gramas
- $\sum M_{2i}$ é a soma das massas, das partículas não cúbicas de cada uma das fracções granulométricas ensaiadas, em gramas.

Caso se tenha procedido a redução de alguma das fracções a formula a utilizar será:

$$SI = \frac{(\sum V_i \times SI_i)}{\sum V_i}$$

Onde:

- V_i é a percentagem em massa, da fracção granulométrica i na amostra ensaiada
- SI_i é a percentagem em massa, de partículas não cúbicas na fracção granulométrica i .

Para a nossa amostra, verificou-se que as partículas de maior dimensão (D_i) eram maiores do que as de menor dimensão (d_i) numa proporção superior a duas vezes, pelo que foi seguido o procedimento 7.3 da referida norma, ou seja, $D > 2d$, o que levou a que tivesse de ser determinado o índice de forma para cada uma das fracções, separadamente. Além desta condicionante, verificou-se que algumas das fracções continham um número excessivo de partículas. Por isso, e com o intuito de facilitar a execução do ensaio, fez-se a repartição dessas fracções reduzindo-se assim o número de partículas a ensaiar.

No quadro 22 podem observar-se os resultados obtidos, bem como as percentagens de cada fracção que foram sujeitas a ensaio, dadas pelos valores V_i indicados no quadro 22. Assim sendo, os valores de $V_i = 100$ correspondem a fracções que foram ensaiadas na sua totalidade, ao passo que valores de $V_i < 100$ correspondem à parte da fracção efectivamente ensaiada. Como exemplo refere-se que o valor de $V_i = 12.50$, corresponde à percentagem da fracção composta pelas partículas de dimensão entre 5,6 e 4,0 milímetros que foi ensaiada.

O valor do índice de forma (SI) obtido para o total do provete foi de 15%, como se observa no quadro 22.

Quadro 22 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação do valor de Índice de forma para o provete EN-G3-IF, correspondente à amostra G3, segundo a norma europeia.

Massa inicial (M_0)= 6682,19 (g)

Índice de Forma amostra EN-G3-IF							
Peneiros Di /di	(M_{1i})	Retido (g) (L/E<3)	Passado (g) (L/E>3)	% Retido (L/E<3)	% Passado (L/E>3)	(V_i)	($V_i * S_i$)
45,00 - 31,50	780,12	735,78	44,34	94,3	5,7	100,00	568,37
31,50 - 22,40	1136,37	904,13	232,24	79,6	20,4	100,00	2043,70
22,40 - 16,00	1012,6	887,21	125,39	87,6	12,4	100,00	1238,30
16,00 - 11,20	428,96	342,83	86,13	79,9	20,1	36,15	725,76
11,20 - 8,00	181,39	144,44	36,95	79,6	20,4	21,21	432,03
8,00 - 5,60	138,34	111,75	26,59	80,8	19,2	14,30	274,89
5,60 - 4,00	92,94	71,36	21,58	76,8	23,2	12,50	290,16
Somas	3770,72	3197,5	573,22			384,15	5573,21
SI (%)	15						

6.6.3. Comparação entre a norma Portuguesa e a norma Europeia

No caso da norma portuguesa, uma partícula é considerada alongada se tiver um comprimento máximo superior a 1,8 vezes o seu tamanho nominal, tomando como tamanho nominal a média das aberturas dos peneiros limítrofes da fracção a analisar, enquanto na norma europeia, uma partícula é considerada não cúbica se a razão L/E for maior que 3, sendo que L corresponde ao comprimento máximo e "E" corresponde à espessura.

Como se pode deduzir, o princípio é o mesmo em ambas as normas, visto ambas se basearem na relação entre o comprimento e a espessura das partículas. Muito embora a dimensão nominal não corresponda exactamente à espessura de cada partícula, está directamente relacionada com a média das espessuras de todas as partículas da fracção.

Embora ainda existam outras diferenças entre as duas normas, a que será mais evidente, é a que concerne os dois valores (1,8 versus 3,0) referidos no início deste subcapítulo. De grosso modo, se se desprezar a diferença entre a espessura e o tamanho nominal, uma partícula passará a ser considerada alongada ou não cúbica se tiver uma razão $L/E > 3$ (ou seja $L > 3 E$) e não $L > 1,8 E$ como até aqui.

6.7. Ensaio de Desgaste Pela Máquina de Los Angeles

6.7.1. Norma portuguesa

A execução deste ensaio fez-se de acordo com a especificação LNEC E 237-1970 relativa a ensaios em agregados.

Este ensaio consiste em determinar o desgaste sofrido pelos agregados, quando submetidos a um ensaio na máquina de Los Angeles. A máquina de Desgaste LA consiste basicamente num tambor cilíndrico, que sofre um processo de rotação a uma velocidade de 30 a 33 r.p.m., no qual se introduz a amostra e várias esferas metálicas que com a rotação do tambor provocarão o desgaste das partículas.

Para a execução deste ensaio, é necessário fazer a separação da amostra em diferentes calibres, recorrendo aos peneiros de 76,1 mm, 64,0 mm, 50,8 mm, 38,1 mm, 25,4 mm, 19,0 mm, 12,7 mm, 9,51 mm, 6,35 mm, 4,76 mm e 2,38 mm.

Separada a amostra nas diferentes fracções granulométricas, preparam-se os provetes a ensaiar cumprindo as indicações presentes no quadro 23.

Cada um destes provetes passa então a possuir diferentes composições granulométricas e cada um deles será sujeito a diferentes condições de ensaio no que se refere ao número de rotações e/ou, ao n.º e à massa de esferas. No quadro 24 podem observar-se as condições a aplicar no ensaio para cada um dos diferentes provetes.

Quadro 23 – Distribuição de massas, por fracções, para as composições granulométricas dos provetes para ensaio de desgaste pela máquina de Los Angeles.

Fracções granulométricas (mm)	Massa (g)						
	Composições granulométricas						
	A	B	C	D	E	F	G
76,1 / 64,0	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-
64,0 / 50,8	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-
50,8 / 38,1	-	-	-	-	5000 ± 50	5000 ± 50	-
38,1 / 25,4	1250 ± 25	-	-	-	-	5000 ± 25	5000 ± 25
25,4 / 19,0	1250 ± 25	-	-	-	-	-	5000 ± 25
19,0 / 12,7	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-	-	-	-
12,7 / 9,51	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-	-	-	-
9,51 / 6,35	-	-	2500 ± 10	-	-	-	-
6,35 / 4,76	-	-	2500 ± 10	-	-	-	-
4,76 / 2,38	-	-	-	5000 ± 10	-	-	-
	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50

Quadro 24 – Número de rotações e de esferas a aplicar em cada composição granulométrica.

Bateria de ensaio	Número de esferas	Massa das esferas (g)	Número de rotações
A	12	5000 ± 25	500
B	11	4584 ± 25	500
C	8	3330 ± 20	500
D	6	2500 ± 15	500
E	12	5000 ± 25	1000
F	12	5000 ± 25	1000
G	12	5000 ± 25	1000

Cumprida esta etapa, retira-se a amostra e as esferas da máquina de Los Angeles, tendo o cuidado de não perder nenhum material, limpando muito bem tanto o interior do tambor, como as esferas utilizadas em cada ensaio.

Cada uma das baterias de ensaio sofre então um corte no peneiro de 1,68 milímetros (n.º 12), separando-se assim o material que fica retido no peneiro. Este corte, é feito por via húmida, no intuito de remover da amostra o material mais fino (pó) que se forma a quando a execução do desgaste e que se prende às partículas de maior dimensão.

Depois de convenientemente lavado e seco em estufa, determina-se a sua massa e regista-se como m_2 .

Para o cálculo do valor de desgaste pela máquina de Los Angeles (LA) é utilizada a seguinte fórmula.

$$LA = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Onde:

- m_1 é a massa do provete
- m_2 massa do material retido no peneiro de 1,68 milímetros (nº.12)

Mais uma vez apenas a amostra G3 foi sujeita a ensaio, através dos provetes NP-G3A-LA a NP-G3G-LA. Salienta-se, que não foi possível realizar o ensaio correspondente à bateria E, por não se possuir suficiente material da maior dimensão requerida para a sua execução.

No quadro 25 representam-se as condições de execução de cada bateria de ensaio, assim como os resultados obtidos para o desgaste.

Quadro 25 – Registo das medições e dos cálculos para a determinação do valor de desgaste pela máquina de Los Angeles para os provetes correspondentes à amostra G3, segundo a norma portuguesa.

Quadro Resumo de G3 -LA						
Bateria	Rotações	Número de esferas	Massa das esferas (g)	Massa (g)		Desgaste
				Inicial	Final	
A	500	12	5000±25	5004,24	3248,04	35%
B	500	11	4584±25	5004,48	3213,43	36%
C	500	8	3330±20	5000,51	3128,59	37%
D	500	6	2500±15	4999,98	3305,67	34%
F	1000	12	5000±25	9995,91	7748,88	22%
G	1000	12	5000±25	9998,65	6714,02	33%

Como se pode verificar pelos dados presentes no quadro 25, a bateria F teve um desgaste significativamente inferior ao registado nas restantes baterias. De salientar que das baterias ensaiadas é a bateria composta pelas partículas de maior dimensão, mais próxima do material normalmente identificado como balastro.

6.7.2. Comparação entre a norma Portuguesa e a norma Europeia

O ensaio de desgaste pela máquina de Los Angeles normalizado pela NP EN 1097-2, em alguns casos, deixará de ser requerido com a implementação das novas normas europeias. Noutras situações passará a ser complementado ou mesmo substituído pelo ensaio de desgaste Micro-Deval descrito e normalizado pela norma europeia NP EN 1097-1 de 2002.

Embora o seu procedimento tenha sofrido algumas alterações, muito em especial no que respeita ao número de esferas e à sua massa, a verdade é que os princípios aplicados em ambas as normas são os mesmos

Para este trabalho, infelizmente não foi possível submeter as amostras ao procedimento da nova norma europeia, visto a Universidade não possuir os equipamentos necessários à sua execução nem se ter verificado possível executá-los noutra local.

Deste modo apenas nos é possível fazer uma breve comparação entre ambas as normas, não nos sendo possível confirmar as diferenças existentes entre elas com base aos resultados que seriam obtidos na análise das amostras em causa.

Com base na análise dos procedimentos e requisitos expressos em ambas as normas percebe-se que existem evidentes diferenças entre elas.

Para o caso da antiga norma portuguesa é possível efectuar o ensaio sobre sete conjuntos granulométricos distintos (ver quadro 23) enquanto no caso da nova norma europeia apenas é possível um. Tendo em consideração o anexo A da norma europeia, verificamos que esta apenas permite, no total, cinco conjuntos granulométricos diferentes.

Alem desta menor variabilidade de provetes para ensaio, a nova norma europeia também diminui o leque de dimensões das partículas passíveis de serem ensaiadas. No caso da antiga norma nacional, as partículas de menor dimensão que poderiam ser submetidas a ensaio eram as da composição granulométrica D (ver quadro 23) constituída por partículas de dimensão entre 4,76 e 2,38 milímetros. Para o caso da nova norma europeia a composição com menores partículas é a primeira apresentada no quadro do anexo A com partículas de dimensão entre 4 e 8 milímetros (ver anexo A da NP EN 1097-2).

Contudo, é nos limites superiores de ambas as normas que se verificam maiores diferenças, pois se para a antiga norma nacional era possível analisar partículas com dimensão até 76,1 milímetros, para a nova norma europeia apenas é possível analisar partículas com dimensão menor que 16 milímetros.

No que se refere à massa das cargas de esferas passíveis de serem utilizadas também existem diferenças. Embora a massa máxima admitida em ambas as normas seja muito semelhante, aproximadamente 5 quilogramas, a massa mínima considerada na norma europeia é de $\pm 3,5$ quilogramas, enquanto para a norma nacional é de apenas $\pm 2,5$ quilogramas.

Por outro lado, a nova norma europeia apenas admite a execução de ensaios com a aplicação de 500 rotações quando a norma nacional estabelecia 500 ou 1000 rotações, consoante a composição granulométrica a analisar.

Igual situação ocorre com a massa dos provetes a ensaiar, pois se a norma nacional tinha duas possibilidades consoante o provete a ensaiar, de 5 quilogramas ou de 10 quilogramas, a norma europeia estabelece que todos os provetes devem ter 5 quilogramas, independentemente da sua composição granulométrica.

No que respeita ao ensaio Micro-Deval (Norma NP-EN 1097-1) as diferenças relativamente ao ensaio de Los Angeles segundo a norma nacional são ainda mais evidentes. A haver alguma semelhança entre ensaios, a nosso ver, esta seria bem mais evidente entre o ensaio de Los Angeles segundo a nova norma europeia e o ensaio de Micro-Deval. Mas, ainda assim, existem muitas diferenças entre os ensaios como é o caso das existentes entre os equipamentos de ensaio no que se prende com a forma, dimensão, estanqueidade, capacidade e velocidade de rotação.

7. CETO1998 (um exemplo do que se tem utilizado até aqui)

Para que se possa valorizar as características das amostras ensaiadas, é necessário ter um padrão de comparação. Nesse sentido, foi feito um resumo, sob a forma de quadro, de alguns dos parâmetros e requisitos presentes no Caderno de Encargos Tipo Obra de 1998 (CETO1998), da Estradas de Portugal (antiga JAE).

Procedeu-se a uma avaliação, tanto das características dos materiais como das aplicações a que se destinam (quer sejam estes aplicados de uma forma directa, ou utilizados na produção de outros materiais), escolhendo alguns parâmetros constantes do CETO1998, cujos valores conhecíamos pela realização dos ensaios. No quadro 26, podem observar-se os exemplos escolhidos, aos quais foram dadas referencias que se encontram descritas na listagem de aplicação de materiais (ponto 7.1).

Na realidade, não se tratam todas as características ensaiadas nas nossas amostras dado que algumas dessas características não são relevantes para o controlo da qualidade destes materiais e da sua aplicação. Por este motivo, muitas células do quadro encontram-se sem qualquer registo. Existem mesmo parâmetros determinados nas amostras que não surgem neste quadro, como é o caso de algumas baterias de desgaste pela máquina de Los Angeles, ou do peso específico. Mas, o contrário também sucede, isto é, no CETO1998, são estabelecidas outras características e parâmetros que não foram ensaiados nas amostras deste estudo, pelo que não se representam no quadro anteriormente referido.

Neste quadro podem ainda observar-se algumas linhas preenchidas a amarelo, que correspondem a materiais não britados como é o caso das areias.

No que respeita às granulometrias aqui referenciadas de "A" a "J", encontram-se descritas no anexo I, tal como as suas representações gráficas segundo a norma portuguesa. Já a sua representação segundo os gráficos das novas normas europeias, podem ser consultadas no anexo II.

Quadro 26 – Valores máximos e mínimos para cada ensaio estabelecidos no caderno de encargosCETO1998 da J.A.E. (Junta Autónoma de Estradas, actual Estradas de Portugal).

Ref.	Eq. Areia Mínimo	Azul Met. Máximo	Fuso	Absorção Máxima	Lamel. Máximo	Along. Máxima	Los Angeles (Máximo)	
							A	B
1.1.1.	45%	30 *	A				35%	
1.1.2.	45%	30 *	B				45%	
1.2.1.	50%	25 *	B		35%	35%	40%	
1.2.2.	50%	25 *	B		35%	35%	40%	
1.3.1.			C					
1.4.1.	45%	30 *	B				45%	
1.4.2.	60%		D				45%	
1.4.3.			A					
1.5.1.			A					
2.1.1.	40%	1,0 **	B		30%	30%	40%	
2.1.1.1					25%	25%		35%
2.1.2.	40%	1,0 **	B		30%	30%	40%	
2.1.2.1.					25%	25%		25%
2.1.3	70%						45%	
2.2.1.	40%	1,0 **	B		30%	30%	40%	
3.1.1.	40%	1,0 **	E	3%			40%	
3.1.2.a.	40%	1,0 **	F	3%				35%
3.1.2.b.	40%	1,0 **	G	3%				35%
3.1.2.c.	40%	1,0 **	H	3%				35%
3.2.1.	40%	1,0 **	E	3%			40%	
3.2.2.a.	40%	1,0 **	F	3%				35%
3.2.2.b.	40%	1,0 **	G	3%				35%
3.2.2.c.	40%	1,0 **	H	3%				35%
3.2.3.a.			I		35%	35%	40%	
3.2.3.b.			J					35%
3.3.1.	40%	1,0 **	E	3%			40%	
3.3.2.a.	40%	1,0 **	F	3%				35%
3.3.2.b.	40%	1,0 **	G	3%				35%
3.3.2.c.	40%	1,0 **	H	3%				35%
3.4.1.	40%	1,0 **	E	3%			40%	
3.4.2.a.	40%	1,0 **	F	3%				35%
3.4.2.b.	40%	1,0 **	G	3%				35%
3.4.2.c.	40%	1,0 **	H	3%				35%

(*) - O valor aqui indicado corresponde não ao valor de azul-de-metileno, mas ao valor de azul-de-metileno corrigido. Este apenas se aplica caso o valor obtido para o equivalente de areia seja inferior ao indicado na mesma linha, e será calculado pela seguinte fórmula:

$$VA_c = VA \times \frac{\% P\#200}{\% P\#10} \times 100$$

Onde:

- VA é o valor de azul-de-metileno obtido pelo método da mancha no material de dimensão inferior a 75µm;
- %P#200 é a percentagem acumulada do material que passa no peneiro n.º 200 ASTM
- %P#10 é a percentagem acumulada do material que passa no peneiro n.º 10 ASTM

(**) - Nestes casos poderá admitir-se um equivalente de areia 5% inferior ao indicado na mesma linha, desde que o seu valor não seja superado no ensaio de azul-de-metileno segundo a NF P 18-592 e aplicado a material inferior a 75 µm.

Como se pode observar, foi utilizado um código de cores na elaboração do quadro 26. Este depende do grau de aceitação dos valores para o caso da amostra G3. Assim, os valores assinalados a verde-escuro cumprem os critérios exigidos no CETO1998. O verde-claro corresponde às situações em que se cumprem as exigências do CETO1998, mas com grande proximidade dos valores mínimo ou máximo exigidos, de acordo com o requisito em causa. Os valores assinalados a laranja, ainda que próximos dos limites estabelecidos no CETO1998, não cumprem. Por fim, os valores a vermelho correspondem às situações de incumprimento do prescrito no CETO1998.

Nas situações em que não foi possível estabelecer comparação entre os resultados obtidos e exigência constante no CETO1998, os valores apresentam-se a preto.

7. 1. Lista de aplicação de materiais (segundo caderno de encargos)

1. – MATERIAIS PARA CAMADAS GRANULARES

1.1. – Com características de sub-base

- 1.1.1. – Em agregado não britado (material aluvionar)
- 1.1.2. – Em agregado britado de granulometria extensa

1.2. – Com características de base

- 1.2.1. – Em agregado britado de granulometria extensa
- 1.2.2. – Em agregado britado de granulometria extensa, misturado em central

1.3. – Com características de regularização

- 1.3.1. – Em areia para assentamento de calçada ou blocos de betão

- 1.4. – Com características de regularização, no enchimento de bermas
 - 1.4.1 – Em agregado britado de granulometria extensa
 - 1.4.2. – Em material drenante com agregado britado
 - 1.4.3. – Em agregado não britado
- 1.5. – Com características de desgaste em camadas traficadas não revestidas
 - 1.5.1. – Em agregado não britado

2. – MATERIAIS PARA CAMADAS DE MISTURA COM LIGANTES HIDRÁULICOS

- 2.1. – Com características de base
 - 2.1.1. – Em agregado britado de granulometria extensa, tratado com ligantes hidráulicos
 - 2.1.1.1. – *Gravilha de protecção superficial*
 - 2.1.2. – Em betão pobre cilindrado
 - 2.1.2.1. – *Gravilha de protecção superficial*
 - 2.1.3. – Em betão pobre vibrado
- 2.2. – Com características de regularização, no enchimento de bermas
 - 2.2.1. – Em agregado britado de granulometria extensa, tratado com ligantes hidráulicos

3. – MATERIAIS PARA CAMADAS DE MISTURAS BETUMINOSAS A FRIO

- 3.1. – Com características de base
 - 3.1.1. – Em agregado britado de granulometria extensa, tratado com emulsão betuminosa
 - 3.1.2. – Em mistura betuminosa aberta a frio
 - 3.1.2.a. – *Mistura a utilizar em trabalhos de conservação corrente, nomeadamente tapagem de covas e em camadas com espessura inferior a 4 cm*
 - 3.1.2.b. – *Mistura a utilizar em camadas com espessura entre 4 e 6 cm*
 - 3.1.2.c. – *Mistura a utilizar em camadas com espessura superior a 6 cm*
- 3.2. – Com características de regularização
 - 3.2.1. – Em agregado britado de granulometria extensa, tratado com emulsão betuminosa
 - 3.2.2. Em mistura betuminosa aberta a frio
 - 3.2.2.a. – *Mistura a utilizar em trabalhos de conservação corrente, nomeadamente tapagem de covas e em camadas com espessura inferior a 4 cm*
 - 3.2.2.b. – *Mistura a utilizar em camadas com espessura entre 4 e 6 cm*
 - 3.2.2.c. – *Mistura a utilizar em camadas com espessura superior a 6 cm*

- 3.2.3. – Em semi-penetração betuminosa
 - 3.2.3.a. – *Para camada de base*
 - 3.2.3.b. – *Para recobrimento*
- 3.3. – Com características de regularização no reperfilamento de pavimentos existentes (espessura variável)
 - 3.3.1. – Em agregado britado de granulometria extensa, tratado com emulsão betuminosa
 - 3.3.2. – Em mistura betuminosa aberta a frio
 - 3.3.2.a. – *Mistura a utilizar em trabalhos de conservação corrente, nomeadamente tapagem de covas e em camadas com espessura inferior a 4 cm*
 - 3.3.2.b. – *Mistura a utilizar em camadas com espessura entre 4 e 6 cm*
 - 3.3.2.c. – *Mistura a utilizar em camadas com espessura superior a 6 cm*
- 3.4. – Com características de regularização no enchimento de bermas
 - 3.4.1. – Em agregado britado de granulometria extensa Tratado com emulsão betuminosa
 - 3.4.2. – Em mistura betuminosa aberta a frio
 - 3.4.2.a. – *Mistura a utilizar em trabalhos de conservação corrente, nomeadamente tapagem de covas e em camadas com espessura inferior a 4 cm*
 - 3.4.2.b. – *Mistura a utilizar em camadas com espessura entre 4 e 6 cm*
 - 3.4.2.c. – *Mistura a utilizar em camadas com espessura superior a 6 cm*

7. 2. Análise dos resultados obtidos à luz do CETO1998

Antes de mais, Importa referir que os valores obtidos para as amostras ensaiadas, analisados neste ponto, foram apenas os obtidos a partir das normas portuguesas uma vez que são eles que constam como requisitos do caderno de encargos utilizado como referencia neste ponto do trabalho.

Analisando o quadro 26, as tabelas e os gráficos existentes nos anexos I e II, pode verificar-se que os fusos granulométricos do caderno de encargos mais próximos da distribuição granulometria da nossa amostra G3, são os fusos "B" e "E", muito embora a nossa amostra não cumpra nenhum deles na totalidade. Esta situação deve-se ao facto de a amostra analisada não ter sofrido nenhuma alteração além da própria britagem, como, por exemplo, um corte a um determinado calibre, com recurso a crivos. Se tal tivesse sido feito, seria fácil, na central de britagem, fazer

com que a amostra cumprisse totalmente os requisitos destes dois fusos granulométricos.

No caso em que o fuso E é o exigido, pode constatar-se que os valores solicitados para o desgaste pela máquina de Los Angeles estão a cor laranja, uma vez que a amostra analisada não cumpre estes requisitos. Tal como na situação referida anteriormente teria sido possível cumprir este requisito se a britadeira onde foi britada a amostra, estivesse calibrada para a sua produção, o que não foi o caso.

Porém, nos casos em que é exigido o fuso E, também é exigido um valor de absorção máxima de 3 %, o que para o caso da amostra G3 não é cumprido, dado que, embora o material retido no peneiro de 3/8 apresente um valor de absorção inferior, o material passado nesse mesmo peneiro apresenta valores significativamente superiores para este parâmetro, facto que faz com que a amostra G3 dificilmente cumpra os requisitos para ser utilizado neste tipo de aplicações.

Assim sendo, será espectável que o material analisado a partir da amostra G3, tenha melhores características de forma a poder ser utilizado nas aplicações 1.1.2., 1.2.1., 1.2.2., 1.4.1., 2.1.1. e 2.1.2. Este facto era já espectável, visto a maioria dos casos indicados se referir a materiais de produção e aplicação directa, como é o caso do material analisado na amostra G3. Isto é, trata-se de materiais produzidos simplesmente por britagem, e que não entram na produção de outros materiais. Nas situações em que são utilizados na produção de outros materiais, o mais comum é que se proceda a uma combinação de agregados, criada em central, o que não se verificou na produção da amostra em causa.

Por este motivo, não será de desprezar a possibilidade de aplicar estes materiais nos restantes tipos de aplicações indicadas, ficando muitas das vezes essa possibilidade de aplicação, sujeita ao tipo de central de britagem a utilizar e à possibilidade de lhe associar um sistema de crivagem adequada.

8. CETO2009, um exemplo do que se perspectiva para o futuro.

Tendo já passado quase duas décadas desde que foram dados os primeiros passos a nível europeu no sentido de harmonizar a legislação, o controlo da produção, a certificação e a comercialização de agregados, a verdade é que no caso de Portugal, muito há ainda a fazer. Prova disso são os sucessivos atrasos na elaboração e implementação de novos cadernos de encargos, de acordo com as novas regulamentações e com as novas normas de ensaio.

No intuito de progredir no sentido daquilo que todos consideram já inevitável, algumas entidades públicas e donos de obra têm vindo a elaborar novos cadernos de encargos em conformidade tanto com os novos sistemas de certificação como com as novas normas de ensaio. Exemplo disso é a proposta de novo caderno de encargos tipo obra (CETO2009) da Estradas de Portugal, S.A. disponibilizado por esta entidade na sua página oficial na internet.

Deste modo, dispondo desta nova ferramenta, elaborou-se o quadro 27 que, à semelhança do quadro 26, resume algumas exigências requeridas para a utilização de agregados com base no CETO2009.

De modo a facilitar a interpretação e a comparação das exigências entre os dois cadernos de encargos (CETO1998 e CETO2009), o quadro 27 manteve, sempre que possível, a mesma nomenclatura utilizada no quadro 26.

Assim, no quadro 27 surgem quatro linhas marcadas a amarelo que correspondem a aplicações de solos que, para o caso das amostras ensaiadas, correspondem às duas areias sujeitas a ensaio.

Neste quadro surgem ainda cinco linhas sombreadas a cinzento que correspondem a cinco tipos de aplicação que, no CETO2009, são integradas noutras alíneas ou simplesmente não são consideradas.

Quadro 27 – Valores máximos e mínimos para cada ensaio estabelecidos no CETO2009, da Estradas de Portugal, S.A..

Ref.	Fuso	Dimensão	Teor de finos	Conteúdo finos		Sobre tamanho	Índice		Los Angeles	Qualidade Finos	
				Mínimo	Máximo		Achata	Forma		Equi. Areia	Azul Meti.
1.1.1.	X0	≤75								30	1,5
1.1.2.	G _B	0/31,5	NA	UF ₇	LF ₂	OC ₈₀	FI ₃₅		45	SE≥40	MB≤2,5
1.2.1.	G _B	0/31,5	NA	UF ₇	LF ₂	OC ₈₀	30		LA ₄₀	SE≥50	MB≤2,0
1.2.2.	G _B	0/31,5	NA	UF ₇	LF ₂	OC ₈₀	30		LA ₄₀	SE≥50	MB≤2,0
1.3.1.	G _{F85}	0/4	f ₁₀	NA	NA	NA	NA	NA	NA	SE≥40	MB≤2,5
1.4.1.	G _B	0/31,5	NA	UF ₇	LF ₂	OC ₈₀	30		LA ₄₀	SE≥40	MB≤2,5
1.4.2.	G _{F80}	0/22,4	f ₃	NA	NA	NA	FI ₃₅		45	SE≥60	MB≤2,0
1.4.3.		≤50								NR	NR
1.5.1.		≤50								NR	NR
2.1.1.	G _{A80}	0/31,5	≤3				FI ₃₀		LA ₄₀	≥50	≤2,0
2.1.1.1	G _{C85-15}	4/6	≤3				FI ₂₅		LA ₄₀		MB _F 10
2.1.2.											
2.1.2.1.											
2.1.3											
2.2.1.	G _{A80}	0/31,5	≤3				FI ₃₀		LA ₄₀	≥50	≤2,0
3.1.1.	G _{A90}						FI ₃₀		LA ₄₀		MB _F 10
3.1.2.a.	X1						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.1.2.b.	X2						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.1.2.c.	X3						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.2.1.	G _{A90}						FI ₃₀		LA ₄₀		MB _F 10
3.2.2.a.	X1						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.2.2.b.	X2						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.2.2.c.	X3						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.2.3.a.											
3.2.3.b.											
3.3.1.	G _{A90}						FI ₃₀		LA ₄₀		MB _F 10
3.3.2.a.	X1						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.3.2.b.	X2						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.3.2.c.	X3						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.4.1.	G _{A90}						FI ₃₀		LA ₄₀		MB _F 10
3.4.2.a.	X1						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.4.2.b.	X2						FI ₂₅		35		MB _F 10
3.4.2.c.	X3						FI ₂₅		35		MB _F 10

Como se pode observar no quadro anterior, surgem vários valores assinalados a preto. À semelhança do que se indicou a propósito do quadro 26, estes correspondem a valores exigidos no CETO2009, relativos a parâmetros que não foi possível analisar para as amostras em estudo. Exemplo disso, é o caso do ensaio

de Los Angeles que, tal como referido anteriormente, não foi possível executar segundo a norma europeia.

8. 1. Análise dos resultados obtidos à luz do CETO2009.

Desde logo se salienta que para esta análise de resultados apenas foram tidos em consideração as exigências constantes do CETO2009, assim como os resultados obtidos nos ensaios segundo as novas normas europeias.

De acordo com os dados expressos no quadro 27, a distribuição granulometria da amostra G3 apenas respeita as especificações constantes do CETO2009, para situações assinaladas com G_B e G_{A80} . Na prática, estes dois fusos granulométricos correspondem a um só, visto serem definidos pelos mesmos peneiros e os limites impostos a cada um deles ser igual. Efectivamente, estes fusos apenas diferem no peneiro de maior abertura (em que terá que passar toda a amostra). No caso do fuso granulométrico G_B , a maior abertura é de 40 milímetros, ao passo que para o fuso granulométrico G_{A80} a maior abertura é o de 63 milímetros. No entanto, para este último fuso (G_{A80}) o caderno de encargos, exige que a totalidade da amostra passe igualmente no peneiro de 40 milímetros de abertura. Desta forma, na prática, os dois fusos são idênticos. No anexo III podem ver-se estes dois fusos granulométricos, assim como os restantes fusos mencionadas no quadro 27.

À semelhança do verificado no caso do CETO1998, também neste caso a amostra G3 tem um melhor enquadramento nas situações relativas a aplicação directa, o que era já espectável, atendendo às características inerentes ao processo de transformação a que a rocha original foi submetida.

Nesta nova proposta de caderno de encargos (CETO2009) surgem ainda, no que se refere à dimensão das partículas, novas exigências directamente interligadas com a distribuição granulométrica dos materiais. Deste modo, para algumas aplicações, o caderno de encargos passa a estabelecer valores limites de finos, mínimos e máximos, em substituição do teor de finos.

Do mesmo modo, no que respeita à qualidade dos finos, a amostra G3 cumpre as exigências do CETO2009, à excepção do ponto 1.4.2., onde não é cumprida a exigência para o equivalente de areia. No entanto, atendendo a que se cumpre o

preconizado para o limite de azul-de-metileno, aquele parâmetro, por si só, não é motivo para a rejeição do material.

Quanto aos valores da massa volúmica e da absorção de água das partículas, o CETO2009 apenas exige a sua declaração, não indicando valores limites. Contudo, o valor de absorção de água das partículas é utilizado como ensaio de triagem na determinação de resistência ao gelo e degelo. Deste modo são estabelecidos valores máximos de absorção de água das partículas ($WA_{24}2$ ou $WA_{24}0,5$, dependendo da aplicação) a partir dos quais se torna obrigatória a determinação do valor de sulfato de magnésio. Ainda assim, estas exigências limitam-se somente a aplicação de materiais em zonas expostas a ambientes sujeitos ao gelo-degelo, a situações de humidade elevada ou à presença de água do mar.

Resumidamente, no que interessa aos pontos relativos aos materiais naturais para aplicação directa, é espectável que a amostra G3 cumpra os requisitos exigidos pelo CETO2009, bastando para tal fazer alguns ajustamentos no processo de britagem ou implementando crivos no processo de produção.

Fica, no entanto, por determinar o cumprimento dos requisitos relativos ao ensaio de desgaste pela máquina de Los Angeles, visto não ter sido possível sujeitar a amostra a este ensaio segundo a nova norma europeia.

Relativamente às restantes possibilidades de aplicação do material representado pela amostra G3, verifica-se que, para a maioria das situações analisadas, a amostra não cumpre os fusos granulométricos definidos. À semelhança do referido anteriormente, também se espera que esta situação seja relativamente fácil corrigir, recorrendo a ajustes na central de britagem ou implementando baterias de crivos no processo de produção. No entanto importa salientar que para estas aplicações, nomeadamente, na produção de misturas com ligantes hidráulicos e misturas betuminosas, além dos parâmetros ensaiados neste trabalho muitas outras características são exigidas.

9. Caderno de encargos, passado e futuro.

Nos capítulos 7 e 8 foram efectuadas breves análises dos resultados obtidos em cada um dos ensaios segundo o antigo caderno de encargos (CETO1998 da extinta Junta Autónoma de Estradas) e segundo a nova proposta de caderno de encargos (CETO2009 da actual Estradas de Portugal), respectivamente.

Como se pode verificar, pela comparação entre estes dois capítulos, existem inúmeras diferenças entre ambos os cadernos de encargos o que já era esperado tendo em consideração o facto de estes seguirem diferentes bases normativas.

Embora muitos dos ensaios estabelecidos nas novas normas europeias, sigam os mesmos princípios das normas portuguesas, existem inúmeras alterações nos factores estabelecidos pelos dois grupos de normas. Essas alterações foram dos mais diversos tipos, desde as relacionadas com as amostras e os provetes a submeter a ensaio, até às alterações a nível de equipamentos a utilizar.

No sentido de perceber o verdadeiro significado destas alterações bem como os riscos e dificuldades que as mesmas poderão acarretar, neste capítulo, são identificadas algumas dessas diferenças, tentando determinar a sua influência na classificação dos materiais à luz dos futuros cadernos de encargos.

Deste modo, atendendo a que a principal diferença entre os cadernos de encargos reside na diferença normativa existente para a realização dos diversos ensaios, apresenta-se de seguida uma apreciação comparativa para alguns ensaios, de modo a explicitar este aspecto.

9. 1. Análise Granulométrica

Tal como se explicitou no ponto 6.1.3. existem inúmeras diferenças entre as normas a seguir na execução das análises granulométricas, pelo que era já espectável que existissem algumas diferenças entre os limites granulométricos estabelecidos, em cada um dos cadernos de encargos.

No caso deste trabalho e segundo o quadro 26 o fuso a seguir em mais tipos de aplicações e de acordo com o CETO1998 é o "B". Já no caso do quadro 27 o fuso mais comum é o G_B e o G_{A80} que, como já foi referido anteriormente, na prática

são o mesmo. Além disso, estes dois fusos granulométricos correspondem, no quadro 27, às mesmas aplicações previstas para o fuso "B" indicado no quadro 26.

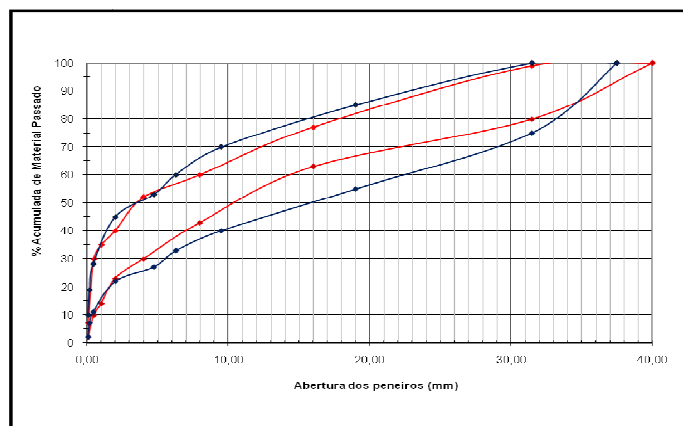
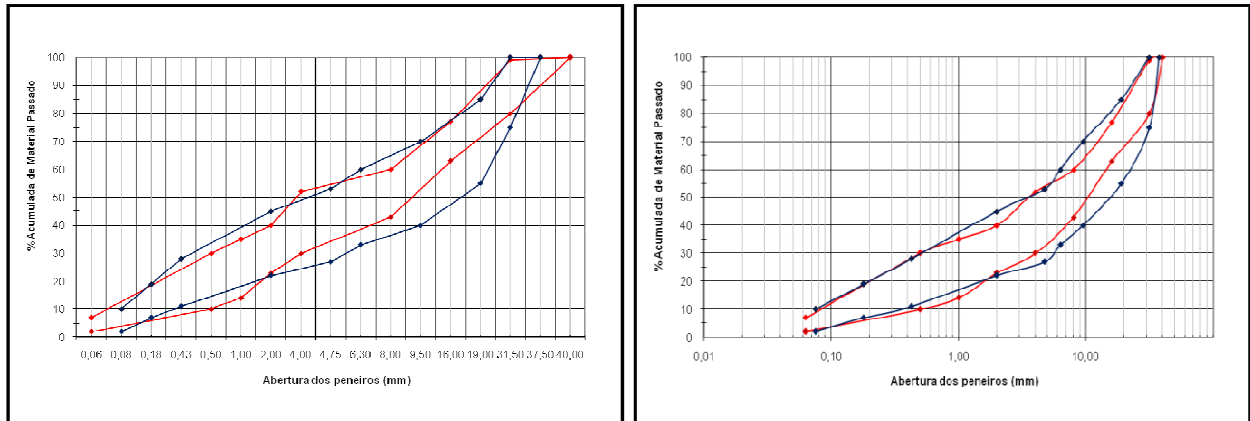
No anexo IV podem ver-se os quadros com a indicação dos peneiros e dos respectivos limites para cada par de fusos granulométricos "equivalentes", isto é, para fusos homólogos de acordo com os cadernos de encargos CETO1998 e CETO2009. O mesmo se aplica para as representações gráficas destes fusos.

Neste ponto, e para esta exposição escolheu-se o conjunto apresentado no quadro 28 correspondente ao fuso "B" (segundo o CETO1998) e aos fusos G_B e G_{A80} (segundo o CETO2009).

Numa primeira apreciação do quadro 28, com excepção das diferenças entre as bateria de peneiros a utilizar, aparentemente, não há diferenças significativas entre as exigências presentes nos dois cadernos de encargos. Contudo, se observarmos os gráficos 10, torna-se mais perceptível a existência de algumas diferenças que poderão, em alguns casos, condicionar o cumprimento das exigências de um ou de outro caderno de encargos.

Quadro 28 – Valores limites dos fusos G_B e G_{A80} (EN – Normas europeias) de acordo com o CETO2009 e valores limites do fuso B (NP – Normas portuguesas) de acordo com o CETO1998 (quadro A4.1 do anexo IV)

Peneiros (mm)	EN (CETO2009)		NP (CETO1998)	
	Mínimo (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Máximo (%)
0,063	2	7		
0,075			2	10
0,180			7	19
0,425			11	28
0,500	10	30		
1,000	14	35		
2,000	23	40	22	45
4,000	30	52		
4,750			27	53
6,300			33	60
8,000	43	60		
9,500			40	70
16,000	63	77		
19,000			55	85
31,500	80	99	75	100
37,500			100	100
40,000	100	100		



Gráficos 10 – Representações gráficas dos fusos G_B e G_{A80} (EN- Normas europeias, assinalados a vermelho) e B (NP – Normas portuguesas, assinalados a azul) de acordo com os cadernos de encargos da CETO2009 e CETO1998, respectivamente. (Gráficos A.4.1 do anexo IV)

Nestes gráficos podem observar-se os fusos estabelecidos em ambos os cadernos de encargos, sendo que no gráfico superior esquerdo, a representação é feita segundo as exigências da nova norma de ensaio harmonizada e, no gráfico superior direito temos a representação é semi-logarítmica, de acordo com a norma nacional de ensaio exigida no CETO1998.

Pela observação destes gráficos pode verificar-se que, de uma forma geral e para as aplicações em causa, os limites estabelecidos no novo caderno de encargos são mais apertados, facto especialmente evidente a partir do peneiro com abertura de 2,00 milímetros. Esta situação é bem visível no caso da representação gráfica inferior, que mais não é do que a representação dos limites estabelecidos num gráfico de distribuição linear.

No entanto, esta diferença não se pode generalizar para as restantes aplicações.

Se observarmos o gráfico 11, podemos verificar que no CETO2009, não existe este estreitamento, existindo somente um ligeiro deslocamento dos limites superior e inferior, relativamente ao Fuso do CETO1998.

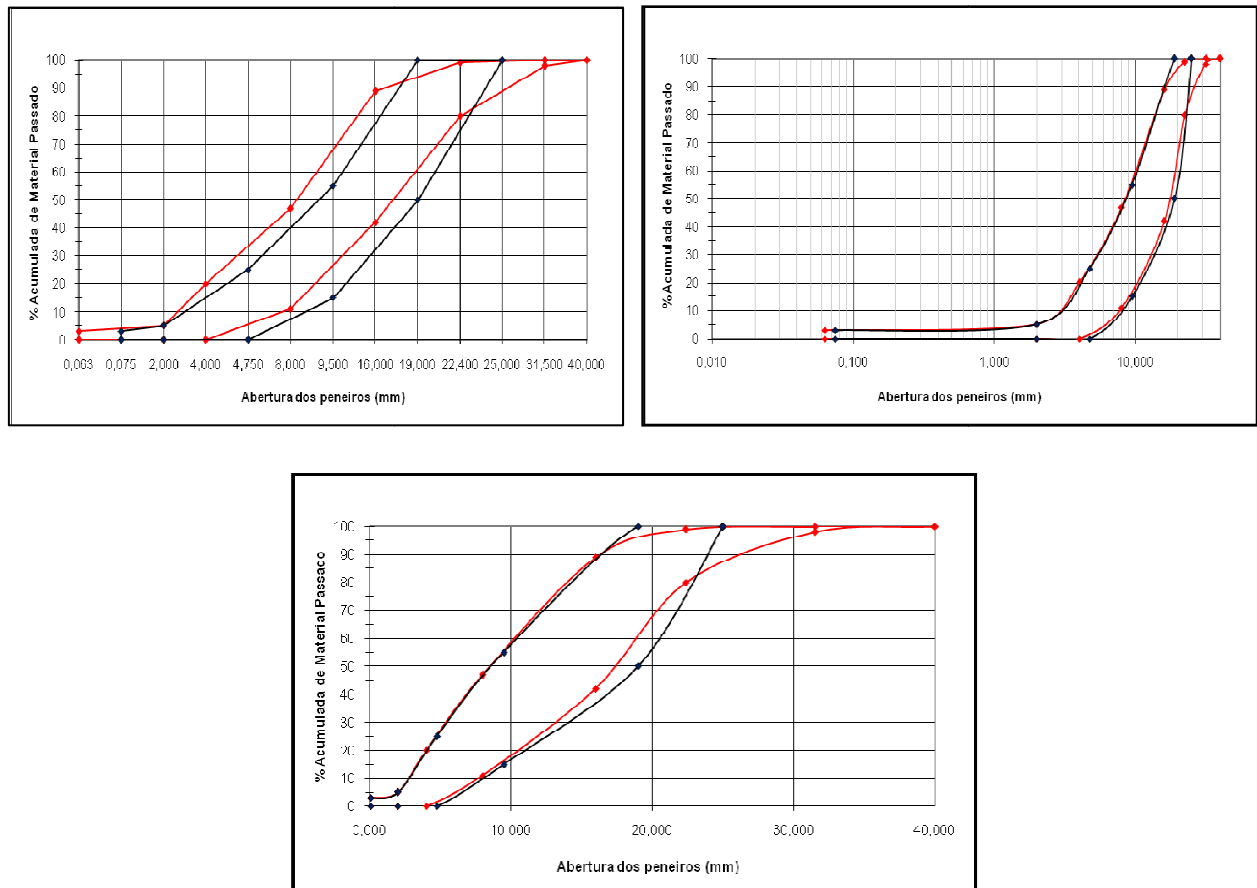


Gráfico 11 – Representações gráficas dos fusos G₈₀ (EN- Normas europeias, assinalados a vermelho) e D (NP – Normas portuguesas, assinalados a azul) de acordo com os cadernos de encargos CETO2009 e CETO1998, respectivamente. (Gráficos A.4.3 do anexo IV)

Neste caso, torna-se evidente um estiramento dos extremos dos intervalos de aceitação, que é particularmente evidente no extremo correspondente ao material de maior dimensão. Isto é, enquanto o CETO1998 apenas admitia, material de dimensão nominal inferior a 25,00 milímetros, no CETO2009, este limite passa para 40,00 milímetros, o que corresponde a 160% do que era admitido no CETO1998

De uma forma geral, no que respeita às distribuições granulométricas, o CETO2009 parece manter, com alguns ajustamentos, aproximadamente as mesmas exigências do CETO1998. No entanto, parece-nos importante salientar que, na prática, estas variações poderão revelar-se significativas, na medida em que possibilitam a rejeição de um leque importante de materiais.

Em consequência da aplicação de diferentes normas, o CETO2009 exige a utilização de mais peneiros, facto que poderá conduzir a uma maior precisão na delineação da distribuição granulométrica. Contudo, nem sempre isso acontece, especialmente para os peneiros de malhas mais finas, onde o número de peneiros utilizado é por vezes inferior, como por exemplo no caso da granulometria G_B .

9. 2. Ensaio de equivalente de areia

Como já foi referido anteriormente, para este ensaio existem várias alterações a ter em conta, tanto no que se refere aos equipamentos envolvidos, como nas características dos provetes a submeter a ensaio.

Relativamente às alterações nos equipamentos, não parecem significativas, ao ponto de por si próprias poderem alterar os resultados do ensaio, pois prendem-se apenas com o ângulo entre as duas aberturas na ponteira do tubo de lavagem.

Mas, o mesmo não acontece quando atentamos para as alterações verificadas nas características dos provetes a ensaiar e na sua preparação, as quais poderão ser importantes.

No caso de um provete de um agregado de granulometrias extensa, os resultados, embora sejam diferentes, não serão tão afectados como no caso de um provete que possua uma grande percentagem de material retido entre os peneiros de 2 e 4,76 milímetros. Tal acontece porque, ao preparar-se uma amostra para ensaio, pela antiga norma portuguesa, separa-se o material constituído por partículas de dimensão inferior a 4,76 milímetros, ao passo que no caso da nova norma, separa-se apenas o material constituído pelas partículas de dimensão inferior 2,00 milímetros.

Assim, para este último caso referido, rejeita-se a massa de partículas de dimensão ente 2,00 e 4,76 milímetros que, de acordo com a antiga norma, estariam presentes no provete a sujeitar a ensaio, incrementando significativamente a percentagem de finos, fazendo baixar o valor de equivalente de areia. Esta situação será mais evidente, quanto maior for a percentagem de material de dimensão superior a 2 milímetros e inferior a 4,76 milímetros, presente na amostra. Isto,

claro está, considerando uma mesma amostra pois, diferentes amostras poderão ter diferentes variações deste parâmetro, quando associados a este factor.

Muito embora a nova norma admita a possibilidade de execução deste ensaio em material composto por partículas de dimensão inferior a 4,00 milímetros, a verdade é que os limites estabelecidos no CETO2009 se referem a provetes de ensaio constituídos por partículas de dimensão inferior 2,00 milímetros.

Pela análise dos quadros 26 e 27 pode perceber-se que para muitas das aplicações este ensaio deixa de ser exigido, mantendo-se apenas a exigência do ensaio de azul-de-metileno como controlo da qualidade dos finos.

Já, nas situações em que o CETO2009 mantém a exigência da determinação do equivalente de areia, o seu limite é mantido ou sofre pequenas alterações. De qualquer modo, atendendo às diferenças entre as normas de ensaio anteriormente referidas e às variações decorrentes da aplicação das duas normas concluí-mos que, as diferenças nos resultados obtidos, poderão não ser compensados com a alteração dos limites de validação constantes no novo caderno de encargos.

No caso concreto das amostras ensaiadas, muito embora cumpram os CETO2009, verifica-se que a descida do limite de validação do valor de equivalente de areia, quando se compara o resultado obtido pela norma europeia com o obtido pela aplicação da norma portuguesa, foi mais expressiva do que as descidas ocorridas no CETO2009 quando comparado com o prescrito no CETP1998. Assim, nas situações em que no CETO2009 se mantém a exigência da execução deste ensaio, na prática, os valores requeridos poderão ser mais restritivos levando à rejeição de materiais que, pelo CETO1998, seriam naturalmente considerados como aptos para uma determinada aplicação.

Este aspecto torna-se naturalmente mais evidente para os solos que para os agregados. Exemplo disso é a descida do valor limite exigido no CETO2009 para este ensaio, que desce de 45% para 30%. Nestas situações importa atentar para o facto de ambos os cadernos de encargos (CETO1998 e CETO2009) se basearem na mesma norma de ensaio, pelo que a descida do valor limite mínimo exigido para este ensaio veio alargar significativamente o leque de aceitação dos materiais, para as aplicações em causa.

9. 3. Ensaio de peso específico e absorção de água

Devido à inexistência de vários equipamentos específicos para a execução deste ensaio segundo a norma europeia EN 1097 – 6, não foi possível sujeitar as amostras em estudo a este ensaio, pelo que se torna impossível estabelecer, neste âmbito, uma comparação entre a norma europeia e a norma portuguesa que lhe é “equivalente”.

Ao analisar ambas as normas, pode observar-se que existem várias diferenças, tanto ao nível dos equipamentos a utilizar, como ao nível dos provetes a sujeitar a ensaio, como aos procedimentos de ensaio.

Por este motivo não se estima qualquer perspectiva sobre quais serão as tendências de variação dos valores resultantes da utilização da norma europeia, nem se pode comparar a variação de resultados que se prevê, numa perspectiva de comparação para a aplicação da norma europeia e da norma portuguesa numa mesma amostra.

Relativamente às diferenças entre cadernos de encargos sublinha-se o facto de, aparentemente, este ensaio perder alguma relevância, dado que o CETO2009 apenas exigirá a declaração do peso específico e da absorção de água, para grande parte das aplicações. Mesmo para a maior parte das situações em que continua a ser exigido o valor de absorção de água, este parâmetro apenas serve como primeiro teste de despistagem para a aceitação do material, não sendo, por si só, factor de rejeição.

Exceptuam-se somente os materiais para a produção de misturas betuminosas a frio, onde o valor de absorção de água passa a ter um limite máximo igual ou inferior a 2% para ABGE tratado com emulsão betuminosa, e igual ou inferior a 1% para misturas betuminosas abertas a frio.

9. 4. Ensaio de azul-de-metileno

À semelhança do que se descreve para outros ensaios, também neste caso se verificam algumas diferenças quer nas normas de ensaio a utilizar, quer nas exigências expressas nos cadernos de encargos (CETO1998 e CETO2009).

No que concerne às normas de ensaio, umas das diferenças mais notórias prende-se com as características dos provetes a sujeitar a ensaio. Enquanto na norma Portuguesa os provetes eram de aproximadamente 30 gramas de material de dimensão inferior a 0,08 milímetros, na norma europeia, são estabelecidas duas possibilidades. Para a determinação do valor de azul-de-metileno teremos provetes de aproximadamente 200 gramas de material passado no peneiro de malha de abertura de 2,00 milímetros e, para a determinação do valor de azul-de-metileno dos finos teremos provetes de aproximadamente 30 gramas de material passado no peneiro de malha de abertura de 0,125 milímetros.

Assim, será sempre difícil estabelecer uma relação entre os resultados obtidos pela aplicação das duas normas de ensaio, pelo facto de esta depender da distribuição granulométrica da amostra a ensaiar, entre outros factores.

Outro aspecto interessante tem que ver com as unidades de medida em que são expressos os resultados. Enquanto na norma portuguesa os valores vêm expressos em gramas de azul por cada 100 gramas de provete, na norma europeia o resultado vem expresso em gramas de azul por quilograma de provete ensaiado. Isto faz com que, à primeira vista, os resultados obtidos aparentem ser dez vezes superiores, quando, na realidade, apenas surgem expressos com ordem de grandeza distinta.

Relativamente a este ensaio, o antigo CETO1998 estabelece dois tipos de exigências, dependendo das aplicações a que se destinavam os materiais. Assim, numas situações era solicitado o valor de azul-de-metileno e, noutras situações, o valor de azul-de-metileno corrigido.

Já no CETO2009 é solicitado o valor de azul-de-metileno (MB) ou o valor de azul-de-metileno dos finos (MB_F).

Pela apreciação dos quadros 26 e 27, pode verificar-se que existe uma maior proximidade entre os valores exigidos nas situações em que no CETO2009 é solicitado o valor de MB_F , o que já seria espectável, dada a maior semelhança nos provetes a submeter a ensaio.

Sublinha-se ainda as diferenças na exigência estabelecida no ponto 1.1.1., em ambos os cadernos de encargos, que se podem observar nos quadros 26 e 27, dado os valores estabelecidos serem respeitantes à aplicação da mesma norma. No

entanto, enquanto no CETO1998 era solicitado o valor de azul-de-metileno corrigido, CETO2009 é solicitado o valor de azul-de-metileno.

9. 5. Ensaio de Índice de Forma

Este ensaio embora tenha diferente denominação é o que mais se aproxima do ensaio de índice de alongamento.

Tal como já foi referido no ponto 6.6.3. embora os princípios em que ambas as normas se baseiam sejam semelhantes o estabelecimento de uma relação entre ambos, é um exercício complexo.

Tendo em conta que L representa o comprimento, E representa a espessura e TN representa o tamanho nominal temos, por um lado a norma portuguesa que classifica as partículas como não alongadas quando $L < 1.8TN$, e a norma europeia que classifica as partículas são cúbicas quando $L \leq 3E$. Por outras palavras, seria intuitivo pensar que o valor de índice de forma fosse de aproximadamente 0.6 do valor de índice de alongamento, para uma mesma amostra.

Contudo, não se poderá simplificar esta relação entre as classificações, uma vez que existem outras diferenças entre as normas. Por ventura, uma das mais significativas advêm da substituição da noção de tamanho nominal pela espessura das partículas. Enquanto na norma portuguesa se estabelece como tamanho nominal de uma fracção, a média do valor das aberturas dos peneiros que lhe deram origem, na norma europeia todas as partículas são analisadas separadamente. Assim, muito embora no caso da nossa amostra os valores obtidos se aproximem da relação anteriormente referida a verdade é que não se poderá generalizar esta relação entre normas pois a relação entre tamanho nominal e espessura poderá variar significativamente.

Muito embora no CETO1998, sejam estabelecidos valores máximos de índice de alongamento, normalmente em associação com os valores de índice de lamelação, em muitas das aplicações de acordo com o CETO2009, o valor de índice de forma raramente é estabelecido, referindo-se apenas a classe do índice de achatamento. Deste modo, poderá dizer-se que é perceptível uma menor relevância dada a este ensaio no CETO2009.

9. 6. Ensaio de Índice de achatamento

Também neste caso, tal como no referido para o anterior, temos dois ensaios com nomes distintos que se baseiam nos mesmos princípios.

No caso da norma portuguesa, uma partícula é considerada como lamelar se tiver espessura mínima inferior a 0,6 do seu tamanho nominal (tendo como tamanho nominal, a média das aberturas dos peneiros que limitam a fracção). No ensaio de índice de achatamento, uma partícula é considerada como achatada se passar no peneiro de barras com metade da abertura correspondente à da abertura do peneiro de maior dimensão, que deu origem à fracção a que essa partícula pertence. Assim sendo, de modo simplificado poderia pensar-se que o valor de índice de lamelação corresponde aproximadamente a 1,2 vezes do valor do índice de achatamento. Contudo, também para este caso, a verdade é que existem outras diferenças entre as normas de ensaio, que invalidam esta relação simplificada entre os valores obtidos em ambas as normas.

Uma delas tem que ver com as fracções a prepara para ensaio. Pois cada uma das normas utiliza baterias de peneiros diferentes com aberturas diferentes o que faz com que as fracções a preparar para ensaio sejam compostas por partículas de dimensão diferentes.

Contrariamente ao que acontece com o ensaio de índice de forma, para o ensaio de índice de achatamento é notório o aumento na relevância que lhe é dada no CETO2009.

No CETO1998, regra geral, ou são solicitados ambos os ensaios (lamelação e alongamento) ou, simplesmente, não é solicitado nenhum dos dois. Já no CETO2009 e para grande parte das aplicações, é apresentado um valor limite unicamente para o índice de achatamento.

Como se pode ver pela comparação entre os quadros 26 e 27, para as situações em que no CETO1998 é estabelecido um valor limite de índice da lamelação, no CETO2009 é normalmente estabelecido um valor de índice de achatamento igual, exceptuando os pontos 1.2.1. e 1.2.2., em que o valor indicado no CETO2009 é menor em cinco pontos percentuais.

10. Considerações Finais

Ao longo deste trabalho foi possível perceber que, para boa parte das aplicações, as amostras sujeitas a ensaio cumprem ou estão muito próximas de cumprir os requisitos constantes tanto no CETO1998 como no CETO2009, tal como se pode verificar pela observação nos dados representados nos quadros 26 e 27.

Salienta-se ainda que, à luz de ambos os cadernos de encargos, as amostras ensaiadas têm melhores características como materiais de aplicação directa.

Importa referir que a amostra de material granítico foi sujeita a um processo de britagem numa central de britagem que não se encontrava preparada e afinada para este tipo de material. Assim, parece-nos que este facto foi determinante em grande parte das situações em que esta amostra não cumpre os requisitos constantes nos cadernos de encargos. Consideramos que, muito provavelmente, para essas situações a amostra cumpriria os pressupostos constantes nos Cadernos de Encargos, caso a britagem tivesse sido efectuada numa central preparada e afinada para este tipo de materiais.

As amostras ensaiadas foram, sempre que possível, sujeitas a ensaio tanto pelas normas nacionais como pelas novas normas europeias, ditas harmonizadas. Excepção foram os ensaios de Peso Especifico e Absorção de Água dos Inertes, para os quais não foi possível aceder à nova norma de ensaio europeia, e o ensaio de Desgaste pela Máquina de Los Angeles, para o qual não foi possível aceder aos equipamentos necessários para a executar segunda a nova norma de ensaio europeia.

De uma forma geral, verificou-se ser difícil, para um mesmo parâmetro, definir correlações entre o ensaio nacional e europeu, apesar de os princípios de base que norteiam o procedimento de ambas as normas ser similar.

Verifica-se, em cada par de normas estudadas e comparadas, a existência de variações entre elas, quer seja a nível dos procedimentos a aplicar quer seja com os equipamentos de ensaio.

Uma das diferenças mais notadas e constantes em cada par de normas comparadas, prende-se com os peneiros e/ou com as baterias de peneiros a utilizar na realização do ensaio. Esta diferença somada às anteriormente referidas faz com

que seja muito difícil, e por vezes inviável, estabelecer correlações entre normas nacionais e europeias, muitas vezes tomadas como “equivalentes”.

11. Bibliografia:

- Branco, F. C. (2003, Março) – Normalização Europeia e Marcação CE – Novos desafios, Comunicação apresentada no decorrer do seminário sobre agregados organizado pela ordem dos engenheiros.
- CETO1998 – caderno de encargos tipo obra de Março de 1998 da Estradas de Portugal, SA.
- CETO2009 – Caderno de encargos tipo obra de Fevereiro de 2009 (versão preliminar) da Estradas de Portugal, SA.
- Directiva n.º 89/106/CEE do conselho, de 21 de Dezembro de 1988 – Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 11/02/1989.
- Directiva n.º 93/68/CEE do conselho, de 22 de Junho de 1993 – Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 11/08/1993.
- Decreto-lei n.º 113/1993, de 10 de Abril – Diário da República - I Série – A, n.º 84, 10/04/1993.
- Decreto-lei n.º 270/2001, de 6 de Outubro – Diário da República – I Série – A, n.º232.
- Decreto-lei n.º 340/2007, de 12 de Outubro – Diário da República, 1.ª série — N.º 197
- Especificação LNEC; E 3/1952, s. d. – Determinação do peso específico e absorção de água dos inertes.
- Especificação LNEC, E 199/1967, Outubro 1967 – Solos – ensaio de equivalente de areia.
- Especificação LNEC, E 233/1969, Outubro 1970 – Agregados – análise granulométrica.
- Especificação LNEC, E 237/1970, Maio 1971 – Agregados – Ensaio de desgaste pela máquina de LOS ANGELES.
- Norma Europeia EN 1097-6/2000 – Tests for mechanical and physical properties of aggregates- part 6: Determination of particles density and water absorption.
- Norma Portuguesa NP EN 933-1/2000 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 1: Análise granulométrica, Método de peneiração.

- Norma Portuguesa NP EN 933-2/1999 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 2: determinação da distribuição granulométrica, Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas.
- Norma Portuguesa NP EN 933-3/2002 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 3: Determinação da forma das partículas, Índice de achatamento.
- Norma Portuguesa NP EN 933-4/2002 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 4: Determinação da forma das partículas, Índice de forma.
- Norma Portuguesa NP EN 933-8/2002 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 8: Determinação do teor de finos, Ensaio de equivalente de areia.
- Norma Portuguesa NP EN 933-9/2002 – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados - Parte 9: Determinação do teor de finos, Ensaio de azul-de-metileno.
- Norma Portuguesa NP EN 1097-1/2002 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste (micro-Deval)
- Norma Portuguesa NP EN 1097-2/2002 – Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 2: Método de determinação da resistência à fragmentação.
- Norma Portuguesa NP EN 12620/2003 – Agregados para Betão
- Norma Portuguesa NP EN 13043/2003 – Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação
- Norma portuguesa NP 13242/2002 – Agregados para materiais tratados com ligantes hidráulicos e materiais não tratados utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária.
- Norma portuguesa NP 13285/2008 – Misturas não ligadas, Especificações.
- Norma Portuguesa NP 18-592/ 1990 – Determinação do valor de azul-de-metileno de um agregado pelo ensaio da mancha.
- Serviços Geológicos de Portugal, Carta geológica de Portugal, folhas 40 A e 42 C.
- Serviços Geológicos de Portugal, Carta geológica de Portugal, Notícia explicativa da folha 40 A.

- Serviços cartográficos do exército, Carta militar de Portugal, folha 515 A.
- Serviços cartográficos do exército, carta militar de Portugal, folha 516.
- Brisa SA, procedimento normativo P – 812, Baseado da BS-812
- Brisa SA, procedimento normativo P – 813, Baseado da BS-813