



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



TÉCNICO
LISBOA

SEMINÁRIO

Aplicação sustentável de **R**esíduos de **C**onstrução e **D**emolição (RCD)
em infra-estruturas rodoviárias

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E AMBIENTAL DOS RCD, EM LABORATÓRIO

Isabel M, Martins
Ana C, Freire
José Neves
António Roque
Gonçalo Faria





Enquadramento

- A análise dos benefícios e desvantagens associados à utilização de resíduos como materiais de construção requer uma adequada caracterização dos mesmos,
- No projeto Suprema estudaram-se resíduos incluídos nas principais fileiras de RCD
 - 17 01 Betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos
 - 17 03 Misturas betuminosas, alcatrão e produtos de alcatrão



Materiais

- Betão britado (B)
- Betão britado misto (BM)
- Mistura betuminosa britada (BET-B)
- Mistura betuminosa fresada (BET-F)
- Agregado natural (ABGE)

50/50

30/70



Caracterização física

Índice de achatamento (EN 933-3)

Índice de forma (NP EN 933-4)

Equivalente de areia (NP EN 933-8)

Azul de metileno (NP EN 933-9)

Coefficiente Micro Deval (NPEN 1097-1)

Coefficiente Los Angeles (NP EN 1097-2)





Caracterização física

Constituintes (NP EN 933-11)

Granulometria (NP EN 933-1)

Massas volúmicas (NP EN 1097-6)

Absorção de água (NP EN 1097-6)

Compactação Proctor (EN 13286-2)

Deteção qualitativa de alcatrão (*Staining test*)



Caracterização física

Parâmetros geométricos

Parâmetros	50B 50BM	BET-B	BET-F	30BET-F 70ABGE	ABGE
Índice de Achatamento (FI) [%]	8	9	17	-	-
Índice de Forma (SI) [%]	16	6	21	10	9

- A forma das partículas foi avaliada através do índice de achatamento e do índice de forma
- A mistura betuminosa fresada evidencia valores mais elevados mas que obedecem aos requisitos da EP para agregados naturais

Caracterização física

Parâmetros físicos

Parâmetros	50B 50BM	BET-B	30BET-F 70ABGE	ABGE
Equivalente de Areia (SE) [%]	92	84	47	37
Azul Metileno (MB) [g/1000g]	2.2	0.7	3.7	3.7

- A qualidade dos finos, expressa pelo valor do azul de metileno, pode ter um valor máximo de 1,0% de acordo com a especificação LNEC E 473
- A mistura betuminosa britada é a única que obedece a esse requisito.
- O equivalente de areia apresenta valores mais elevados para agregados de BET-B e 50B/50BM

Caracterização física

Parâmetros mecânicos

Parâmetros	50B 50BM	BET-B	30BET-F 70ABGE	ABGE
Coeficiente Micro-Deval	36	18	18	16
Coeficiente Los Angeles	44	25	27	28

- Os coeficientes que traduzem a resistência à fragmentação e ao desgaste dos agregados apresenta valores mais elevados para agregados maioritariamente constituídos por betão
- Todos os resultados cumprem os requisitos da especificação LNEC E473 (e também da LNEC E 474) em termos de valores individuais e de somatório dos coeficientes..

Caracterização física

Constituintes



FL - Volume de material flutuante

Rc - Betão ; Argamassa

Ru - Agregados não ligados ; Pedra natural ; Agregados tratados com ligantes hidráulicos

Ra - Materiais betuminosos

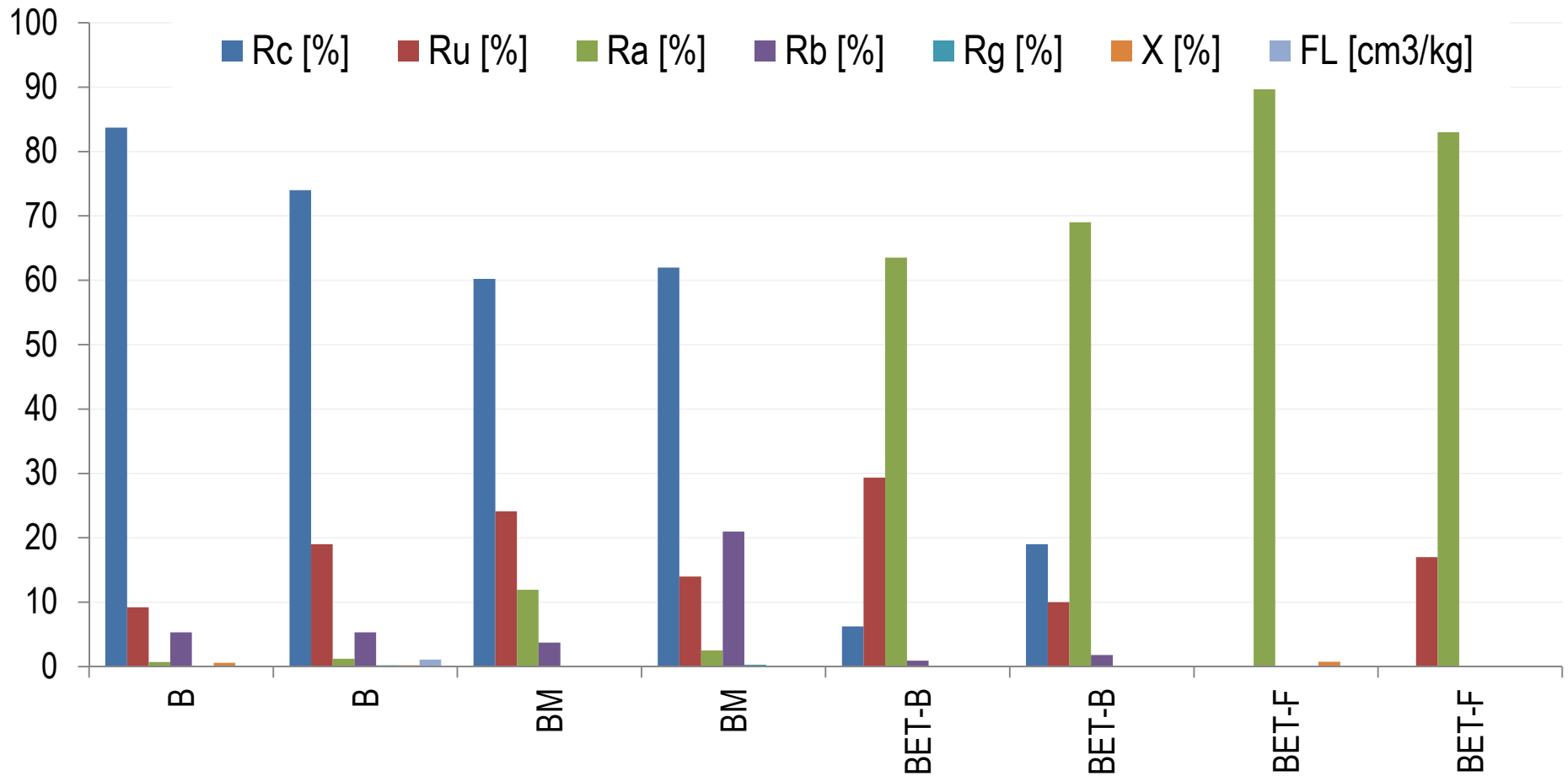
Rb - Elementos de alvenaria de materiais argilosos (tijolos, ladrilhos, telhas) ; Elementos de alvenaria de silicatos de cálcio ; Betão celular não flutuante

Rg – Vidro

X - Madeira; Metal ferroso e não ferroso; Borracha; Gesso; Partículas de argila e solo

Caracterização física

Constituintes



Caracterização física

LNEC E 473

Constituintes

As misturas betuminosas por si só não são passíveis de classificação pela especificação LNEC E 473

Classe	Proporção dos constituintes EN 13242:2002+A1:2007				
	$R_c + R_u + R_g$	R_b	R_a	FL	X
B	≥ 90	≤ 10	≤ 5	≤ 5	≤ 1
C	≥ 50	≤ 10	≤ 30	≤ 5	≤ 1

A mistura 50B/50BM enquadra-se na classe C



Caracterização física

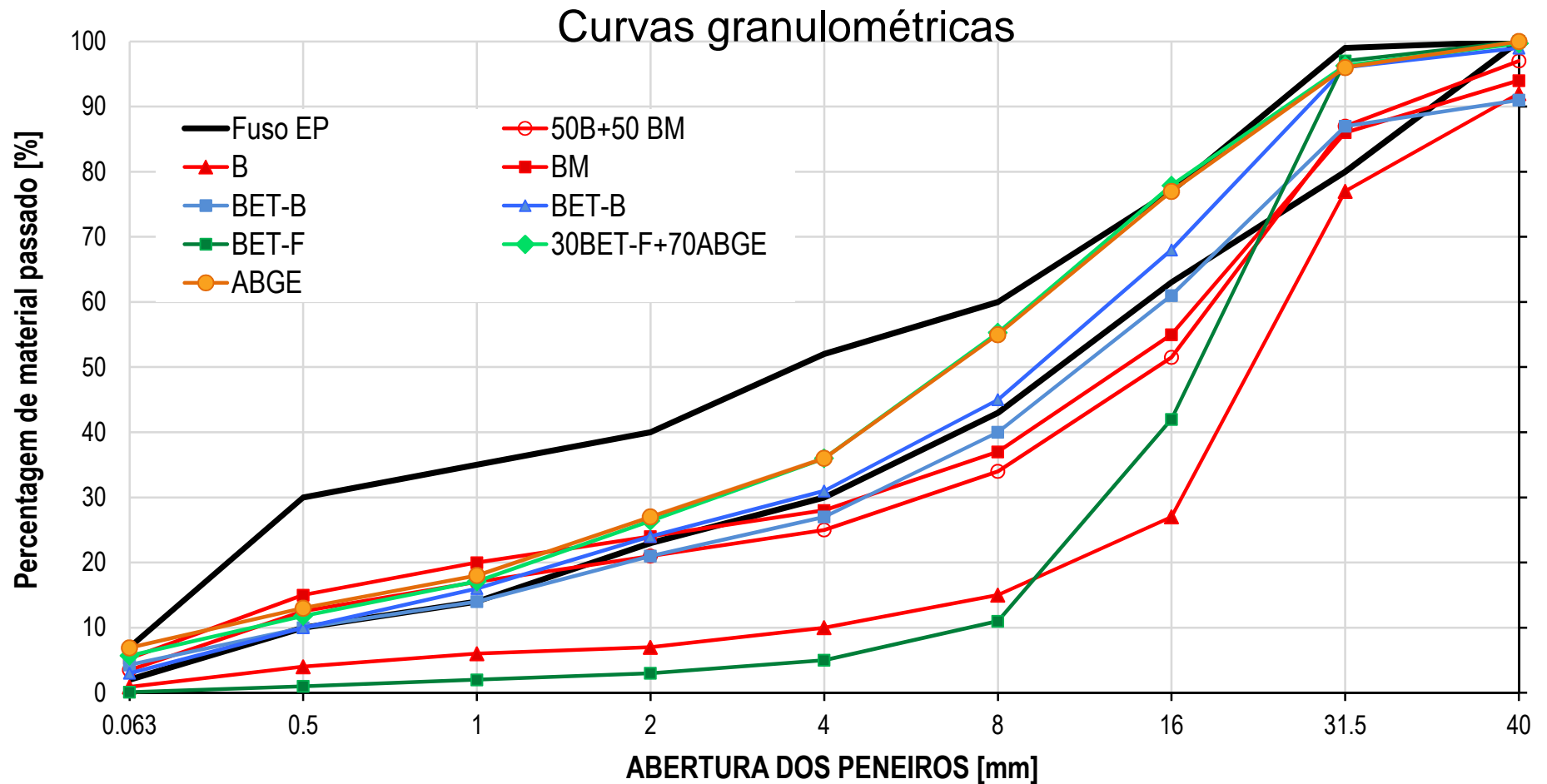
Constituintes

- Em termos de constituintes as misturas betuminosas britadas e fresadas podem ser classificadas na classe MB da especificação LNEC E 474 relativa à utilização de materiais reciclados de RCD em aterros e camada de leito de infraestruturas de transporte.



Caracterização física

Granulometria



Caracterização física

Massa volúmica

Parâmetros (Mg/m ³)	Fração	50 B 50 BM	BET-B	70 ABGE 30 BET-F	ABGE
Massa volúmica do material impermeável	4,0 / 31,5	2,551	2,481	2,629	2,704
Massa volúmica das partículas saturadas		2,355	2,409	2,573	2,637
Massa volúmica das partículas secas		2,228	2,361	2,538	2,597
Massa volúmica do material impermeável	0,063 / 4,0	2,472	2,122	2,557	2,685
Massa volúmica das partículas saturadas		2,371	2,116	2,520	2,627
Massa volúmica das partículas secas		2,302	2,111	2,496	2,592

Caracterização física

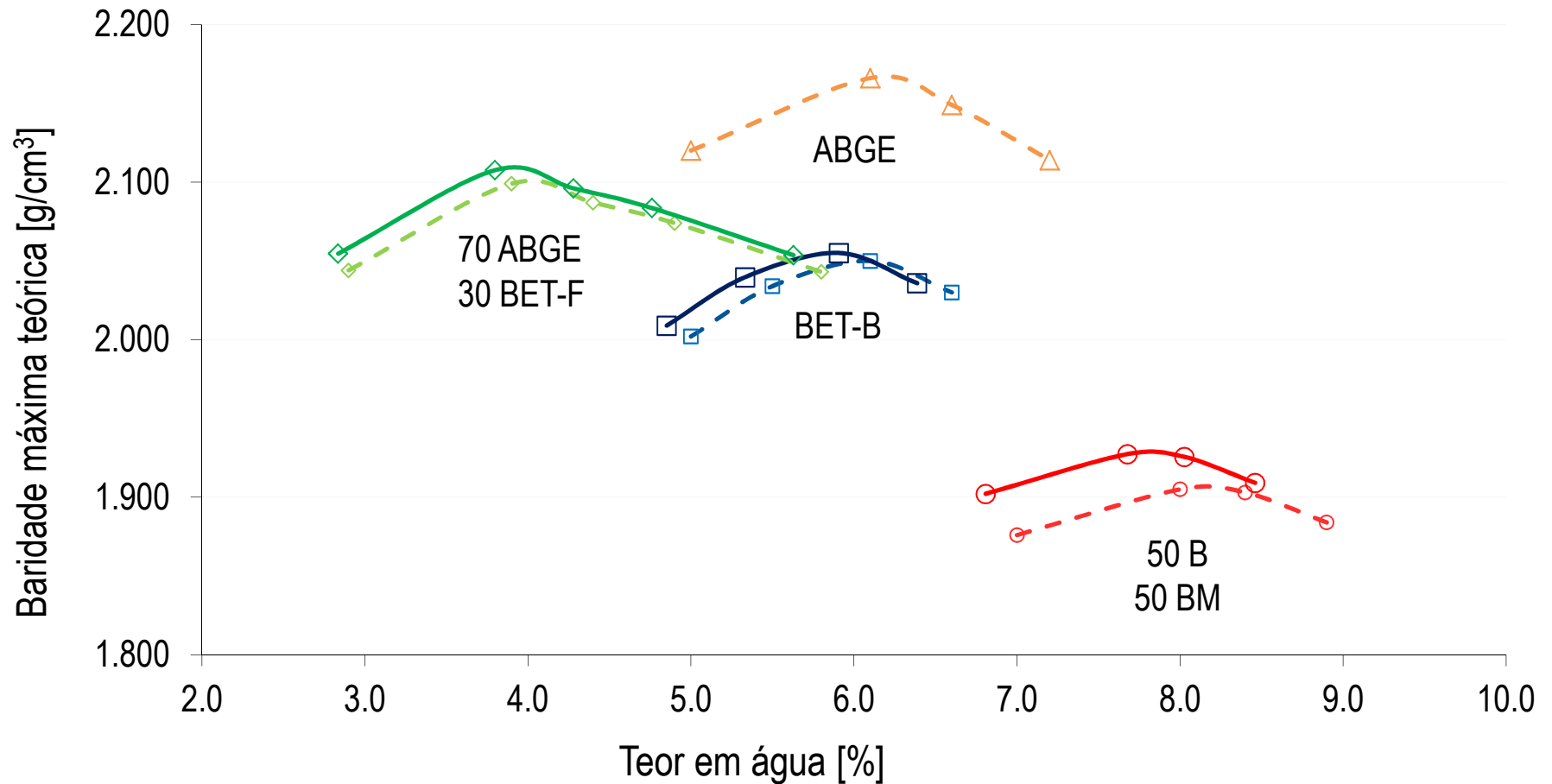
Absorção de água

Parâmetros	Fração	50B 50 BM	BET-B	70% ABGE 30% BET-F	ABGE
Absorção de água (%)	31,5 / 63,0	5,52	1,29	1,16	-
	4,0 / 31,5	5,67	2,05	1,35	1,50
	0,063 / 4,0	3,00	0,26	0,96	1,30

- A absorção de água em agregados reciclados, cujo constituinte maioritário é o betão, é mais elevada devido à presença da pasta de cimento

Caracterização física

Compactação Proctor





Caracterização física

Compactação Proctor

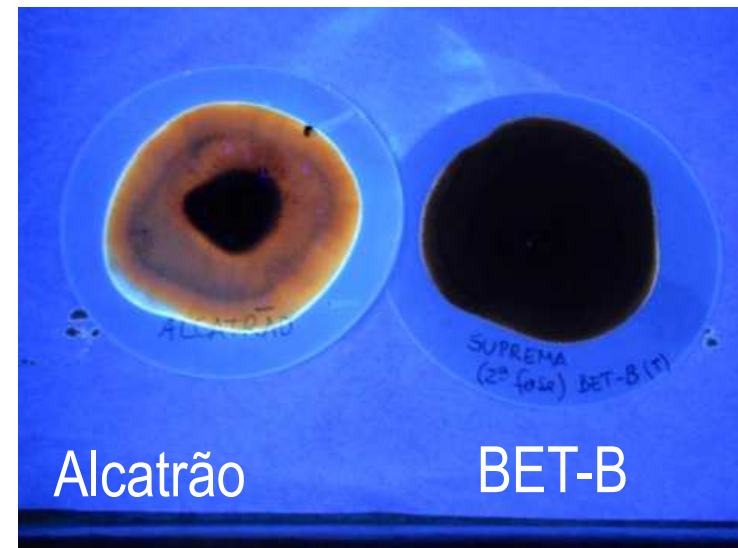
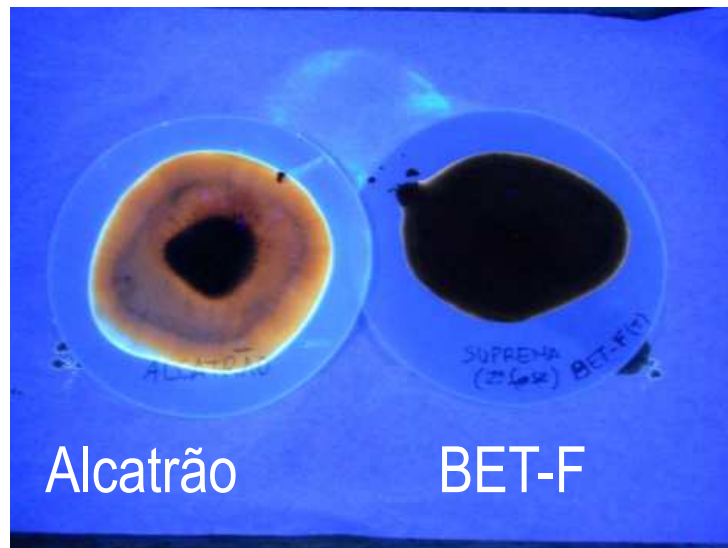
- O material reciclado com constituinte maioritário de betão evidencia um maior teor de água associado à menor massa volúmica, a qual indica a existência de maior índice de vazios e, como tal, maior capacidade de retenção da água.
- Na mistura betuminosa britada e na mistura betuminosa fresada misturada com agregado natural não se observa esta situação.

Caracterização física

Deteção alcatrão

A análise qualitativa da presença de alcatrão foi realizada com base na análise comparativa dos resultados obtidos para as misturas betuminosas e para uma amostra de alcatrão expostas à luz UV .

AUSÊNCIA DE ALCATRÃO



Caracterização química

Cumprir requisitos das especificações LNEC E 473 e E 474

- O teor de sulfatos solúveis em água é o único parâmetro químico exigido nas especificações LNEC E473 e E474.

Sulfatos, SO_4^{2-}	Solúveis em água (%)	Solúveis em ácido (%)
Betão britado (50B+50BM)	0.08	0.38
Mistura betuminosa britada (BET-B)	0.01	0.16
Mistura betuminosa resada (BET-F)	0.01	0.11
Agregado natural (ABJE)	0.01	0.07

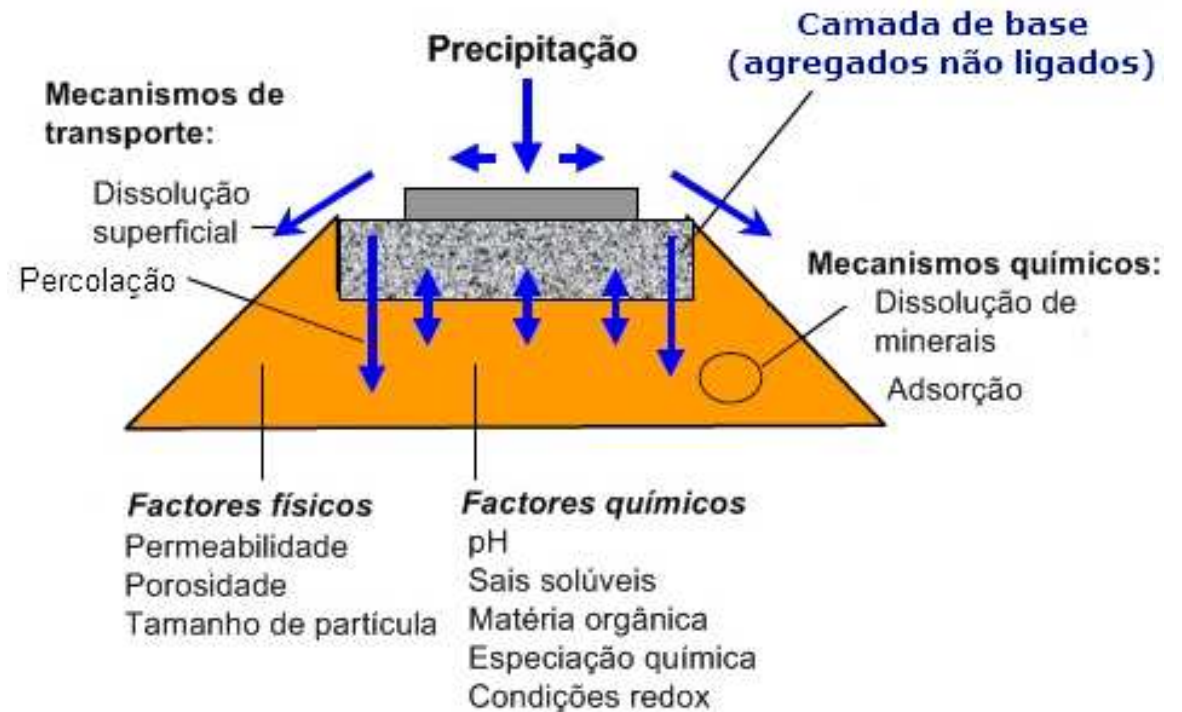
Caracterização ambiental

- A avaliação do comportamento ambiental dos materiais utilizados na construção requer o conhecimento do cenário de aplicação.



Caracterização ambiental

- A lixiviação consiste num conjunto de processos físicos, químicos e biológicos em que as espécies solúveis de um material são mobilizadas e transportadas até ao exterior na presença de um solvente.



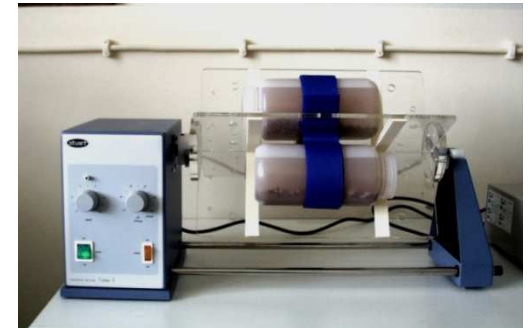


Caracterização ambiental

- Para avaliar o comportamento à lixiviação realizaram-se, em laboratório, ensaios de lixiviação desenvolvidos para materiais granulares.
- Encontra-se em estudo a lixiviação em condições reais tendo para o efeito sido construídos lisímetros.

Caracterização ambiental

- As especificações LNEC E 473 e LNEC E 474 exigem que o ensaio de lixiviação seja efetuado de acordo com a EN 12457-4.
- A norma NP EN 13242 prevê a realização de ensaios de lixiviação segundo a EN 1744-3.



EN 12457-4



NP EN 1744-3



Caracterização ambiental

- Os ensaios de lixiviação usados apresentam em comum a razão L/S, 10/1 em massa, e tempo de ensaio, 24h.
- Estes métodos distinguem-se na preparação das amostras, às quais vão corresponder diferentes dimensões máximas do agregado reciclado, 10mm e 32mm e no tipo de agitação.

Caracterização ambiental

EN 12457-4

Apreciação dos resultados de lixiviação segundo os valores limites da Decisão do Conselho 2033/33/CE (Decreto-Lei 183/2009) relativa à deposição de resíduos em aterros.

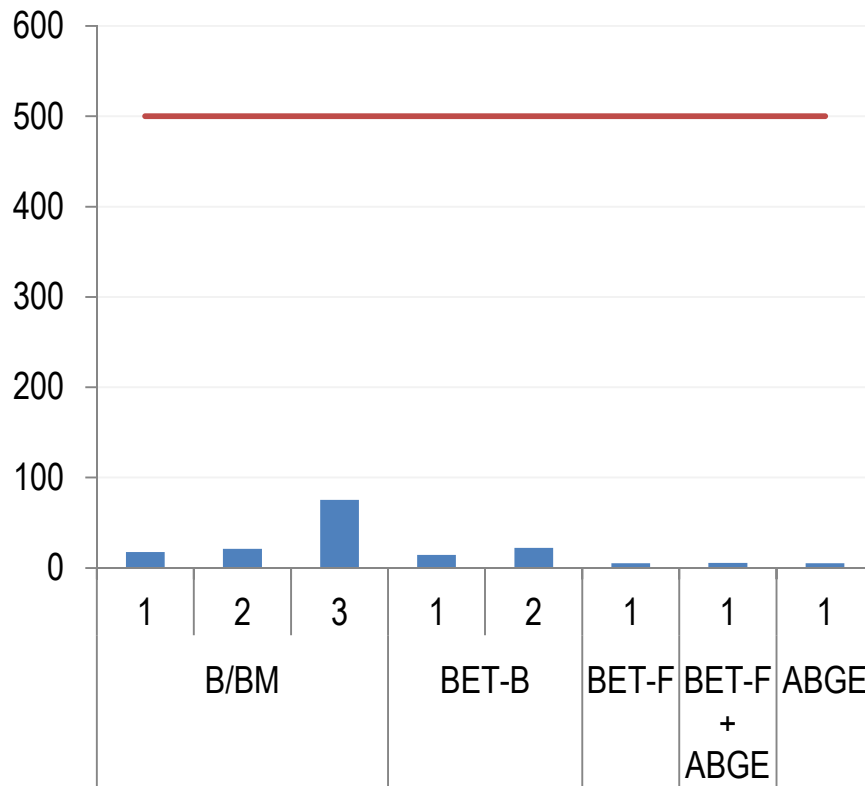
EN 1744-3

Comparação com resultados obtidos para agregados naturais

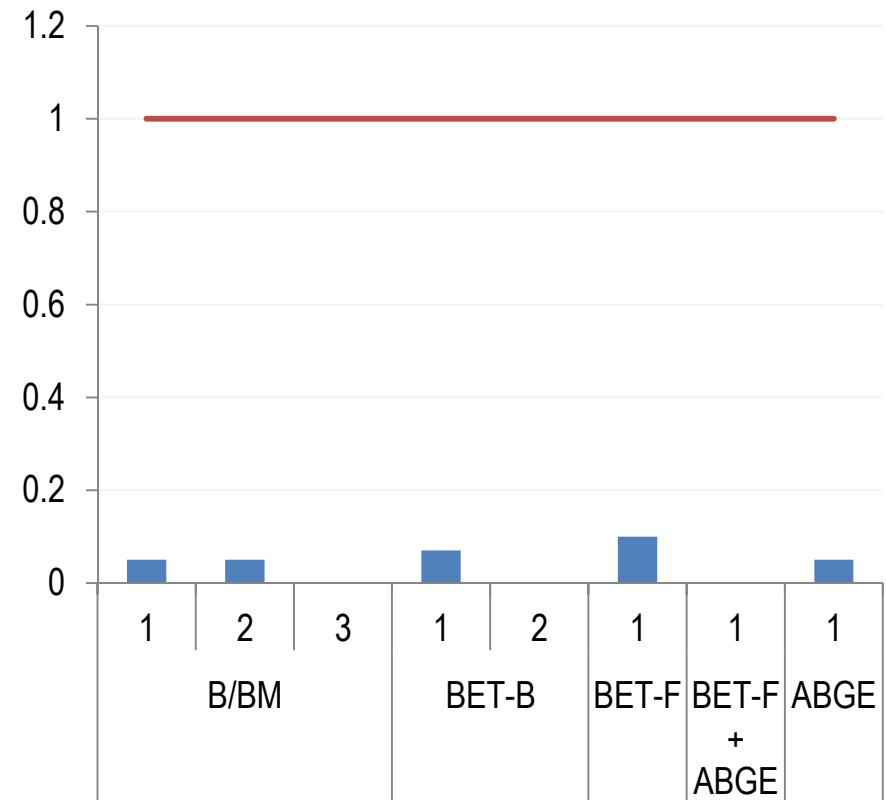
Caracterização ambiental

EN 12457-4

COD



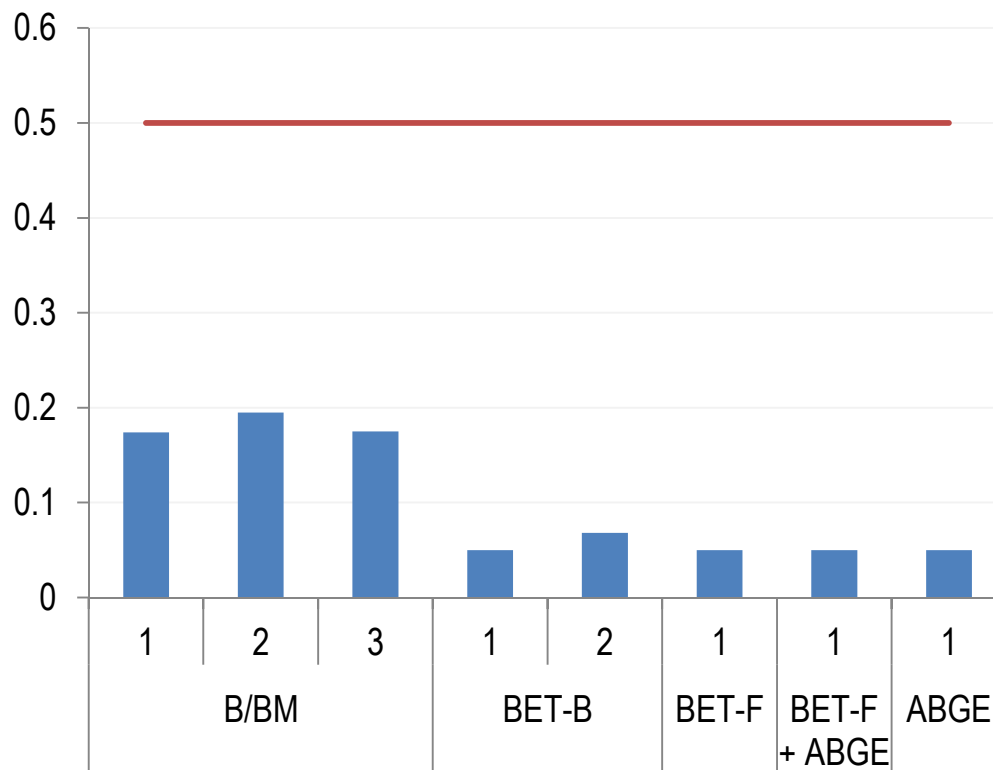
IF



Caracterização ambiental

EN 12457-4

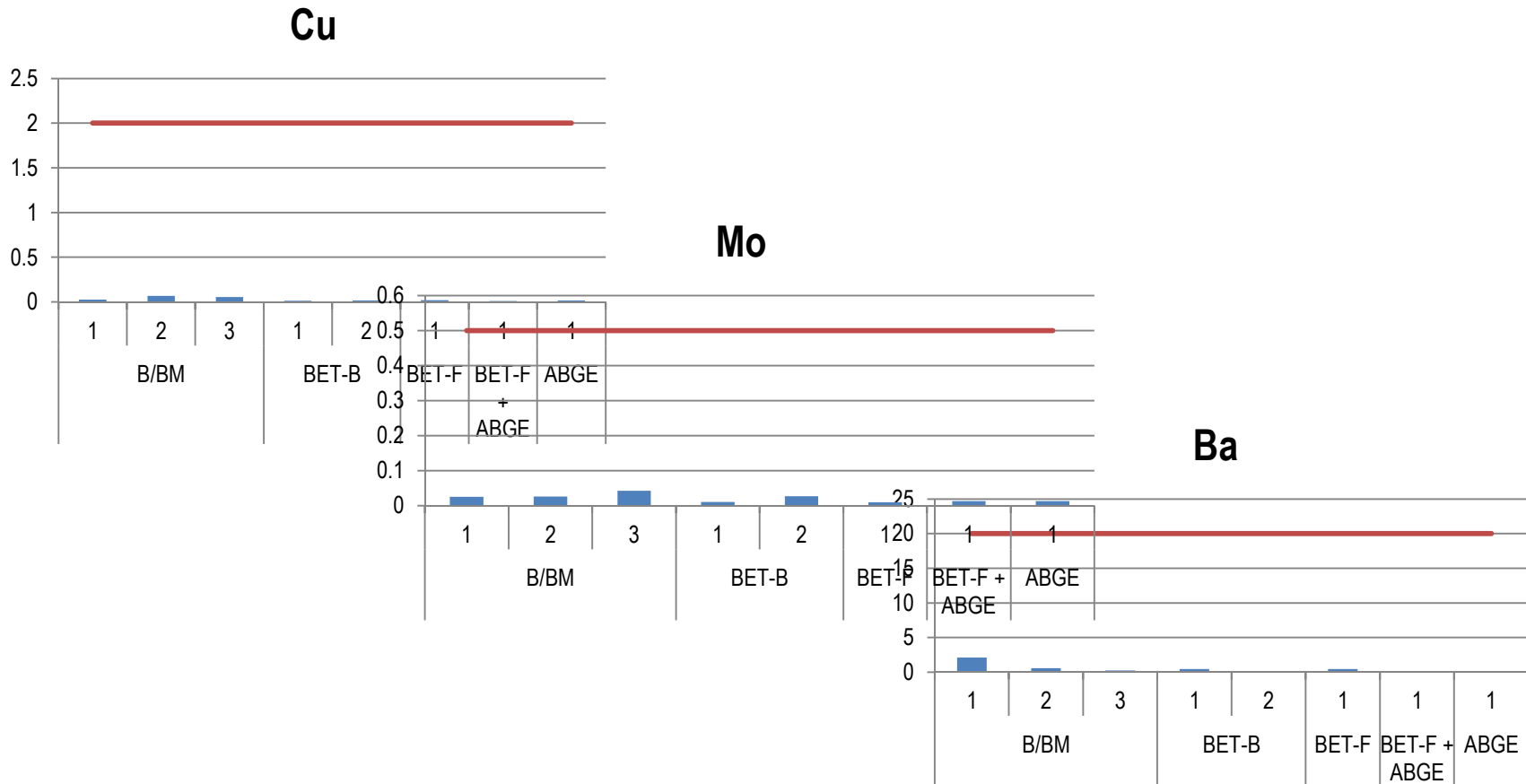
Cr



Relativamente aos metais analisados é de salientar o teor de cromo nos agregados reciclados maioritariamente constituídos por betão

Caracterização ambiental

EN 12457-4



Caracterização ambiental

EN 12457-4

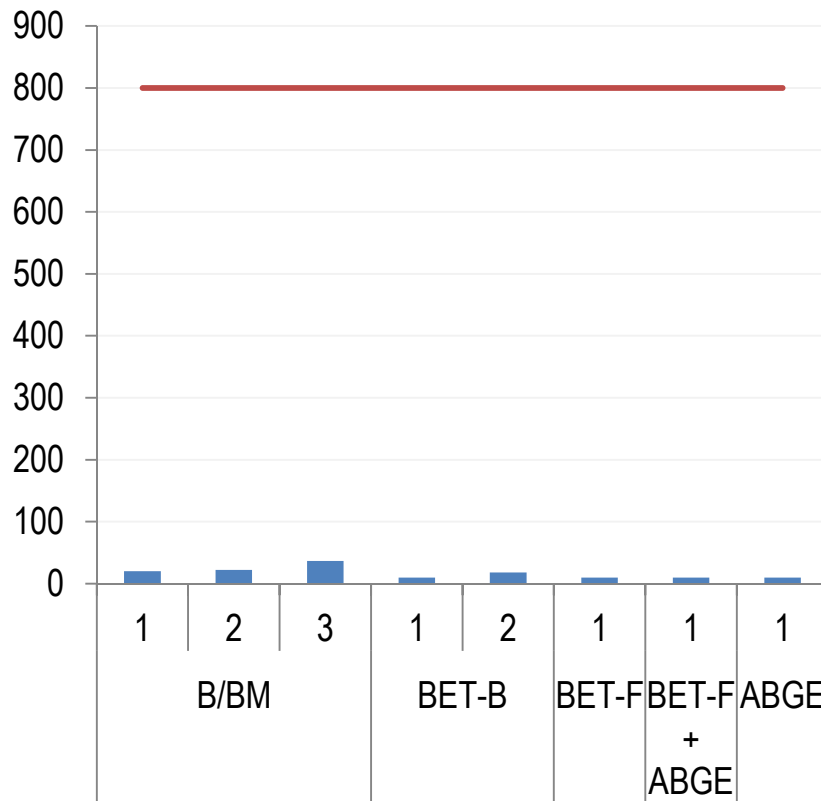
- Os teores de diversos metais analisados são inferiores aos limites de deteção dos métodos: cádmio, níquel, selénio entre outros.



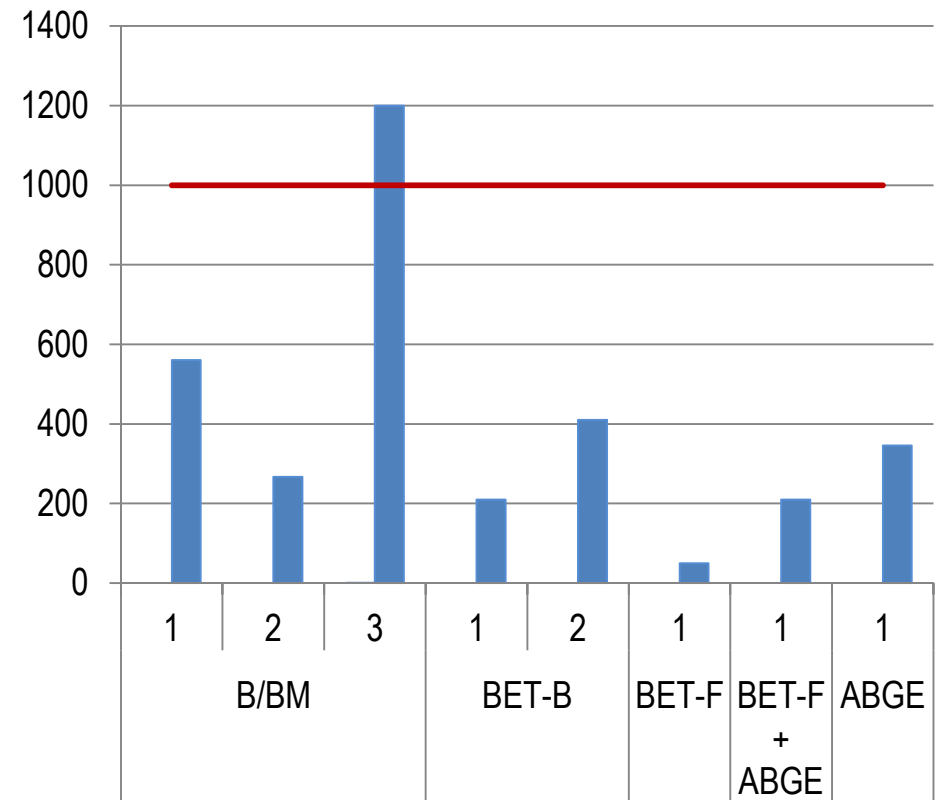
Caracterização ambiental

EN 12457-4

Cl⁻



SO₄²⁻





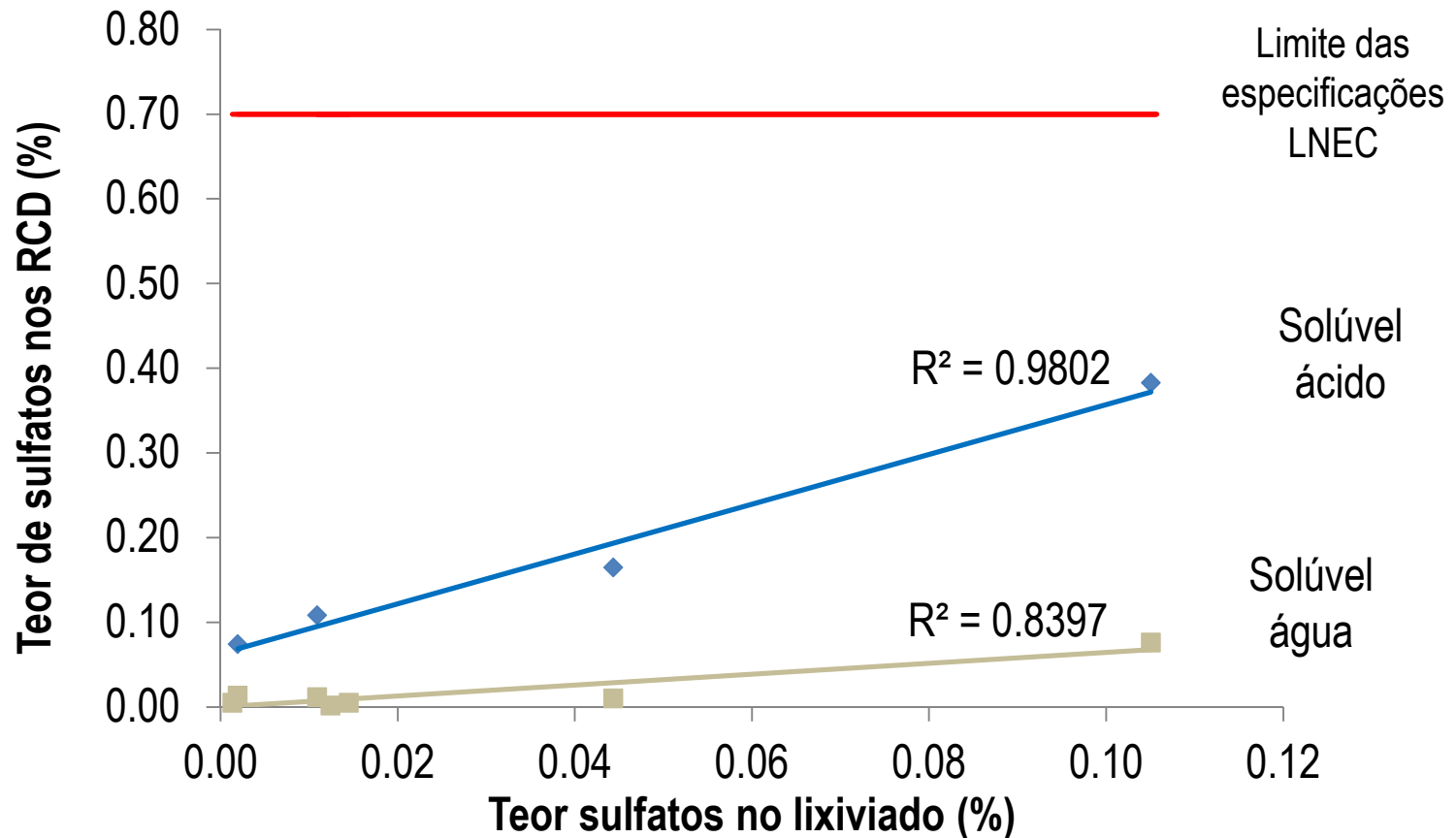
Caracterização ambiental **EN 12457-4**

- A análise dos resultados do ensaio de lixiviação segundo a EN 12457-4 indica que os vários materiais reciclados são classificados como inertes de acordo com os limites para os indicados no Decreto-lei 183/2009 para os lixiviados.
- Excetua-se um reciclado de betão misto, o qual é classificado como resíduo não perigoso, devido ao elevado teor de sulfatos.



Caracterização ambiental

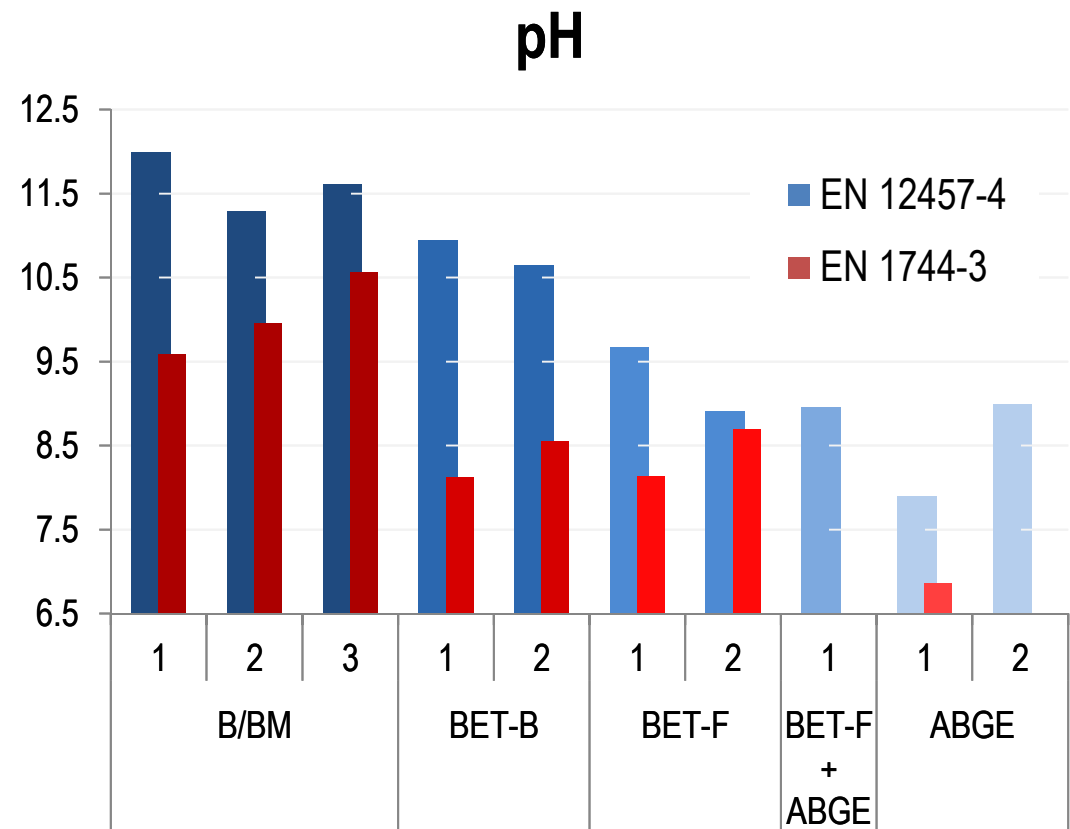
EN 12457-4



Caracterização ambiental

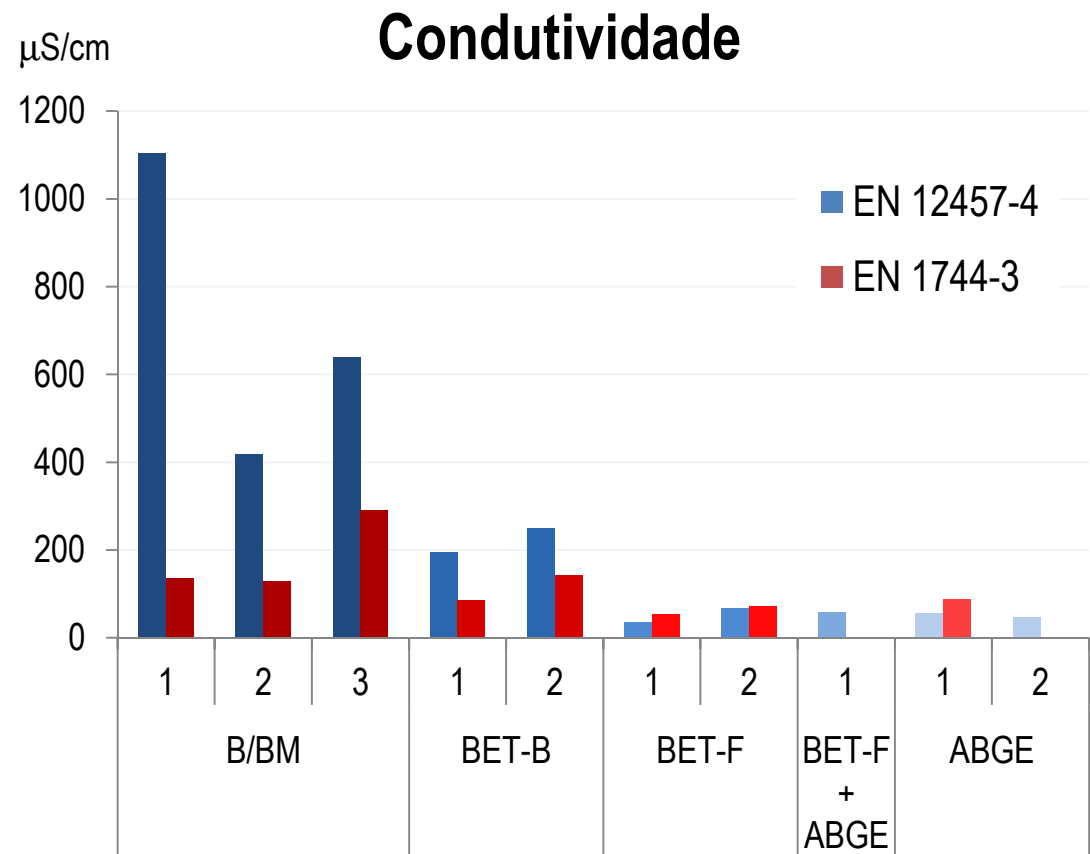
EN 1744-3

- Os lixiviados dos materiais reciclados de matriz cimentícia apresentam pH mais alcalino
- A variação do pH do lixiviado para materiais de diferentes origens evidencia diferentes condições de equilíbrio entre os métodos de ensaio



Caracterização ambiental EN 1744-3

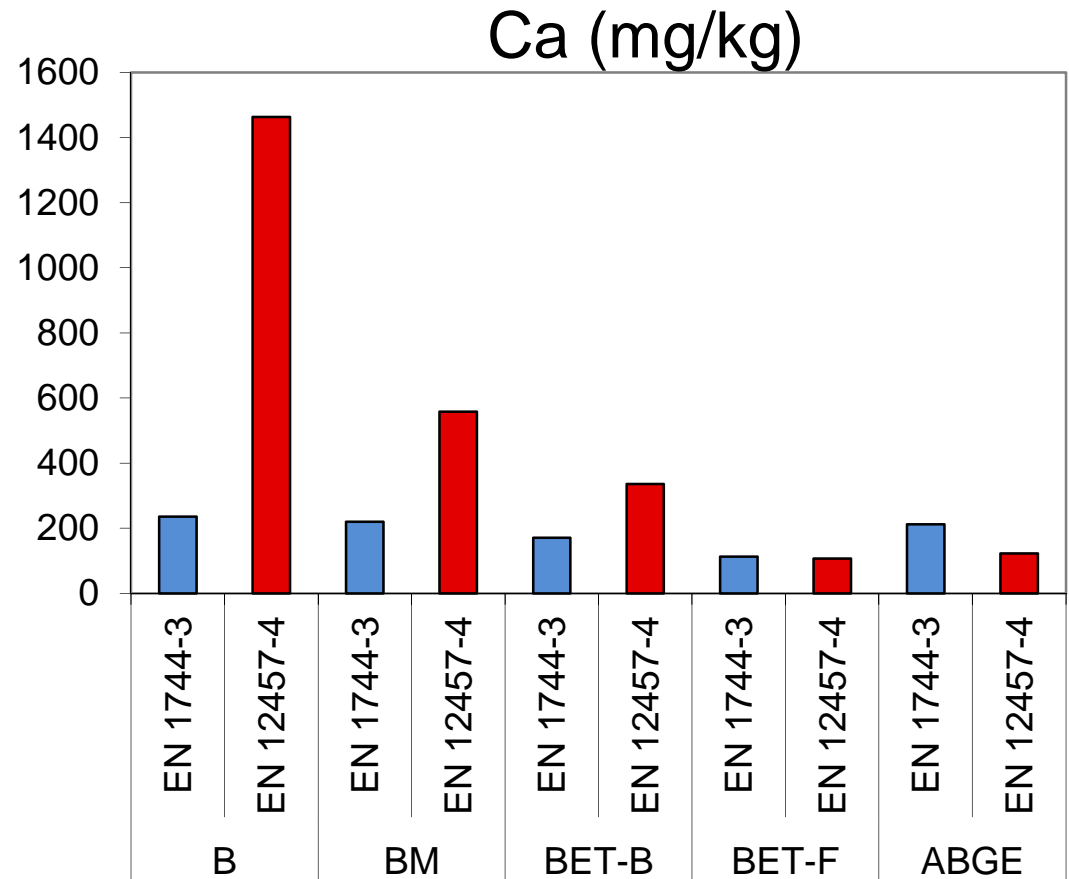
- Nos lixiviados obtidos segundo a EN 1744-3 o tamanho das partículas não permite atingir as condições de equilíbrio observadas nos lixiviados obtidos segundo a EN 12457-4 o que se reflete nos teores dos constituintes libertados e, conseqüentemente, na condutividade.



Caracterização ambiental

EN 1744-3

- Sendo o tamanho de partículas superior para o ensaios segundo a EN 1744-3 o mecanismo que controla a libertação das espécies químicas é principalmente a difusão que é mais lento do que a percolação ou a dissolução e assim é subestimada a quantidade libertada.





Caracterização ambiental

EN 1744-3

- Também nos metais minoritários ou traço ocorre situação semelhante, são baixos os teores libertados no ensaio de lixiviação segundo a EN 1744-3.
- A comparação entre teores de contaminantes nos agregados naturais e reciclados mostra que os teores de Cd, Pb e Ni estão abaixo dos limites de quantificação para todos os agregados em estudo



Caracterização ambiental

EN 1744-3

- Os teores de Cr, Zn, Cu, Cl⁻ e SO₄²⁻ são mais elevados nos agregados reciclados relativamente ao agregado natural utilizado como referência, com algumas exceções na mistura betuminosa fresada .





Considerações finais

- A caracterização química, física e ambiental dos RCD permitiu o enquadramento dos materiais reciclados, com diferentes origens, nas especificações LNEC relativas à aplicação destes materiais e alertou para a necessidade do desenvolvimento de novas especificações.
- Numa perspetiva ambiental os agregados reciclados de RCD foram classificados, em geral, como resíduos inertes, com base nos teores de contaminantes libertados em ensaios de lixiviação em laboratório





Considerações finais

- Os resultados dos ensaios de lixiviação em laboratório apontaram para a dificuldade em atingir o equilíbrio no caso de utilização do procedimento indicado na norma EN 1744-3
- Uma melhor compreensão do comportamento ambiental dos RCD será adquirida quando os dados agora obtidos foram complementados com os dados em situação real.
- A comparação entre materiais naturais e reciclados permite um melhor análise dos RCD





Considerações finais

- A transferência do conhecimento obtido em projetos de investigação como o SUPREMA é essencial para ultrapassar o conceito errado sobre a não adequabilidade dos materiais reciclados para determinados cenários de aplicação

