

# Materiais das escombrelas das Pedreiras do Poio em pavimentos rodoviários: comportamento geotécnico para condições portuguesas

Sónia Velez / Rosa Luzia

Departamento de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco  
son.velez@gmail.com / rluzia@ipcb.pt

Área Científica - CT 11

## Resumo

Em Portugal, os pavimentos rodoviários, nomeadamente as suas camadas não ligadas, são construídos, maioritariamente, com agregados naturais, geralmente britados. Grande parte da exploração de agregados que ocorre a nível nacional, com consequências económicas e impactes ambientais daí resultantes, utiliza-se neste tipo de estruturas.

Por todo o País, existem indústrias extrativas de rocha com produção elevada de escombrelas, as quais levantam sérios problemas ambientais e cujos materiais poderiam, eventualmente, ser utilizados nas camadas não ligadas bem como na fundação de pavimentos rodoviários.

Um exemplo deste problema ocorre no denominado núcleo de pedreiras do Poio, Vila Nova de Foz Côa, em pleno Parque Arqueológico do Vale do Côa, onde os materiais xistosos são extraídos produzindo um grande volume de escombrelas.

Nesta comunicação apresentam-se os resultados da caracterização geotécnica daqueles materiais bem como as principais conclusões com vista à sua utilização na fundação de pavimentos rodoviários, à luz das especificações utilizadas em Portugal.

**Palavras-chave:** Camadas não ligadas; Complexo Xisto-Grauváquico; Escombrelas; Pavimentos Rodoviários; Pedreiras do Poio

## 1. Introdução

O "Complexo Xisto-Grauváquico", conjunto litológico de origem metamórfica, usualmente de baixo grau de metamorfismo, aflora em Portugal e Espanha numa faixa de grande desenvolvimento, com orientação aproximada NW - SE, e que a sul coincide, aproximadamente, com a falha Porto - Coimbra- Badajoz - Córdoba. Em Portugal aflora ao longo da Zona Cento Ibérica, desde o Vale do Douro até à Beira Baixa, na zona de Castelo Branco, representando uma importante fatia da litologia portuguesa.

No denominado núcleo de pedreiras do Poio, Vila Nova de Foz Côa, interior centro de Portugal, desde meados do século XIX que este tipo de materiais são explorados para esteios e, mais recentemente, para diferentes aplicações na construção civil. No entanto, dada a natureza dos materiais a sua extração está associada à produção de grande quantidade de escombrelas, levantando graves problemas ambientais na região.

Nesta comunicação avalia-se o comportamento geotécnico daqueles materiais, após britagem, com vista à sua utilização na fundação de pavimentos rodoviários, à luz de especificações portuguesas, nomeadamente do Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1].

O objetivo é, no âmbito de uma dissertação de mestrado, contribuir para o aproveitamento deste tipo de material e sucessivamente para a redução deste tipo de impactes ambientais na zona envolvente das pedreiras.

## 2. Materiais Utilizados

No trabalho desenvolvido foi utilizado material britado proveniente das escombrelas de uma das pedreiras do denominado núcleo de pedreiras do Poio, Vila Nova de Foz Côa, sendo que, nesta zona, aflora o Complexo Xisto-Grauváquico.

Assim, foi ensaiada uma amostra de material xistento, de cor castanho acinzentado, identificado na zona como “oxidado”, o qual foi britado sob responsabilidade da empresa que explora a pedreira onde se procedeu à recolha do mesmo.

### 3. Caracterização Geotécnica

#### 3.1. Considerações iniciais

Sobre a amostra recolhida foi realizado um conjunto de ensaios de laboratório com vista à avaliação das suas características geotécnicas, os quais se apresentam nas secções que se seguem.

Os ensaios têm como finalidade a avaliação das características geotécnicas dos materiais em estudo, nomeadamente no que respeita a granulometria, compactação, plasticidade, qualidade dos finos, limpeza, resistência ao enfraquecimento e desintegração quando submetido a desgaste em meio húmido e em meio seco, degradabilidade e fragmentabilidade, resistência à fragmentação e forma do agregado.

#### 3.2. Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada segundo a especificação LNEC E196 [2] e segundo a norma NP EN 933-1 [3]. A partir dos resultados médios obtiveram-se as curvas granulométricas que se apresentam nas figuras 1 e 2, respectivamente.

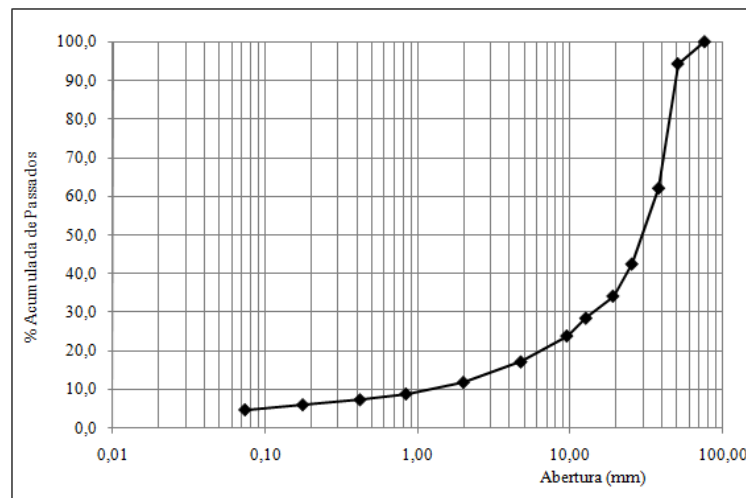


Figura 1 - Curva granulométrica, especificação LNEC E196 [2]

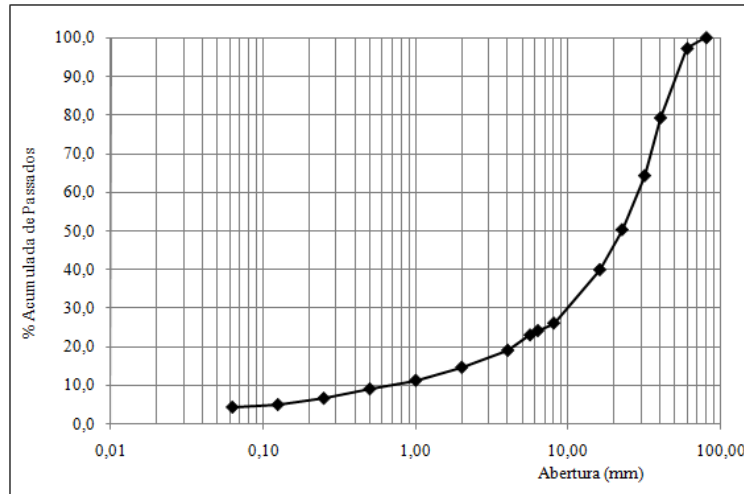


Figura 2 - Curva granulométrica do material, norma NP EN 933-1 [3]

### 3.3. Limites de Consistência

Os limites de consistência, limite de liquidez e limite de plasticidade, foram obtidos a partir dos procedimentos constantes da norma NP 143 [4]. Os resultados obtidos, incluindo o índice de plasticidade, são os que se apresentam na tabela 1.

Tabela 1- Resultados dos limites de consistência e índice de plasticidade, norma NP 143 [4]

Parâmetro	Resultados (%)
Limite de liquidez	23
Limite de plasticidade	18
Índice de plasticidade	5

### 3.4. Ensaio de Equivalente de Areia

No ensaio de equivalente de areia, realizado segundo a especificação LNEC E199 [5] e segundo a norma NP EN 933-8 [6], obtiveram-se os valores médios de 42% e 56%, respetivamente.

### 3.5. Ensaio do Azul de Metileno

O ensaio do azul de metileno foi realizado segundo a norma NF P18-592 [7], obtendo-se um valor de adsorção de azul de metileno de 0,40 g/100g, e segundo a norma NP EN 933-9 [8] sendo que o valor de azul de metileno (MB) obtido foi de 2,25 g/kg.

### 3.6. Ensaio de Desgaste em Meio Húmido (*Slake-Durability Test*)

Na realização do Ensaio de Desgaste em Meio Húmido foi seguido o procedimento sugerido em 1981 pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas [9], bem como o procedimento sugerido por Monteiro [10], que consiste em sujeitar o provete a sete ciclos de molhagem - secagem, determinando o índice de desgaste em meio húmido após o 7º ciclo, Id7 (%). Os resultados obtidos segundo os dois procedimentos encontram-se na tabela 2.

Tabela 2- Resultados do ensaio de desgaste em meio húmido

Id <sub>1</sub> (méd)	Id <sub>2</sub> (méd)	Id <sub>7</sub> (méd)
(%)		
99	98	96

### 3.7. Ensaio de Degradabilidade

O ensaio de degradabilidade foi efectuado segundo a NF P 94-067 [11], sobre provetes das fracções granulométricas 10/20 e 40/80. O coeficiente de degradabilidade (DG), obtém-se da relação entre o D<sub>10</sub> antes do primeiro ciclo (D<sub>10</sub> A. 1º Ciclo) e o D<sub>10</sub> após o quarto ciclo (D<sub>10</sub> D. 4º Ciclo), de acordo com a equação 1. O coeficiente de degradabilidade (DG) encontrado para qualquer das granulometrias foi de 1 %.

$$DG = \frac{D_{10} \text{ A. } 1^{\circ} \text{ Ciclo}}{D_{10} \text{ D. } 4^{\circ} \text{ Ciclo}} \quad (1)$$

### 3.8. Ensaio de Fragmentabilidade

O ensaio de fragmentabilidade foi efectuado segundo a NF P 94-066 [12], sobre provetes das fracções granulométricas 10/20 e 40/80. O coeficiente de fragmentabilidade (FR), obtém-se da relação entre o D<sub>10</sub> antes da compactação (D<sub>10</sub> A.Compact.) e o D<sub>10</sub> depois da compactação (D<sub>10</sub> D.Compact.), de acordo com a equação 2. O coeficiente de fragmentabilidade (FR) encontrado, para ambas as granulometrias, foi de 2 %.

$$FR = \frac{D_{10} \text{ A. Compact.}}{D_{10} \text{ D. Compact.}} \quad (2)$$

### 3.9. Ensaio de Compactação Pesada tipo *Proctor*

Do ensaio de compactação pesada em molde grande, realizado segundo a especificação LNEC E 197 [13], obteve-se a curva de compactação apresentada na figura 3. Analisando aquela curva verifica-se que para um teor em água óptimo de 7,6 % se obteve um peso específico seco máximo de 13,62 kN/m<sup>3</sup>.

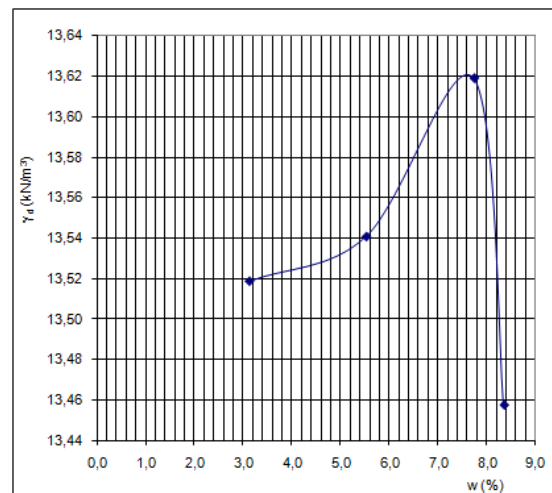


Figura 3 - Curva de compactação [13]

### 3.10. Ensaio de Desgaste pela Máquina de Los Angeles

O ensaio de desgaste pela máquina de *Los Angeles* foi efectuado segundo a especificação LNEC E 237 [14], com a composição granulométrica tipo F e segundo a norma NP EN 1097-2 [15], sobre a fração granulométrica 10/14 mm. Obtiveram-se os valores médios de 42% e 40%, respetivamente. Segundo a norma NP EN 13242 [22], o material, quando ensaiado pela norma NP EN 1097-2 [15] classifica-se como  $LA_{40}$ .

### 3.11. Índice de forma de agregado grosso

Em relação ao Índice de forma de agregado grosso, SE, realizado de acordo com a norma NP EN 933-4 [16] sobre a fração granulométrica 31,5/63 mm, obteve-se o valor médio de 50%.

### 3.12. Índices de forma

Os valores médios encontrados para os índices de lamelação e alongamento foram de 30% e 41%, respetivamente.

O índice de achatamento foi efetuado segundo a norma NP EN 933-3 [17], no qual se obteve o valor de 19%. Segundo a norma NP EN 13242 [22] o material classifica-se como  $Fl_{20}$ .

### 3.13. Determinação da Resistência ao Desgaste (*Micro-Deval*)

O ensaio de resistência ao desgaste (*Micro-Deval*) foi efectuado segundo a norma NP EN 1097-1 [18]. Os valores obtidos com o agregado em meio húmido e com o agregado em meio seco foram 60% e 6%, respetivamente.

## 4. Análise de Resultados

### 4.1. Considerações iniciais

A análise de resultados será efectuada à luz do Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1]. Os resultados dos ensaios serão analisados com vista à sua utilização em aterro e leito do pavimento de pavimentos rodoviários.

### 4.2. Materiais para aterro

#### 4.2.1. Solos

Na tabela 3 apresentam-se as características a respeitar pelos solos a utilizar em aterro segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] e as mesmas características para o material em estudo.

Tabela 3 - Solo para aterro: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP [1]

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP [1]	Resultados obtidos	Análise
Material retido no peneiro 19 mm ASTM [2]	≤ 30%	>30%	Não verifica
Classificação unificada [19]	De acordo com quadro 1 do CE da EP [1]	GW-Cascalho bem graduado	Verifica em todos os locais do aterro
Classificação para fins rodoviários [20]	Pertencente aos grupos A-1, A-2 e A-3	A-1-a (0)	Verifica para a parte superior dos aterros

#### 4.2.2. Materiais rochosos (enrocamentos)

Na tabela 4 apresentam-se as características a respeitar pelos materiais rochosos a utilizar em aterro segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] e as mesmas características para o material em estudo.

Tabela 4 - Materiais rochosos para aterro: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP [1]

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP [1]	Resultados obtidos	Análise
Desgaste na máquina de Los Angeles [14]	<45%	42%	Verifica, rocha dura
Índice de fragmentabilidade [12]	Não requerido, uma vez que se trata de uma rocha dura	2%	-
Material passado no peneiro 25 mm ASTM [2]	≤30%	42,6%	Não verifica
Material passado no peneiro 0,074 mm ASTM [2]	≤12%	4,9%	Verifica
Índice de lamelação	<30%	30%	Não verifica
Índice de alongamento	<30%	41%	Não verifica

O Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] refere, ainda, que para aterros com alturas superiores a 20 metros se deve dar especial importância, entre outros, ao ensaio de desgaste em meio húmido [9] e [10]. Para o material em estudo obteve-se um Índice de Desgaste em Meio Húmido para o 2º ciclo, Id2 (%), de 98 %, podendo, assim, classificar-se, segundo Gamble [21], como material de durabilidade alta.

#### 4.2.3. Materiais do tipo solo-enrocamento

Na tabela 5 apresentam-se as características a respeitar pelos materiais do tipo solo-enrocamento a utilizar em aterro segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] e as mesmas características para o material em estudo.

Tabela 5 - Materiais do tipo solo-enrocamento para aterro: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP [1]

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP [1]	Resultados obtidos	Análise
Material retido no peneiro 19 mm ASTM [2]	>30% e <70%	65,8%	Verifica
Material passado no peneiro 0,074 mm ASTM [2]	>12% e <40%	4,9%	Não verifica

O Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1] refere, ainda, que para aterros com alturas superiores a 20 metros se deve dar especial importância, entre outros, ao ensaio de desgaste em meio húmido [9] [10]. Para o material em estudo obteve-se um Índice de Desgaste em Meio Húmido para o 2º ciclo, Id2 (%), de 98 %, podendo, assim, classificar-se, segundo Gamble [21], como material de durabilidade alta.

#### 4.2.4. Materiais para aterro: conclusão

A partir da análise feita nesta secção pode concluir-se que, de acordo com os resultados da caracterização geotécnica realizada, o material não pode ser utilizado em aterro, o que se deve à sua granulometria e forma das partículas (índice de lamelação e índice de alongamento).

### 4.3. Materiais para leito do pavimento

#### 4.3.1. Solos Seleccionados

Os materiais para camadas de leito do pavimento com solos, deverão, segundo o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1], obedecer às características que constam na tabela 6. Nesta tabela apresentam-se, também, os resultados obtidos para os materiais em estudo.

Tabela 6 - Solo para leito de pavimento: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP [1]

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP [1]	Resultados obtidos	Análise
Dimensão máxima [2]	≤75 mm	75mm	Verifica
Material passado no peneiro n.º200 ASTM [2]	≤20%	4,9%	Verifica
Limite de liquidez [4]	≤25%	23%	Verifica
Índice de plasticidade [4]	≤6%	5%	Verifica
Equivalente de areia [5]	≥30%	42%	Verifica
Valor do azul de metileno [7]	≤2,0g/100g	0,4g/100g	Verifica

#### 4.3.2. Materiais granulares britados

No que respeita à granulometria dos materiais granulares britados a utilizar em leito do pavimento, o Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1], define um fuso

granulométrico, o qual se apresenta na Figura 4. Na mesma figura apresenta-se a curva granulométrica obtida para os materiais em estudo recorrendo à norma NP EN 933-1 [3].

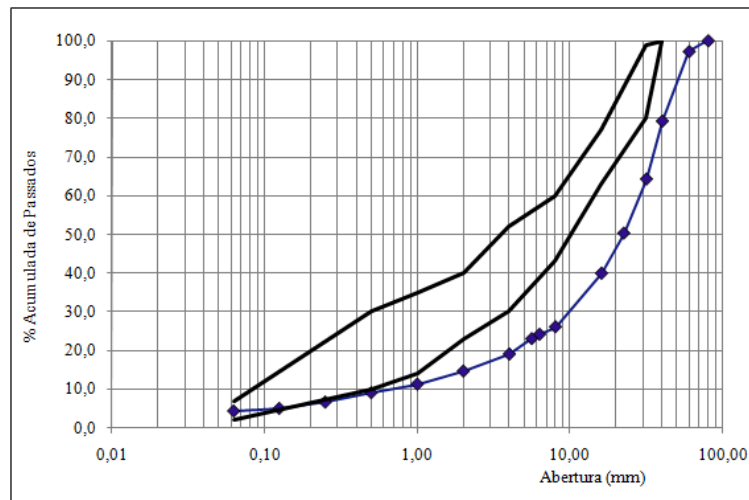


Figura 4 - Curva granulométrica do material, norma NP EN 933-1 [3], comparação com fuso granulométrico previsto Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1]

Analisando a figura 4 verifica-se que a curva granulométrica do material em estudo se encontra, toda ela, fora do fuso definido.

Os restantes requisitos do Caderno de Encargos Tipo Obra da EP [1] são apresentados na tabela 7. Na mesma tabela apresentam-se os resultados obtidos para o material em estudo.

Tabela 7 - Materiais granulares britados para leito de pavimento: comparação de resultados com o requerido pelo CE da EP [1]

Parâmetros	Requerido pelo CE da EP [1]	Resultados obtidos	Análise
Desgaste na máquina de Los Angeles [15]	>35% e ≤ 40% ( $LA_{40}$ )	$LA_{40}$	Verifica
Coeficiente micro-Deval [18]	>35% e ≤ 50% ( $M_{DE50}$ )	60%	Não verifica
Forma das partículas (achatamento) [17]	>20% e ≤ 35% ( $FI_{35}$ )	19% ( $FI_{20}$ )	Verifica
Teor de finos (material que passa no peneiro de 0,063 mm) [3]	>3% e ≤ 7% ( $f_7$ )	4,3% ( $f_7$ )	Verifica
Equivalente de areia [6]	≥ 35%	56%	Verifica
Valor do azul de metileno [8]	≤ 2,50 g/100g	2,25 g/100g	Verifica

#### 4.3.3. Materiais para leito do pavimento: Conclusões

De acordo com os resultados da caracterização já realizada, pode afirmar-se que o material em estudo pode ser utilizado em leito do pavimento, quando considerado como um solo não o podendo ser quando considerado como material granular britado, o que se deve à sua granulometria e à resistência ao desgaste por atrito.

## 5. Conclusões finais

Analisando os resultados da caracterização geotécnica do material xistoso em estudo, pode concluir-se que o mesmo é não plástico e, segundo o Guia Técnico para a Construção de Aterros e Leito do Pavimento (LCPC/SETRA, 1992, ref. por Luzia, R.C., 2006) [23] pode mesmo considerar-se que os finos são insensíveis à água, de acordo com os valores de adsorção de azul de metileno obtidos [7].

No que diz respeito ao desgaste em meio húmido, obteve-se um índice de desgaste após o 2º ciclo,  $I_d_2$  (%), de 98 %, podendo o material ser classificado, segundo Gamble [21], como tendo durabilidade alta.

Analisando os resultados à luz Caderno de Encargos Tipo Obra da Estradas de Portugal [1], com vista à sua aplicação em fundação de pavimentos rodoviários, verificou-se que o material não poderia ser utilizado em aterro devido à sua granulometria e forma das partículas (índice de lamelação e índice de alongamento).

No que respeita à aplicação em leito do pavimento verificou-se que o material poderia ser utilizado nesta camada quando considerado como solo, sujeito a confirmação com o ensaio de CBR, não o podendo, no entanto, quando analisado como material granular britado, o que se deve à sua granulometria e à resistência ao desgaste por atrito.

Pode afirmar-se, nesta fase dos trabalhos, e tendo em conta as razões apontadas para a não possibilidade de aplicação do material em fundação de pavimentos rodoviários, que o mesmo requer uma britagem mais adequada por forma a aproximar a granulometria do fuso granulométrico requerido.

## 6. Agradecimentos

Gostaria de agradecer-se à empresa SOLICEL - Sociedade do Centro Industrial de Esteios de Lousa, Lda. pela disponibilidade em colaborar no desenvolvimento deste trabalho, principalmente pelas facilidades concedidas na recolha do material.

## 7. Referências

- [1] EP. Caderno de Encargos Tipo Obra, Cap. 14.1. Estradas de Portugal, S. A., 2009.
- [2] LNEC. Análise Granulométrica. E 196, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1966.
- [3] IPQ. Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração. NP EN 933-1, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2000.
- [4] IGPAI. Determinação dos Limites de Consistência. NP-143, Inspeção Geral dos Produtos Agrícolas e Industriais, Lisboa, 1969.
- [5] LNEC. Ensaio de Equivalente de Areia. E 199 Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1967.
- [6] IPQ. Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 8: Determinação do Teor de finos. Ensaio do Equivalente de Areia. NP EN 933-8, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002.
- [7] AFNOR. Granulats. Essai au bleu de méthylène. Méthode à la tache. NF P 18-592, Association Française de Normalisation, 1990.
- [8] IPQ. Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 9: Determinação do Teor de Finos. Ensaio do Azul de Metileno. NP EN 933-9, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002.
- [9] ISRM. Suggested Method for Determination of the Slake - Durability Index". Rock Characterization Testing & Monitoring. ISRM Suggested Methods. Ed. E.T. Brown, Pregamon Press, 1981.
- [10] Monteiro, B. e Delgado Rodrigues, J. Método sugerido para a determinação do ensaio de desgaste em meio húmido [*Slake - Durability Test*]. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1994.

- [11] AFNOR. Sols: Reconnaissance et Essais. Coefficient de Dégradabilité des matériaux Rocheux. NF P 94-067, Association Française de Normalisation, 1992.
- [12] AFNOR. Sols: Reconnaissance et Essais. Coefficient de Fragmentabilité des matériaux Rocheux. NF P 94-066, Association Française de Normalisation, 1992.
- [13] LNEC. Ensaio de Compactação. E 197, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1966.
- [14] LNEC. Ensaio de Desgaste pela Máquina de Los Angeles. E 237, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1970.
- [15] IPQ. Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação. NP EN 1097-2, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002.
- [16] IPQ. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 4: Determinação da forma das partículas - Índice de forma. NP EN 933-4, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002.
- [17] IPQ. Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas - Índice de achatamento. NP EN 933-3, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2000.
- [18] IPQ. Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste [micro-Deval]. NP EN 1097-1, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2002.
- [19] ASTM. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes [Unified Soil Classification System]. D 2487-00, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, American Society for Testing and Materials, USA, 2001.
- [20] LNEC. Classificação para Fins Rodoviários. E 240, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1970.
- [21] Gamble, J. C.. Durability - Plasticity classification of shale and other argillaceous rocks. Phd. Thesis, University of Illinois, USA, 1971.
- [22] IPQ. Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária. NP EN 13242, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, 2005.
- [23] Luzia, R.C.. Estudo do Comportamento de Materiais Britados não Ligados em Pavimentos Rodoviários. Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 2006.