



ARCHI SUMMIT 2017

Case studies

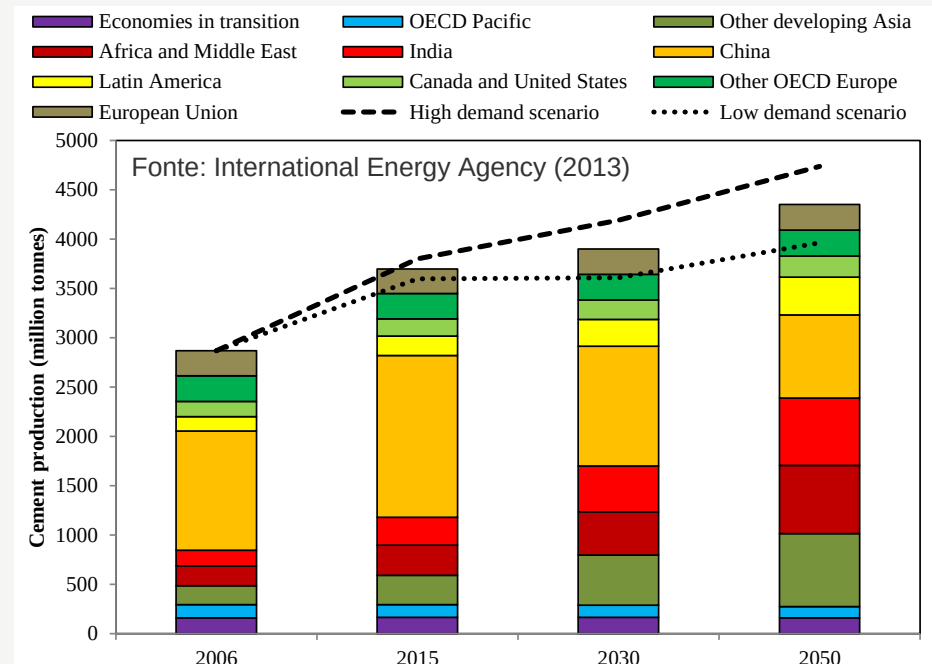
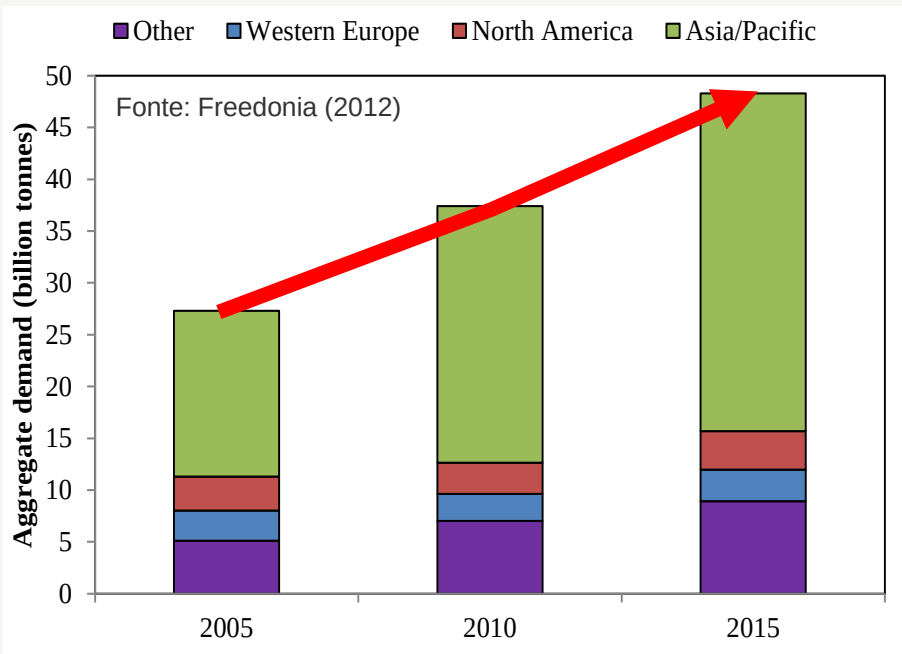
Materiais reciclados, aplicações em betão

Jorge de Brito
jb@civil.ist.utl.pt

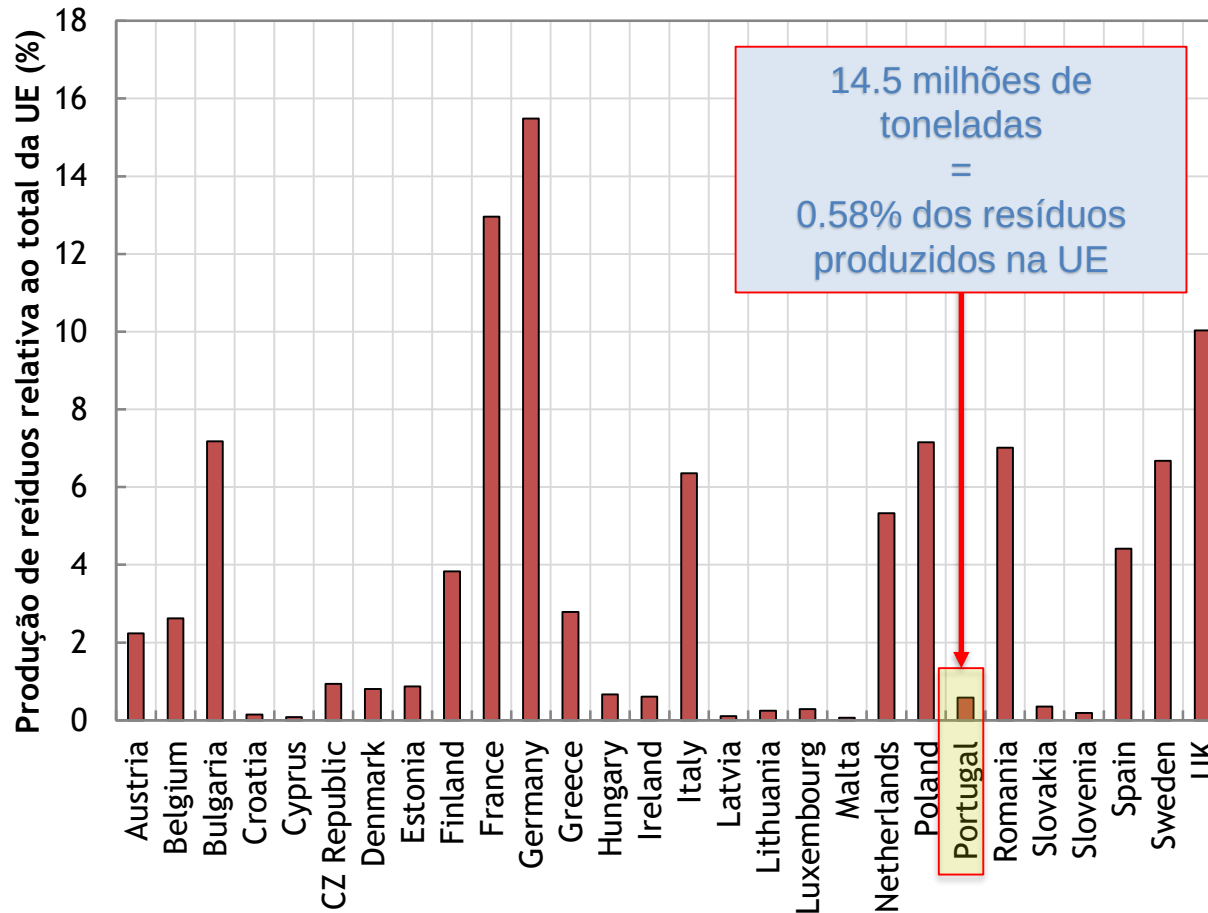
- A exploração de recursos naturais, especialmente dos recursos não renováveis, para novas construções gera milhões de toneladas de **resíduos de construção e demolição (RCD)** todos os anos.



- Notou-se um aumento no consumo em cerca de **10 mil milhões de toneladas** entre **2005 e 2010** e esperava-se um aumento de **5,2% por ano** até 2015, totalizando **48,3 mil milhões de toneladas**.

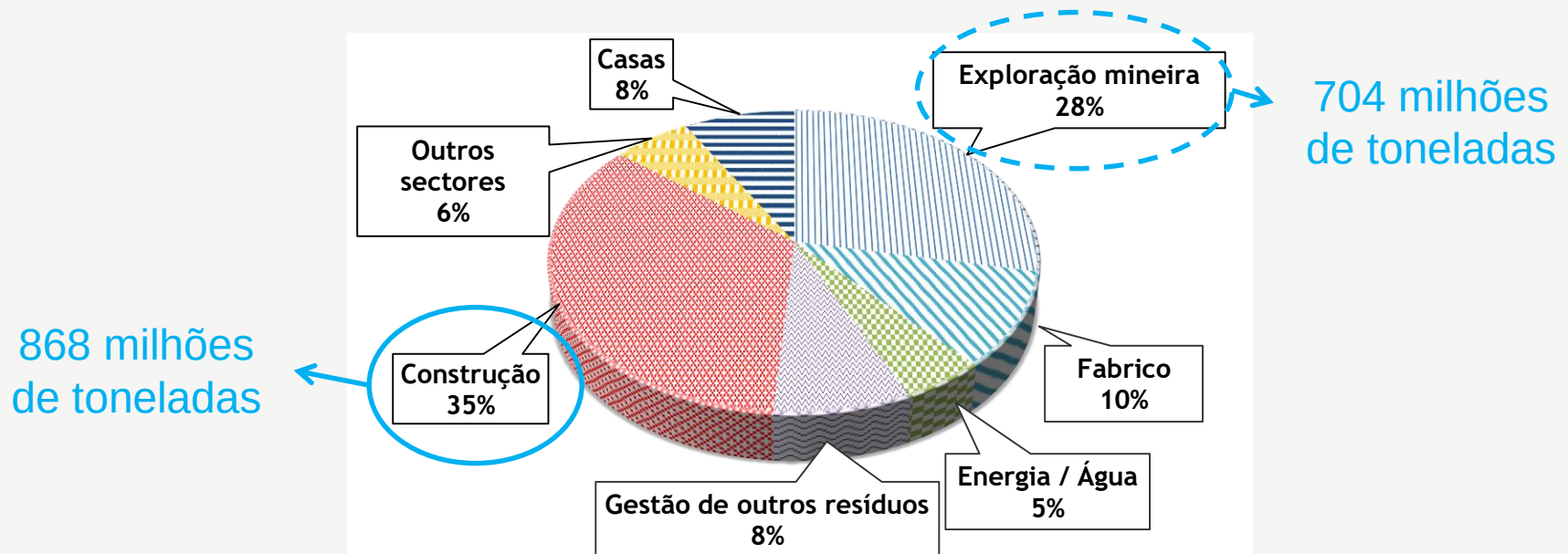


Resíduos produzidos na União Europeia em 2014



Fonte: Eurostat (2017)

- Em 2014, a produção de resíduos na **União Europeia** totalizou **2.5 mil milhões de toneladas**. A quantidade de resíduos produzidos pelas actividades de construção e demolição foi maior do que em qualquer outro sector económico.



Source: Eurostat (2017)

Como é que os RCD são normalmente utilizados?

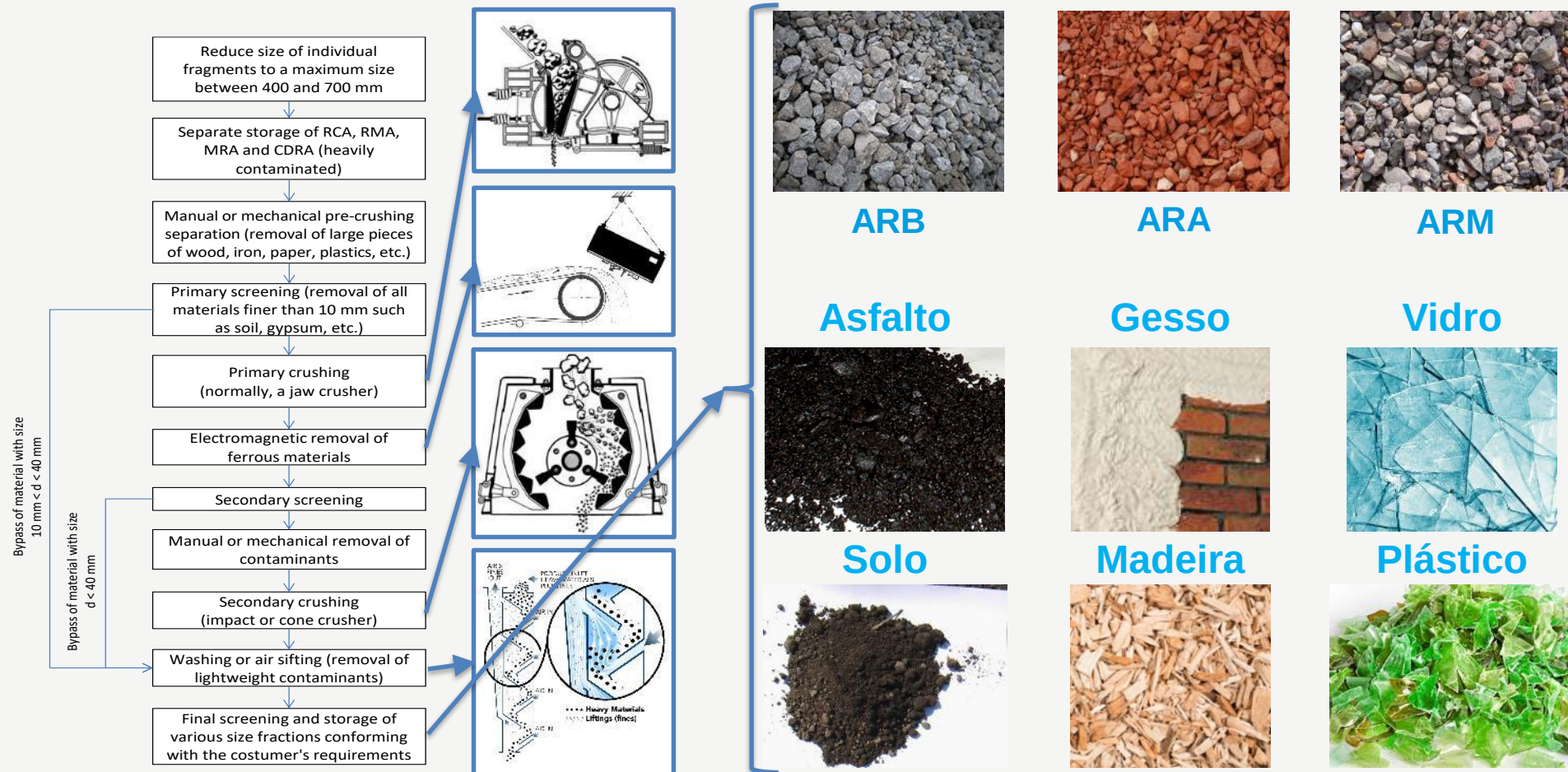


➤ Enchimento



➤ Camadas de base e sub-base de estradas

Tratamento dos agregados reciclados



- **Projecto:** Desempenho mecânico e em termos de durabilidade de betões produzidos com agregados reciclados provenientes de empresas de reciclagem de resíduos de construção e demolição Portuguesas - PTDC/ECM/108682/2008 (2010 - 2014)
- **Financiamento:** €150,963.00



Empresas de reciclagem de RCD em Portugal

- De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente, existem mais de 400 locais a fazer operações de tratamento de resíduos da construção e demolição.
- Um estudo das **propriedades e composição** do produto de algumas destas empresas revelou que existe uma **variação muito grande**, que se traduz num **decréscimo da confiança** por parte daqueles que o irão utilizar.

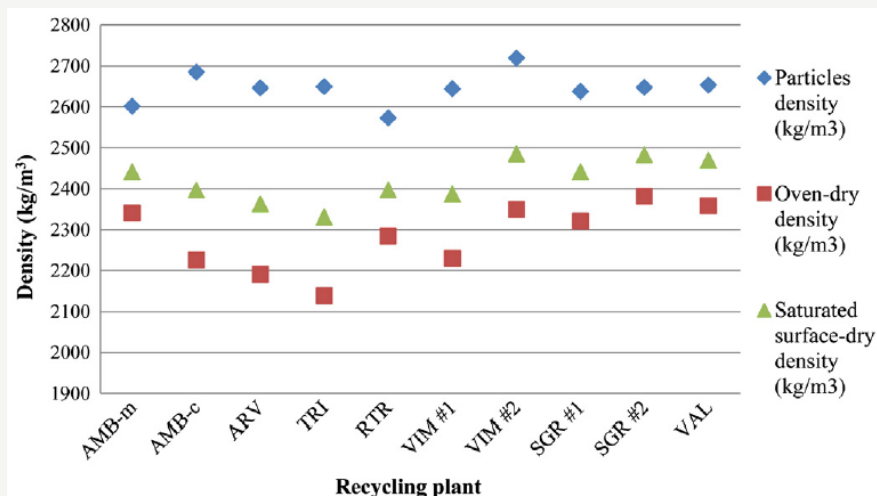


Sample	Maximum value	AMB-c	AMB-m	ARV	RTR	SGR#1	SGR#2	TRI	VAL	VIM#1	VIM#2
Water content (wt%)	—	10.06	4.71	2.16	1.96	3.70	2.06	5.58	3.53	6.01	5.02
Partides density (kg/m ³)	—	2685	2601	2646	2573	2638	2647	2649	2653	2644	3059
Oven-dry density (kg/m ³)	—	2225	2340	2191	2284	2321	2382	2138	2358	2230	2671
Saturated surface-dry density (kg/m ³)	—	2396	2441	2363	2396	2441	2482	2331	2469	2387	2798
Bulk density (kg/m ³)	—	1354	1442	1332	1256	1383	1286	1306	1387	1291	1321
Void content (v%)	—	39.1	38.4	39.2	45.0	40.4	46.0	38.9	41.2	42.1	50.5
Water content (wt%)	7	7.1	4.1	7.3	4.7	4.9	4.0	8.3	4.5	6.6	5.5
Fines content (g/kg)	2	0.73	1.11	1.29	1.40	3.08	3.20	1.18	1.11	3.37	2.48

Fonte: Rodrigues et al. (2013)

Empresas de reciclagem de RCD em Portugal

Sample	Maximum value	AMB-b	AMB-m	ARV	RTR	SGR#1	TRI	VAL	VIM#1
Water soluble chlorides (%)	0.01	< 0.01	0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Water soluble sulphates (%)	1	0.03	0.14	0.11	0.18	0.25	0.14	0.13	0.16
Acid soluble sulphates (SO ₃ %)	0.2/0.8	0.32	0.6	0.41	0.77	1.53	0.77	0.27	0.91
Total sulphur content (%)	1	0.06	0.11	0.1	0.34	0.6	0.29	0.03	0.00
Light contaminants (%)	0.25	1.20	1.60	0.60	17.10	2.30	3.10	1.00	0.28
Water solubility (%)	10	2.0	1.7	1.1	1.6	1.9	3.4	2.7	2.7



Para além da existência de diferentes materiais nos RCD, a **aplicação de tipos de processamento diferentes** (ou até mesmo a sua **inexistência**) resulta numa **variação significativa nas propriedades físicas e químicas** dos materiais, o que **dificultará a certificação** do produto para aplicações mais exigentes.

Empresas de reciclagem de RCD em Portugal

Sumário dos tipos de processamento e produto final de cada empresa

Plant	AMB	ARV	RTR	SGR#1	SGR#2	TRI	VAL	VIM#1	VIM#2
Product specification (mm)	0–50	0.6–32.5	Not available	0–20	20–40	0–20	10–50	0–8	0–38
Screen aperture before crushing (mm)	Not present	0.6 and 32	40 and 150	Not present		5 and 20	Not present	45	
Type of crushing	Jaw	Hammer	Jaw	Not present		Hammer	Jaw	Hammer	
Screen aperture after crushing (mm)	No	0.6 and 32.5	No	20 and 40		20	10 and 50	8 and 38	

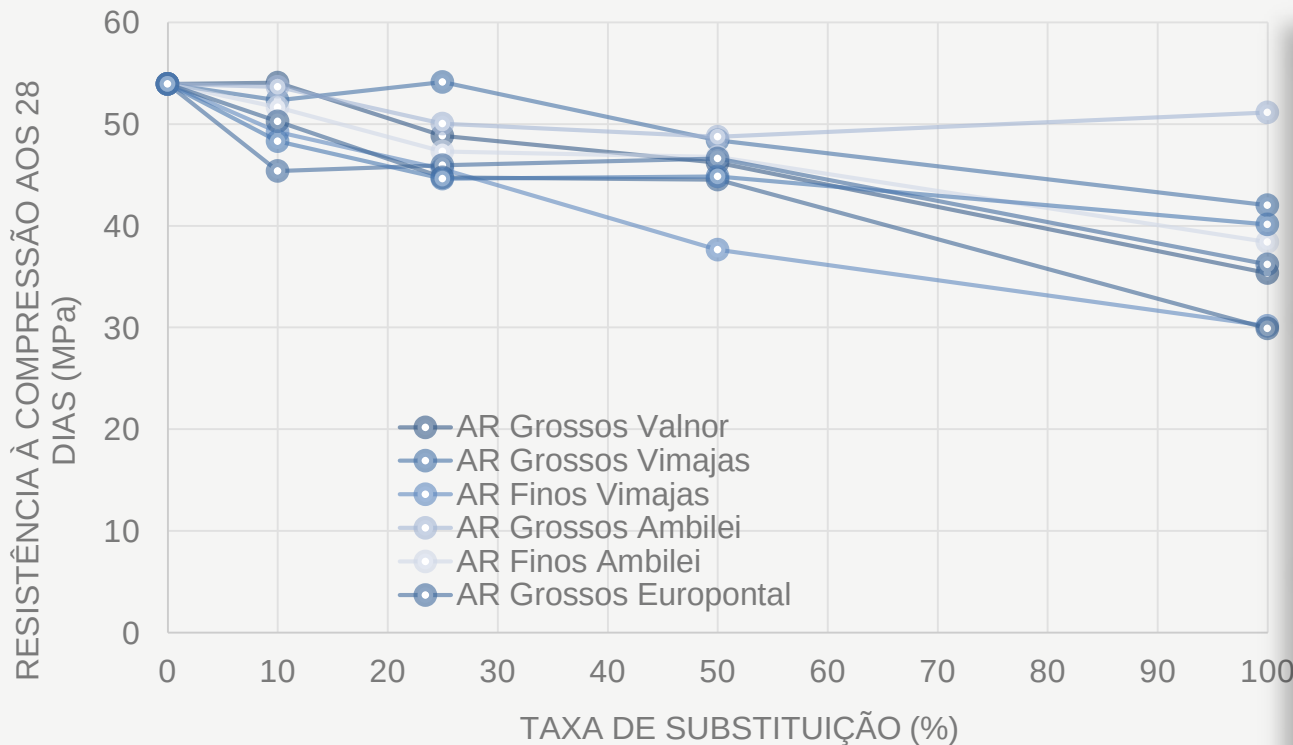
Fonte: Rodrigues et al. (2013)

O tamanho final do produto varia significativamente entre as diferentes empresas.

O tipo de trituração, que tem uma influência clara sobre as propriedades dos agregados reciclados, varia entre as diferentes empresas ou simplesmente não compreende etapas suficientes para melhorar a qualidade dos agregados para algumas aplicações.

Grande parte das empresas de construção ainda opera sem considerar o verdadeiro potencial dos agregados reciclados. Normas e especificações futuras deverão exigir das empresas de reciclagem a produção de um material com desempenho maximizado e sem contaminantes.

Resistência à compressão de betões com agregados reciclados de RCD valorizados



- A resistência à compressão aos 28 dias do betão de referência foi de 53.9 MPa.
- Esta propriedade variou significativamente com a origem dos agregados reciclados.
- Agregados reciclados finos provenientes de Vimajas e Europontal deram origem aos valores mais baixos.

- **Projecto:** Betões de elevado desempenho com agregados reciclados provenientes da indústria da pré-fabricação de betão - PTDC/ECM/118372/2010 (2012 - 2015)
- **Financiamento:** €130,934.00



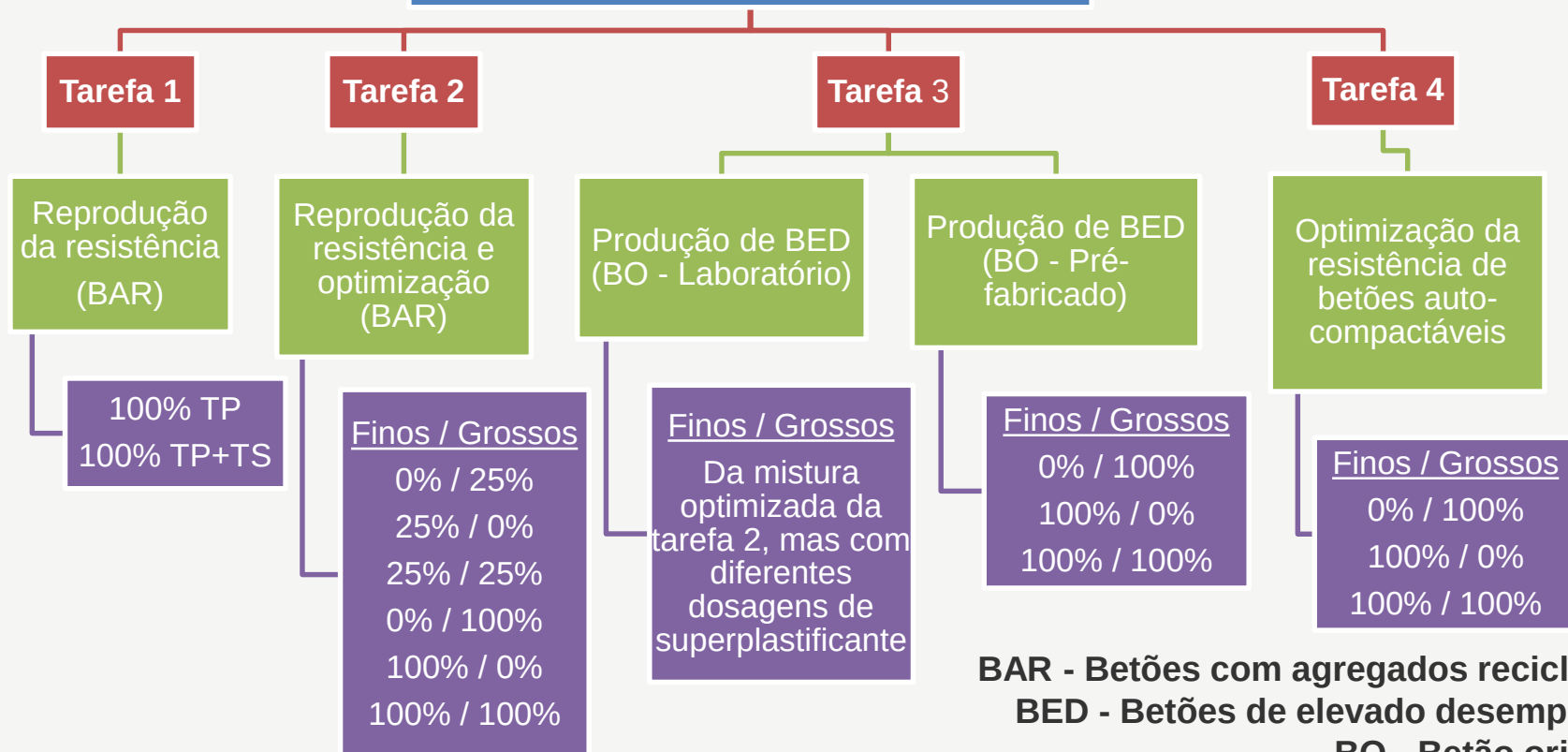
Indústria da pré-fabricação do betão

De acordo com a Federação Europeia do Betão Pré-fabricado:

- Emprega mais de 164 000 pessoas
- Cerca de 8 000 entidades na Europa
- Correspondeu a cerca de 24 mil milhões de Euros em 2015



CAMPANHA EXPERIMENTAL



BAR - Betões com agregados reciclados
BED - Betões de elevado desempenho
BO - Betão original
TP - Trituração primária
TP+TS - Trituração primária +secundária

Betão de origem produzido no laboratório



Betão de origem de elementos de betão pré-fabricado



Trituração primária

Os betões de origem produzidos em laboratório e de elementos de betão pré-fabricado foram submetidos a um processo de trituração de mandíbulas



Triturador de mandíbulas no laboratório de construção do DECivil

Trituração primária + secundária

Os betões de origem produzidos em laboratório e de elementos de betão pré-fabricado foram submetidos a um processo de trituração de mandíbulas + moinho de martelos



Triturador de mandíbulas



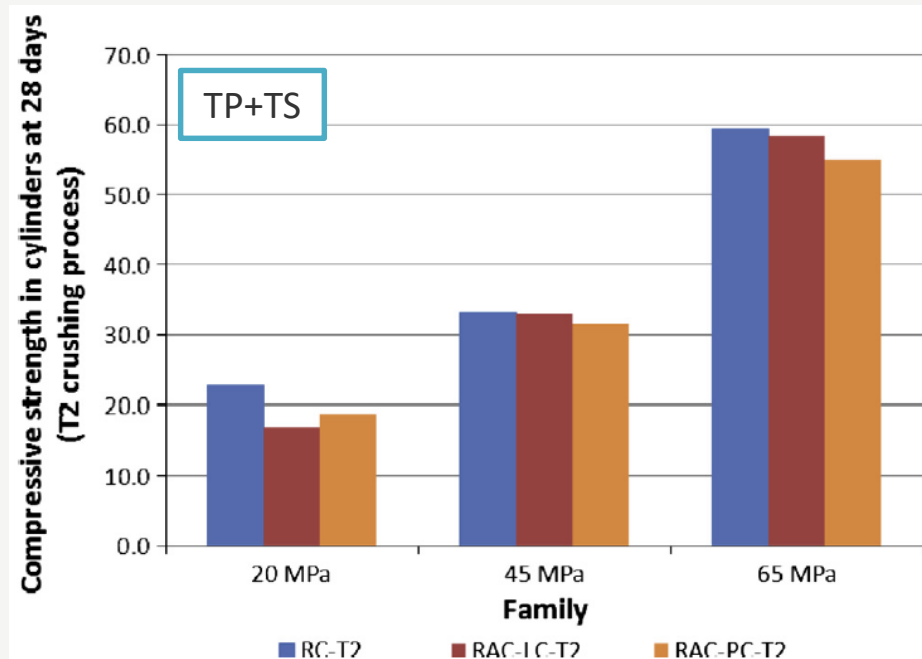
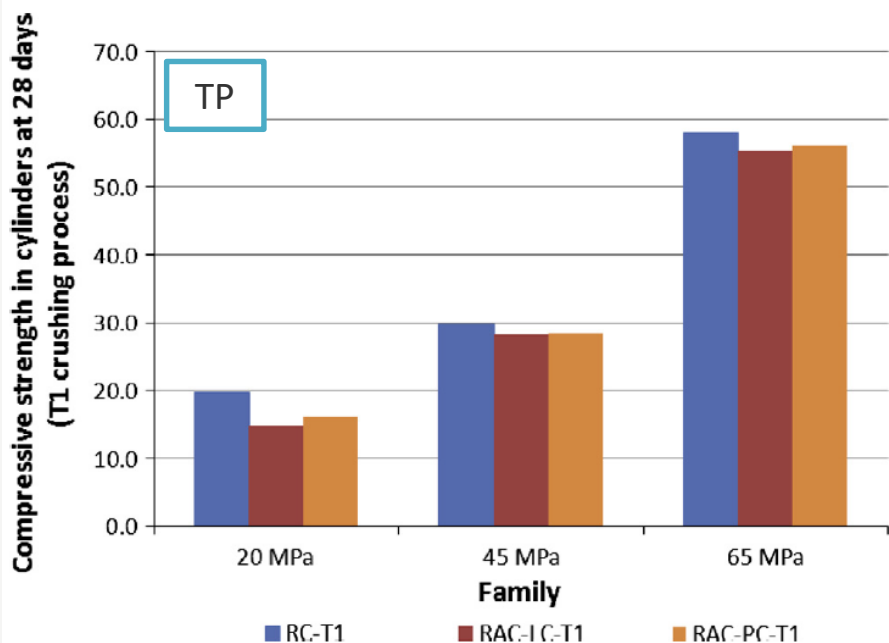
Moinho de martelos

Influência da origem do betão na resistência à compressão

Resistência à compressão do betão de origem	20 MPa	45 MPa	65 MPa
Betão de referência - TP	23,9	38,7	71,1
Betão de referência - TP+TS	27,5	42,4	72,3
B100 - Laboratório TP	19,7	35,7	66,8
B100 - Laboratório TP+TS	21,0	41,1	70,2
B100 - Pré-fabricado PC	21,8	36,1	68,5
B100 - Pré-fabricado TP+TS	23,6	39,7	66,5

	Aumento até 10%
	Decréscimo até 10%
	Decréscimo até 20%

Influência do método de trituração na resistência à compressão do betão



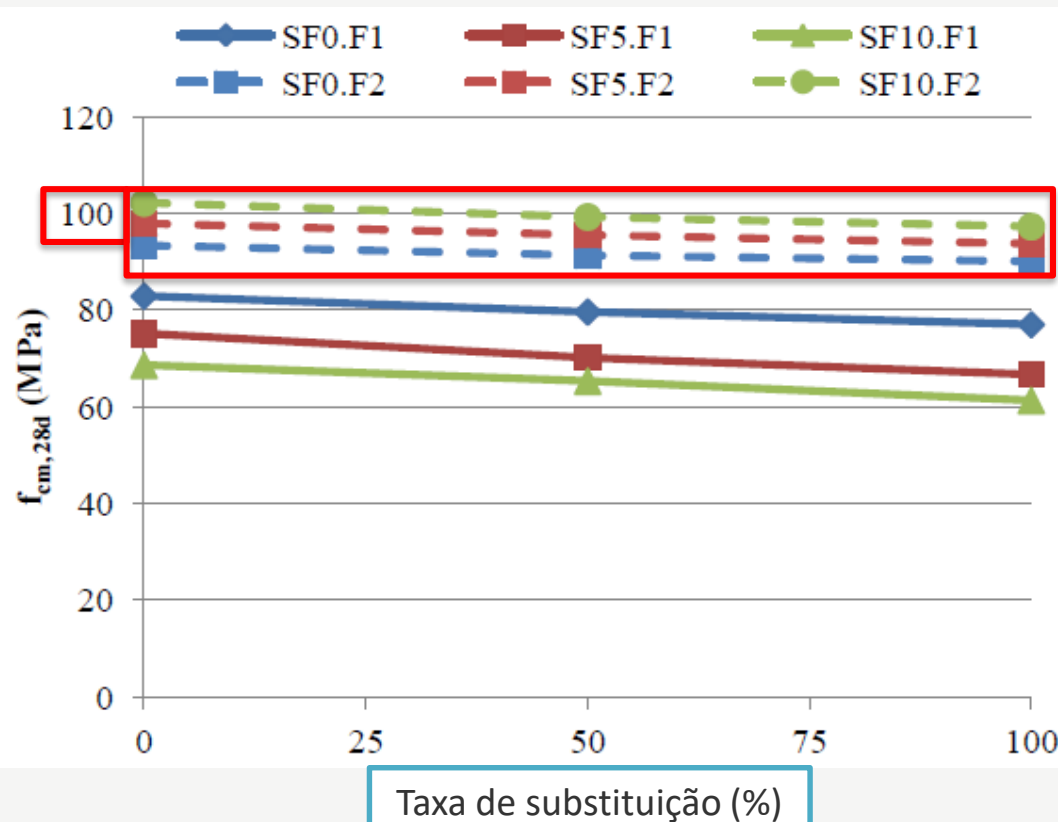
O recurso a uma trituração primária mais secundária, que produziu agregados mais arredondados e com menor quantidade de argamassa aderida, permitiu a produção de misturas de betões com resistências à compressão mais elevadas. Isto também se notou nos betões com agregados naturais.



Verdade “Indisputada”

“Betões com agregados reciclados não podem ser utilizados em betões de elevada resistência.”

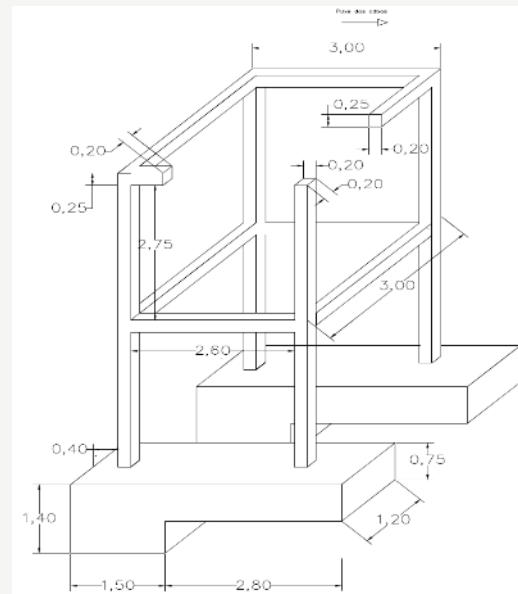
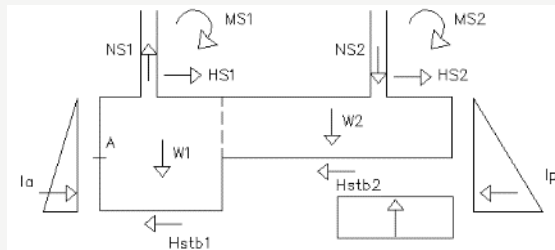
Resistência à compressão de betões de elevado desempenho com agregados reciclados



Um decréscimo máximo de 5% foi observado com a introdução de 100% agregados reciclados de betão finos e grossos.



- **Projecto:** Utilização de agregados reciclados de betão da indústria da pré-fabricação na construção de estruturas de betão (2012 - 2014)
- **Financiamento:** €242,200.00



Caracterização em laboratório

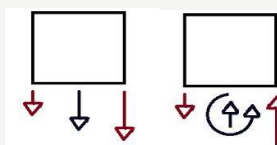


Testes de caracterização dinâmica:

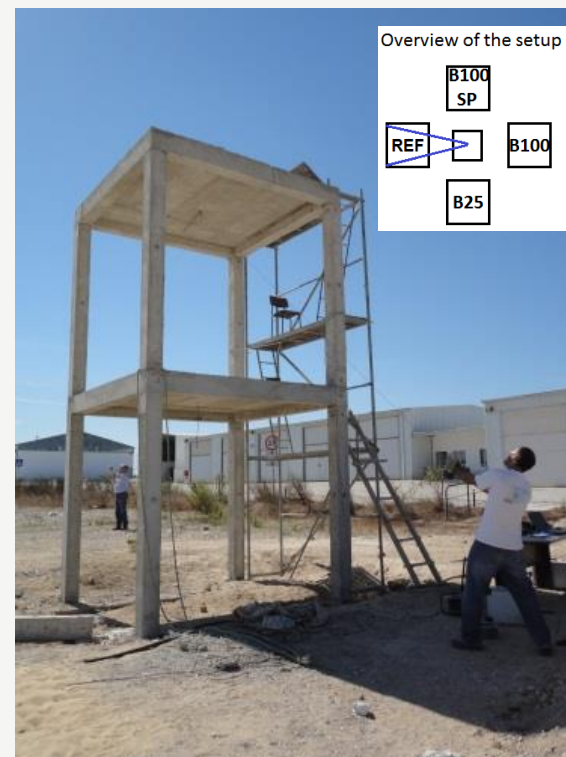
- Acelerómetro e sismómetro triaxial
- Frequências naturais verticais e horizontais



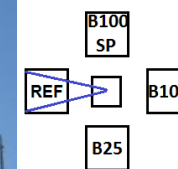
Sismómetro



Acelerómetro



Overview of the setup



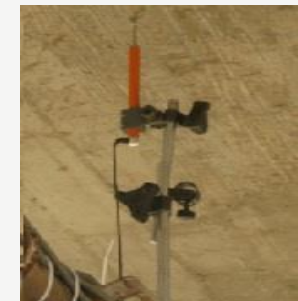
Testes de carregamento vertical

- Água ($\gamma = 9,8 \text{ kN/m}^3$)
- Réguas
- Comportamento elástico (teste horizontal)
- Deflectómetro (meio vão de vigas e lajes).



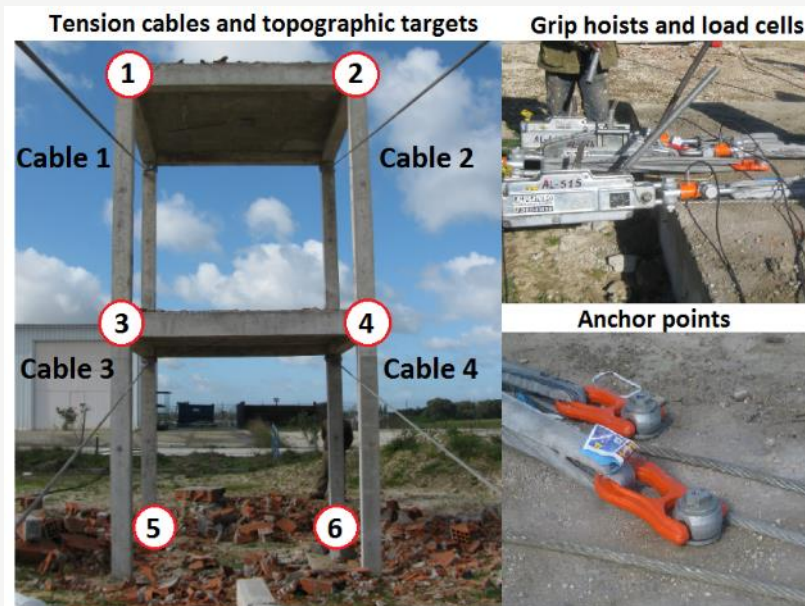
Análise da informação recolhida e modelação:

- Consideração da geometria real
- Modelação de estruturas de alvenaria



Testes destrutivos horizontais:

- Resposta não-linear
- Teste controlado passo-a-passo com aplicação sucessiva de carregamento



Deslocamento

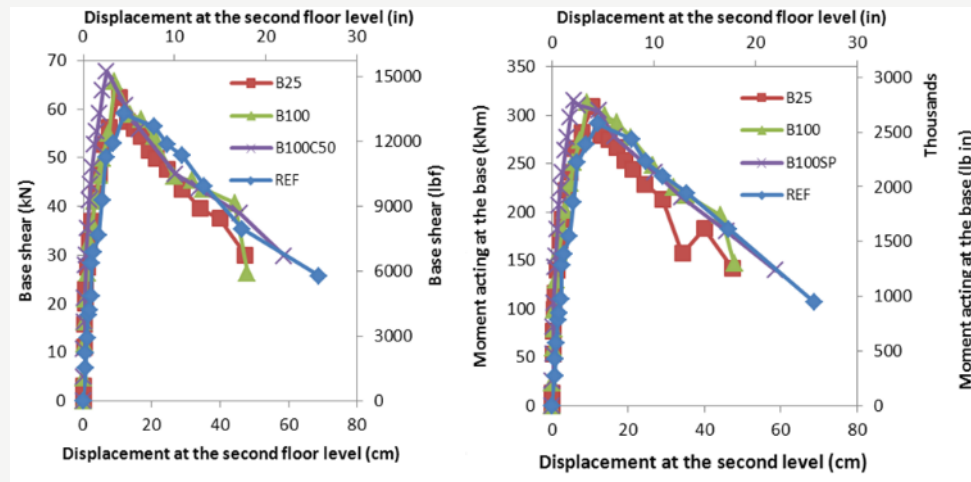
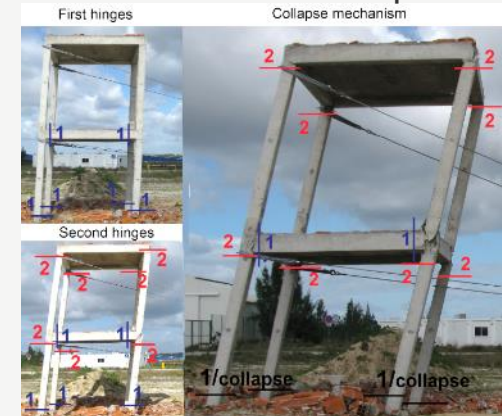


Fendilhação

Algumas operações efectuadas durante um teste



Formação de rótulas plásticas e mecanismo de colapso



Comparação de curvas de tensão / deformação

Colapso da estrutura



Conclusões

- As empresas de reciclagem de RCD **não têm técnicas de processamento constantes e rigorosas** o suficiente para produzir agregados reciclados de elevada qualidade e, por isso, estes **não poderão ser facilmente certificados** e utilizados na produção de betão.
- Como a **resistência à compressão do betão de origem influencia o desempenho do betão com agregados reciclados**, deverão ser tomadas algumas precauções de forma a assegurar que o tipo de agregados seja adequado à aplicação.
- Assumindo que é aplicada uma demolição selectiva, com segregação adequada dos diversos tipos de resíduos, assim como técnicas de processamento correctas para produzir agregados reciclados de elevada qualidade, **estes poderão ser utilizados na produção de betões mesmo de elevado desempenho.**

Conclusões

- A utilização de **agregados reciclados de betão na produção de betões de elevado desempenho é perfeitamente viável de um ponto de vista de comportamento mecânico e em termos de durabilidade**. Contudo, alguns aspectos terão que ser considerados de forma a minimizar a perda de desempenho quase sempre presente.
- O comportamento estrutural de betões com agregados reciclados demonstrou que existe pouca influência advinda da incorporação de agregados reciclados. As **armaduras reduziram os efeitos negativos** dos agregados reciclados em termos de **fendilhação** e, no pressuposto de que os regulamentos de dimensionamento estrutural são devidamente aplicados, **a utilização de betões com agregados reciclados não afecta o correcto comportamento sísmico da estrutura**.



ARCHI SUMMIT 2017

Case studies

Materiais reciclados, aplicações em betão

Jorge de Brito
jb@civil.ist.utl.pt