Aplicação do agregado reciclado (NBR 15.116)

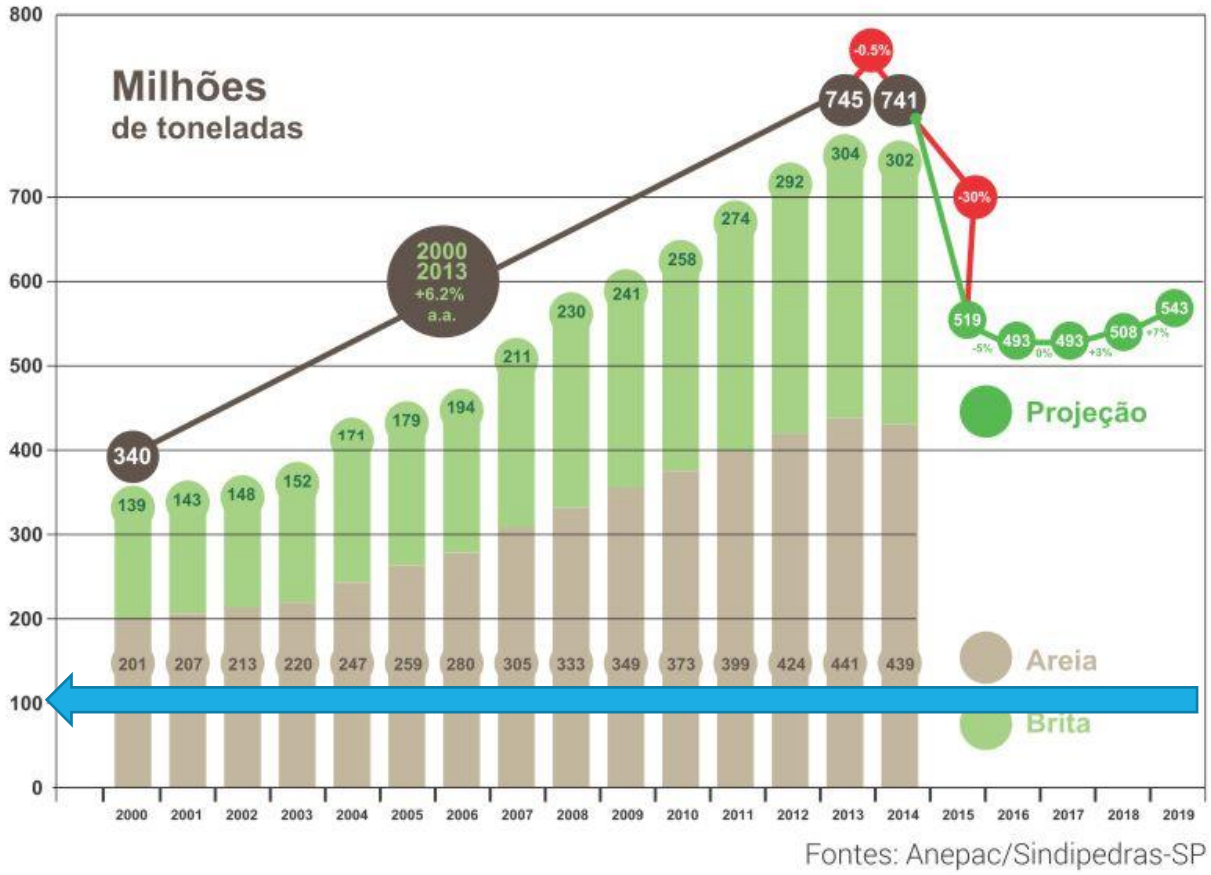
Sérgio C. Angulo

sergio.angulo@lme.pcc.usp.br

Por usar agregado reciclado em materiais cimentícios?

Mercado (agregados naturais)

Gráfico 3: Perspectivas do setor de agregados (2015 - 2019)



Fontes: Anepac/Sindipedras-SP

MERCADOS POTENCIAIS

Concretos (40%)

Argamassas (36%)

Pavimentação e infraestrutura (24%)

GERAÇÃO DE RCD

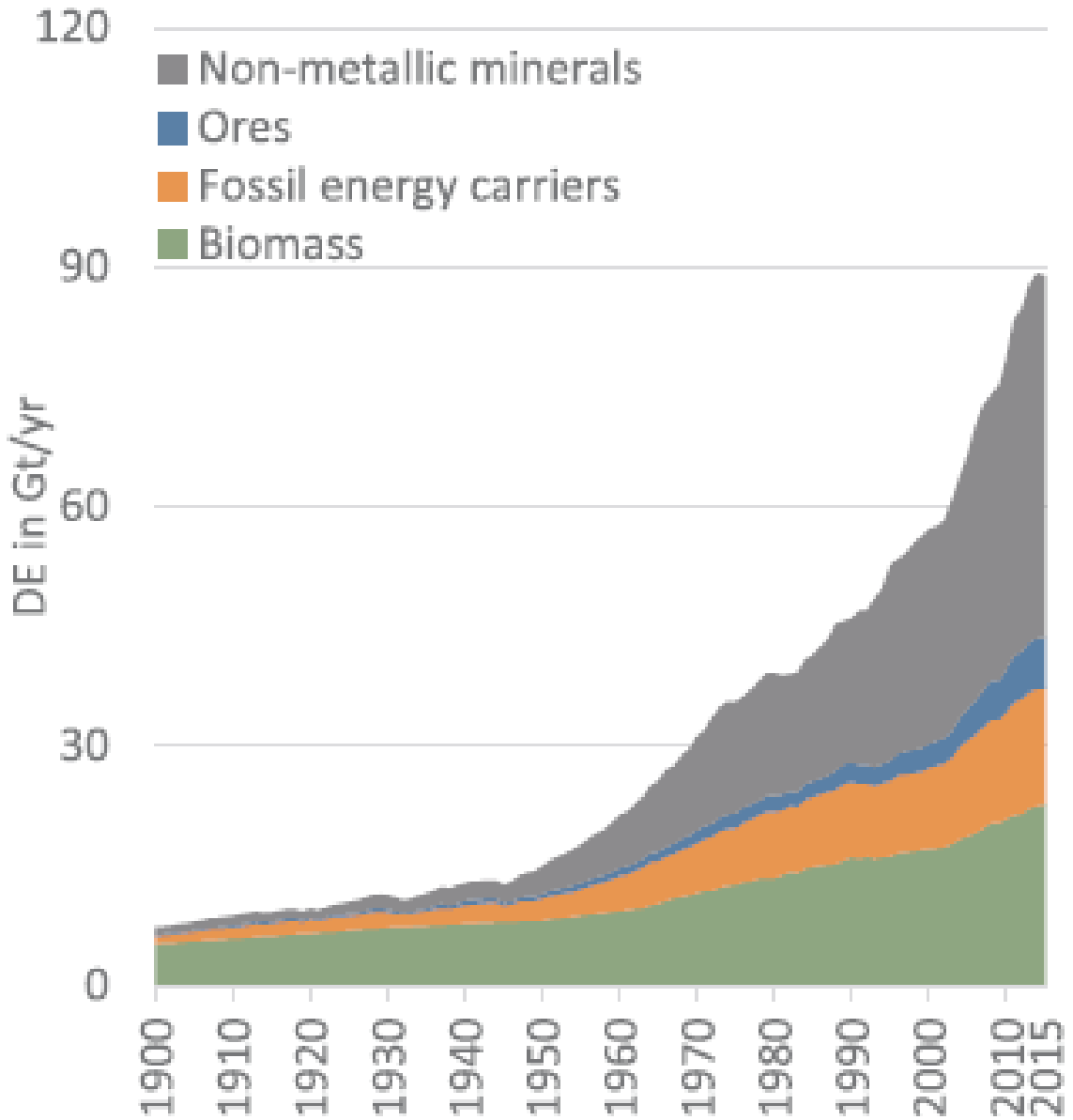
40-100.10^6 t/ano

< 20% da demanda total (existe mercado)

https://www.anepac.org.br/agregados/mercado ; Estudos setoriais de agregados – DNPM, MME

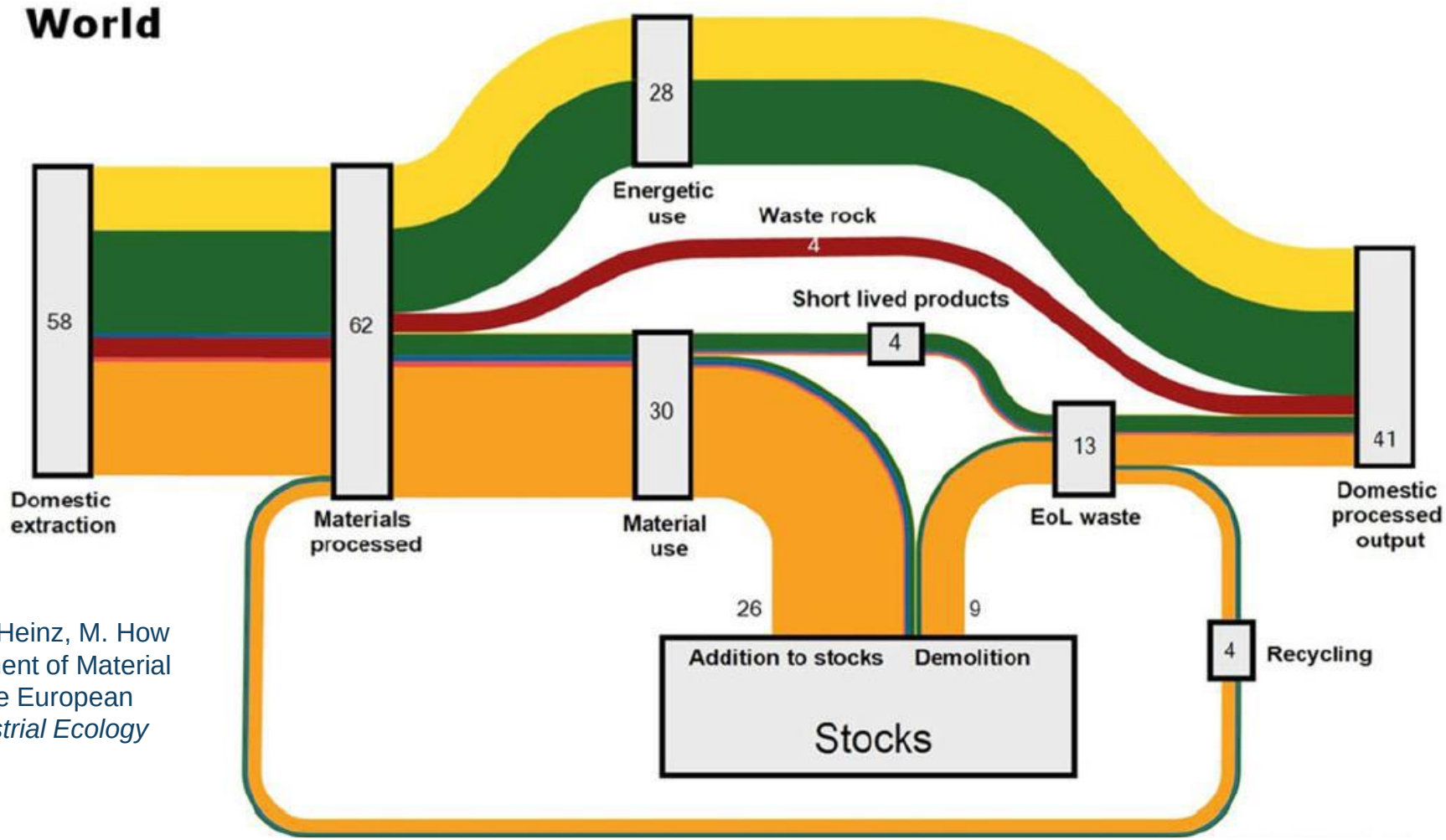
Logística Reversa: cadeia de materiais cimentícios

- Extração de matérias-primas
  - 60 Giga (10^9) toneladas
- Consumo de cimentícios
  - 30 Giga (10^9) toneladas
- Consumo de agregados
  - 25 Giga (10^9) toneladas



*Miatto, A., Schandl, H., Fishman, T. & Tanikawa, H. Global Patterns and Trends for Non-Metallic Minerals used for Construction: Global Non-Metallic Minerals Account. Journal of Industrial Ecology **21**, 924–937 (2017)*

Circularidade no mundo



Haas, W., Krausmann, F., Wiedenhofer, D. & Heinz, M. How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005. *Journal of Industrial Ecology* **19**, 765–777 (2015).

Atualização da NBR 15116, uso de agregados reciclados em materiais cimentícios.

O que mudou?

Finalidade

- Especifica requisitos para uso de agregados reciclados, obtidos a partir do beneficiamento de resíduos da construção (Classe A), em argamassas e concretos.

Definições

- **Agregado Reciclado de Concreto (ARCO)**
  - Obtidos exclusivamente por resíduos de concreto
- Onde podem ser obtidos?
  - Centrais dosadoras de concreto
  - Fábricas de artefatos pré-fabricados de concreto (logística reversa)
  - Demolições controladas
    - Pavimentos de concreto (concessionárias)
    - Pisos industriais de concreto (fábricas)
    - Estruturas de concreto armado (lajes, ligas, pilares)

Definições

- **Agregado reciclado cimentício (ARCI)**
  - Origem: argamassas, blocos de concreto
- Onde podem ser obtidos?
  - Fábrica de argamassa industrializada
  - Obras de construção: logística reversa de resíduos de argamassas, blocos de concreto
  - Demolição de pisos, alvenaria (bloco de concreto, argamassa), calçadas

Definições

- **Agregado reciclado misto (ARM)**
  - Materiais cimentícios diversos (concretos, argamassas)
  - Cerâmica vermelha (blocos, telhas)
  - Solos
  - Impurezas (plásticos, madeiras, etc)
- Onde podem ser obtidos?
  - Usinas de reciclagem, etc

Lotes de Produção

- Informar tipo (ARCO, ARCI ou ARM), classe granulométrica
- Tamanho máximo do lote
  - Usina: não pode ultrapassar 300 m^3 (mesma origem).
  - Obras de pequeno porte: não superar 100 m^3
  - Obra de grande porte: pode ser alterado, em comum acordo entre as partes
- Controle de qualidade
  - Apresentar relatórios de ensaios, dados de variabilidade
  - Frequência: entendimento entre as partes

Ensaios internos ou de terceira parte?

- É um entendimento entre as partes.
- Sugere-se dar evidências do controle de qualidade interno, variabilidade do produto, respeitando tamanho máximo de lotes fornecidos.
- Consumidor pode pedir laudo terceiro parte (laboratórios), parte isenta. São mais caros, servem para dar parecer “imparcial”.

Zonas granulométricas: NBR 7211

Ensaios		Limite sugerido	Requisito	Método de ensaio
Teor de cerâmica vermelha ou branca não polida (G_3)	Classe ARCO	0 %	Anexos A e B	Anexos A e B
	Classe ARCI	< 10 %		
	Classe ARM	< 40 %		
Granulometria	Agregado graúdo	4,75/12,5 mm	ABNT NBR 7211	ABNT NBR NM 248
		9,5/25 mm		
		19/31,5 mm		
		37,5/75 mm		
		25/50 mm		
	Agregado miúdo	Zona utilizável	ABNT NBR 7211	ABNT NBR NM 248
		Zona ótima		

RECOMENDAÇÕES

Outras definições

- **Agregado composto**
  - Mistura intencional de agregado reciclado e agregado natural (ou britado)
- **Agregado total reciclado**
  - Composição de agregados graúdos e miúdos (pedrisco reciclado)

Ensaios

Ensaios		Limite %	Requisito	Método de ensaio
Materiais indesejáveis [b] (G_4)	Teor	< 1	Anexos A e B	Anexos A e B
Argila em torrões	Teor	< 3	ABNT NBR 7211	ABNT NBR 7218
Sulfatos	Teor	< 0,1	ABNT NBR 7211	ABNT NBR 9917
Cloretos	Teor para concreto simples	< 0,2	ABNT NBR 7211	ABNT NBR 9917
	Teor para concreto armado	< 0,1		
	Teor para concreto protendido	< 0,01		
Absorção de água	Classe ARCO	< 7	5.3	ABNT NBR NM 53 (graúdo)
	Classe ARCI ou ARM	< 12	5.3	ABNT NBR NM 30 (miúdo)
Finos (< 0,0 75 mm)	Teor para concretos protegidos de desgaste superficial	< 12	ABNT NBR 7211	ABNT NBR NM 46
	Teor para concretos submetidos a desgaste superficial	< 10		

[a] Por exigência do consumidor, pode ser necessária a verificação da reação álcali-agregado, de acordo com a ABNT NBR 15577-1. A mesma exigência pode ser aplicada a outras propriedades do agregado reciclado, como massa unitária, massa específica, ciclagem etc.

[b] São considerados materiais indesejáveis os fragmentos de natureza orgânica, como madeiras, plástico, betume e materiais carbonizados, e de natureza inorgânica, como vidros, vidrados cerâmicos e gesso. Os Anexos A e B estabelecem os métodos para determinação desses materiais.

Composição (graúdo)

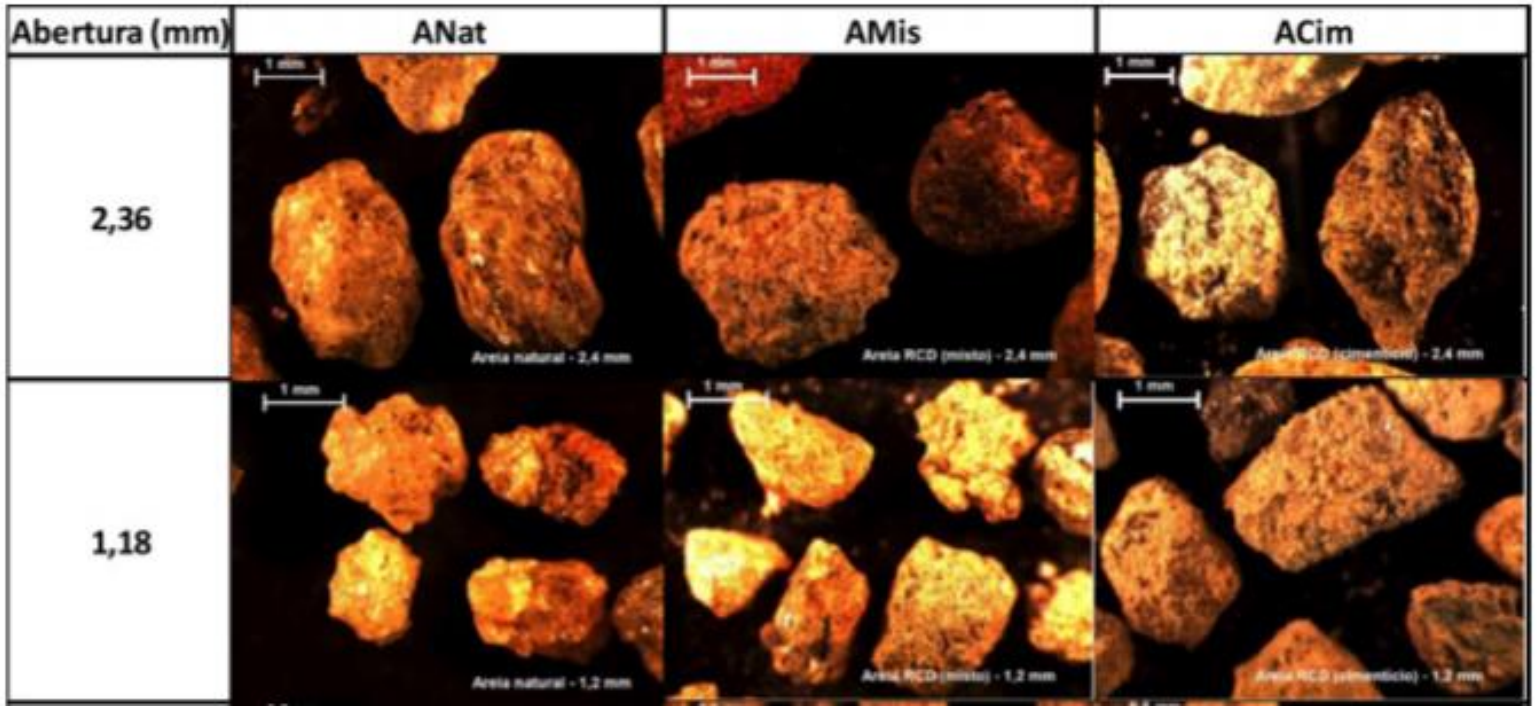
Gesso Solúvel (água) Expansivo (cimento)

Madeira (papel, etc) Partículas fracas, degradam no tempo

Vidrados : reativos, expansivos no tempo (cimento)

Composição (miúdo)

- Contagem de grãos
  - Percentual, em relação a 300 grãos



http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132018643702244

Absorção de água

Amostra (2-3 kg)

Lavagem da amostra (peneira 4,8 mm)

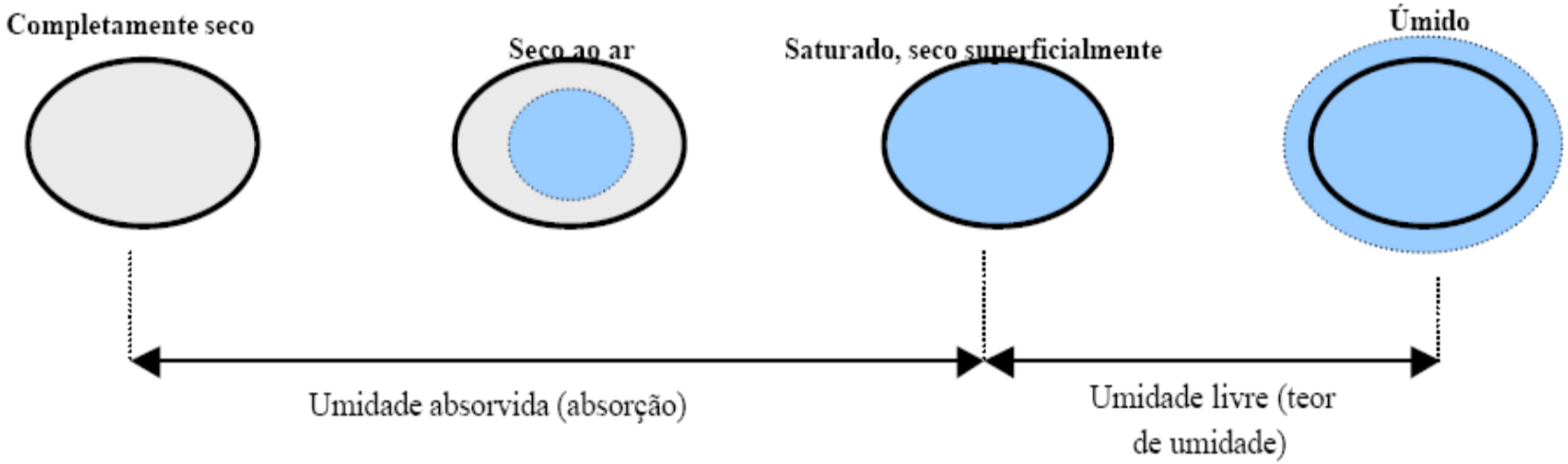
Secagem da amostra (105 ± 5 ºC)

Determinação da massa seca **m**

Saturação em água 24 ± 4h

Secagem em pano (Condição SSS)

Determinação da massa **ms** (condição SSS)



$$A(\%) = \left(\frac{m_s - m}{m} \right) \times 100$$

Materiais finos (abaixo de 0,075mm)

Secagem da amostra
(105 ± 5 ºC)

Determinação da massa
m1 (antes da lavagem)

Lavagem da amostra
(peneira 75 µm)

Secagem da amostra
(105 ± 5 ºC)

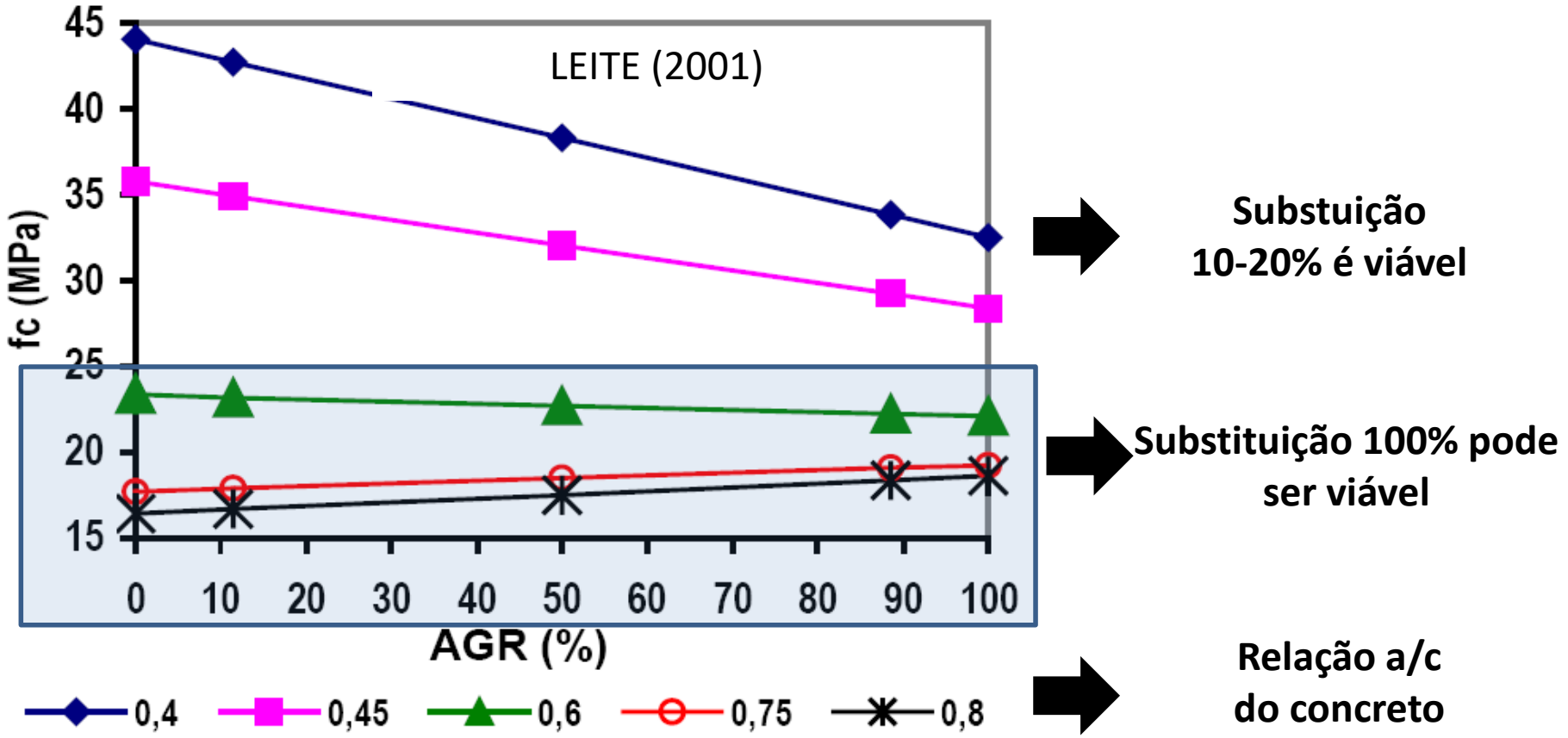
Determinação da massa
m2 (após a lavagem)

$$Finos(\%) = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1}\right) \times 100$$

Outros

- Ensaios químicos (sulfatos, e cloretos)
  - Fazer, quando há evidência de contaminação
  - Gesso no resíduo
  - Resíduo próximo a orla marítima

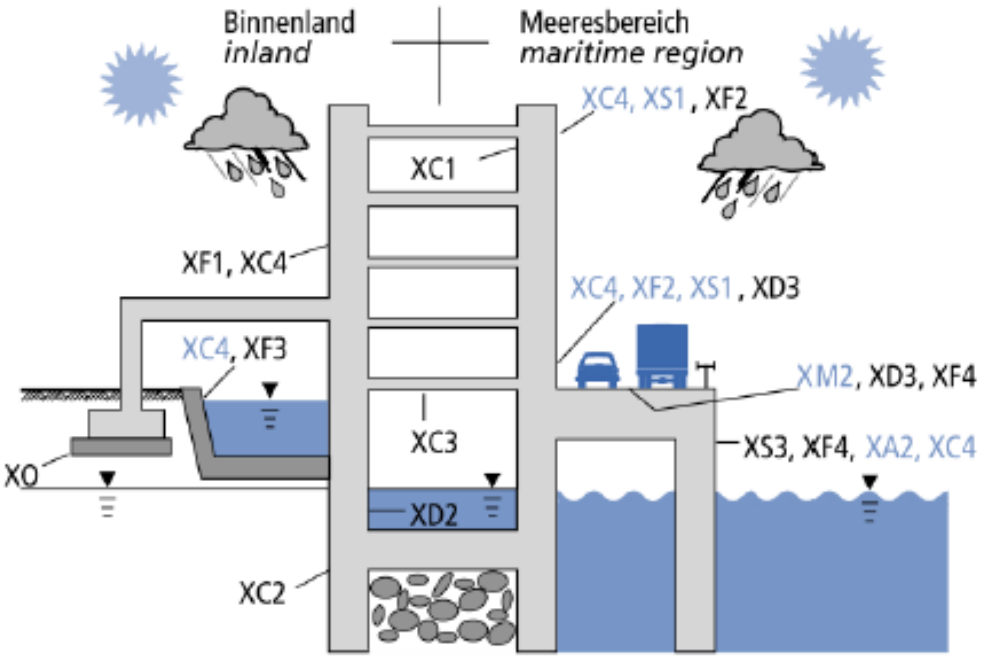
Concreto: quanto substituir do agregado natural por reciclado?



Leite, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. (Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001).

Concreto estrutural: tendências internacionais

Países	Tipo do agregado reciclado - AR	Teor de substituição do natural pelo AR	Classe de resistência do concreto	Classe de exposição do concreto
Alemanha DIN 4226-100	ARC (graúdo)	20-35% (massa)	CA 30/37 (20%) CA 25/30 (35%) CP (não permitido)	X0, XC1 to XC4, XF1 to XF3, XA1
Inglaterra BS 8500:2	ARC (graúdo)	20% (massa)	C 40/50	X0, XC1 and XC4, XF1, DC-1
Espanha EHE-08	ARC (graúdo)	20% (massa)	C 40 CP (não permitido)	
Portugal LNEC E 471	ARC (graúdo)	25% (massa)	C 40/50	X0, XC1 to XC4, XS1, XA1
Suiça Ot 70085	ARC (graúdo)	100% (massa)	C30/37	



Expositionsklassen (Umwelteinwirkungen, „Angriffe") *Exposure classes (environmental effects, "attacks")*				Betontechnische Maßnahmen („Widerstände") *Concrete technology measures ("resistances")*		
Klassenbez. *class designation*		Einwirkung und Beanspruchung *effect and stress*		Max. w/z *max. w/c*	Min. z *min. c*	f_{ck}, cube *f_{ck}, cube*
X0		kein Angriff *no attack*	kein Betonangriff *no concrete attack*	keine Anforderung *no requirement*	keine Anforderung *no requirement*	C8/10 *C8/10*
XC	1	Carbonatisierung *carbonation*	trocken *dry*	0,75	240	C16/20
	2		ständig nass *constantly wet*	0,75	240	C16/20
	3		mäßig feucht *moderately moist*	0,65	260	C20/25
	4		nass / trocken *wet / dry*	0,60	280	C25/30

EXEMPLOS

Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DBU 1995 Osnabrueck - Alemanha

- Paredes de concreto (200 m³)
- Formulação
  - Ligante (cimento, cinza volante) = 360 kg/m³
  - **ARC (4-32mm) = 893 kg/m³**
  - Areia natural (0-2mm) = 669 kg/m³
  - a/c=0,69 (água=200 kg/m³)
  - fc_k=30 MPa
  - fc_{28}=41 MPa

http://www.b-i-m.de/projekte/projframe.htm

100% de substituição do agregado graúdo natural por reciclado

EXEMPLOS

BRE Cardington laboratory, 1996
Londres, Inglaterra

- Piso de concreto
  - fc_k=30 MPa
- **Teor de substituição do agregado reciclado misto – 20% da massa**
- Agregado reciclado Misto
  - Concreto, alvenaria (tijolos cerâmicos), outros
  - Contaminantes como asfalto, plástico, vidro (<5 %).

BRE Digest 431. 1998

Figure 1 This 500 m³ concrete strong floor at BRE's Cardington laboratory used 100 tonnes of Class RCA(III) coarse aggregate

EXEMPLOS

Parque de Estacionamento, 1997-1998 (Darmstadt – Alemanha)

- Concreto com ARC (componentes)
  - Pilares internos
  - Lajes de concreto
  - Paredes de concreto
- Volume utilizado
  - 461 m^3
- Formulação
  - Ligante (cimento, cinza) = 350 kg/m^3
  - ARC (2-16mm) = 1.113 kg/m^3
  - Areia natural (0-2mm) = 585 kg/m^3
  - a/c=0,55 (água=170 kg/m^3)
  - fc_k=35 MPa
  - fc_{28}=45 MPa

http://www.b-i-m.de/projekte/projframe.htm

100% de substituição do agregado graúdo natural por reciclado
30% de substituição do agregado miúdo natural por reciclados

EXEMPLOS

- **Paredes estruturais de concreto**
- **Agregado reciclado misto**
  - **Teor de cerâmica – 5-20% da massa**
- Formulação
  - Cimento=330 kg/m³
  - Densidade> 2.050 kg/m³
  - C 30/37 MPa, **XC1 (seco)**
  - **Substituição total (100%) do agregado graúdo natural por agregado graúdo misto**
  - Aditivo policarboxilato
- **Projeto**
  - **Considerou maior fluência e maior retração (2 x maior)**

Loteamento Residencial - Zurich

Recomendações Finais

- Normas atestam boas práticas, limitam situações que existem risco de situação adversas (alto custo, problemas tecnológicos).
- Não devem impedir inovações!!!!
- Não existe produtos com baixo consumo de cimento, competitivos, do ponto de vista econômico e ambiental, se não fizer uso de adições, aditivos diversos, testes de protótipos (fissura?)

Normas e Avaliação de Desempenho

Normas Técnicas de Insumos da Construção (especifica cimento, agregados, aço)

Normas Técnicas de Produtos da Construção (propriedades dos produtos diversos)

Avaliação Sistema de Construção (SINAT, normas de produtos inovadores)

Fonte: Google images

Concretos plásticos (pisos, bancos pré-moldados)

Uso em argamassas

O uso de **agregado reciclado** na **argamassa** pode **reduzir a resistência de aderência e aumento da fissuração do revestimento**, [63]. Cuidados devem ser tomados, para **desenvolver produtos compatíveis com o desempenho esperado na edificação**

Obrigado!

Dúvidas, Sugestões?
sergio.angulo@lme.pcc.usp.br