

**Estudo de Resistências e Módulo de Elasticidade
do Concreto Compactado com Rolo com
Agregados Reciclados de Construção e de
Demolição para Pavimentação**

Gino Ricci

José Tadeu Balbo

Objetivo

Analisar laboratorialmente as propriedades mecânicas básicas do CCR utilizando-se agregado reciclado de RCD, comparando-as com o CCR executado convencionalmente com agregado natural britado.

Processo de amostragem de agregados reciclados

Foram coletadas amostras de brita 0 e brita (brita 1 e 2) de cinco lotes de RCD da Usina URBEN – SBC.

- **Lote 1 – demolição de placas de concreto do Corredor de Trólebus**
 - **Lote 2 – demolição de estrutura de posto de gasolina**
 - **Lote 3 – demolição de construção (misto)**
 - **Lote 4 – demolição de construção (predominância cerâmica)**
 - **Lote 5 – demolição de construção (predominância cerâmica)**
-

Separação densitária dos agregados reciclados de RCD

Cada RCD possui uma procedência, história e produção diferente (variabilidade) que influencia no comportamento dos materiais. (Carrijo,2005).

A porosidade influencia a resistência mecânica dos concretos. As propriedades físicas, a absorção de água e a massa específica aparente das fases (concreto, argamassa, cerâmica e rocha) do AR graúdo de RCD que estão relacionadas com a porosidade são muito variáveis. (Ângulo, 2005; Carrijo,2005).

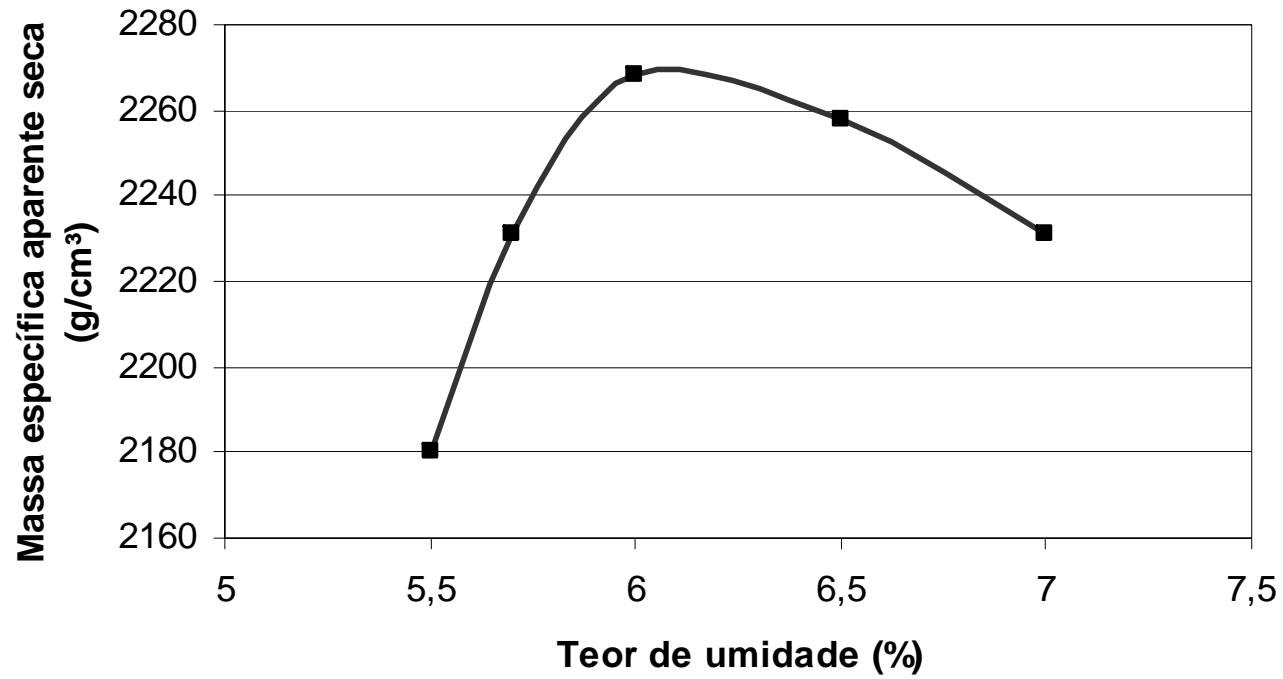
O controle da variabilidade dos agregados reciclados de RCD permite um comportamento mais homogêneo dos materiais. A separação por líquidos densos pode ser interessante por separá-los em função da massa específica aparente das partículas que o constituem.

Separação densitária dos agregados graúdos reciclados de RCD

Resultados - Sink and Float - dens 2,2			
Amostras	Flutua (kg)	Afunda(kg)	Total (kg)
1	9,80	31,68	41,48
	23,63%	76,37%	100,00%
2	13,46	30,16	43,62
	30,86%	69,14%	100,00%
3	9,84	19,30	29,14
	33,77%	66,23%	100,00%
4	15,70	11,30	27,00
	58,15%	41,85%	100,00%
5	10,70	11,76	22,46
	47,64%	52,36%	100,00%

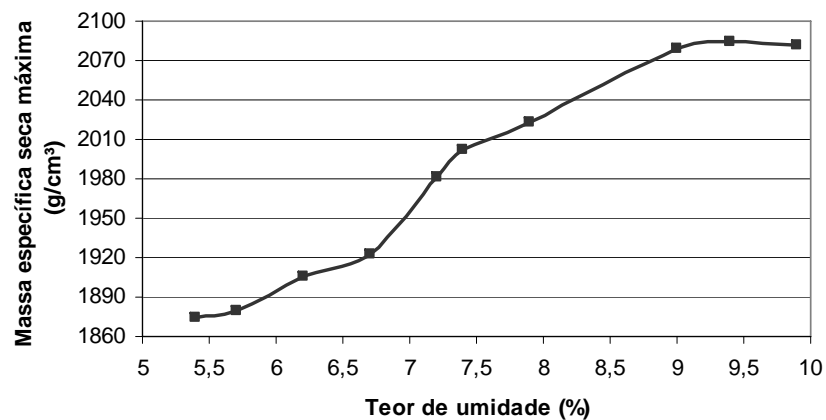
Umidade de trabalho

CCR* h = 6,0%

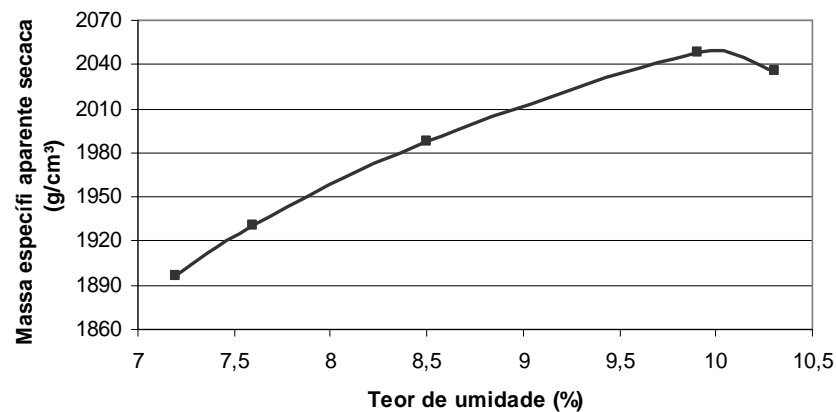


Umidade de trabalho

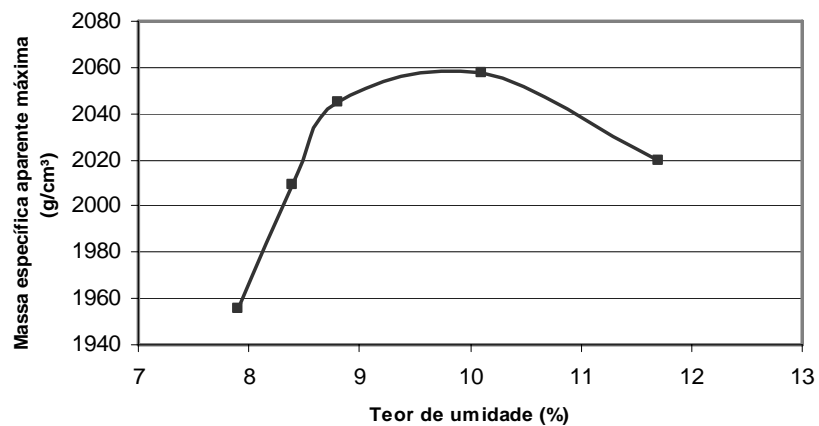
CCR 1 h = 8,4%



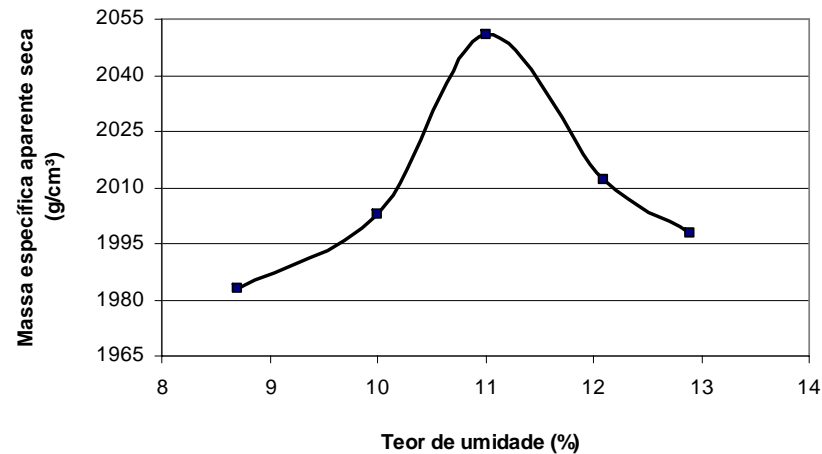
CCR 3 h = 8,8%



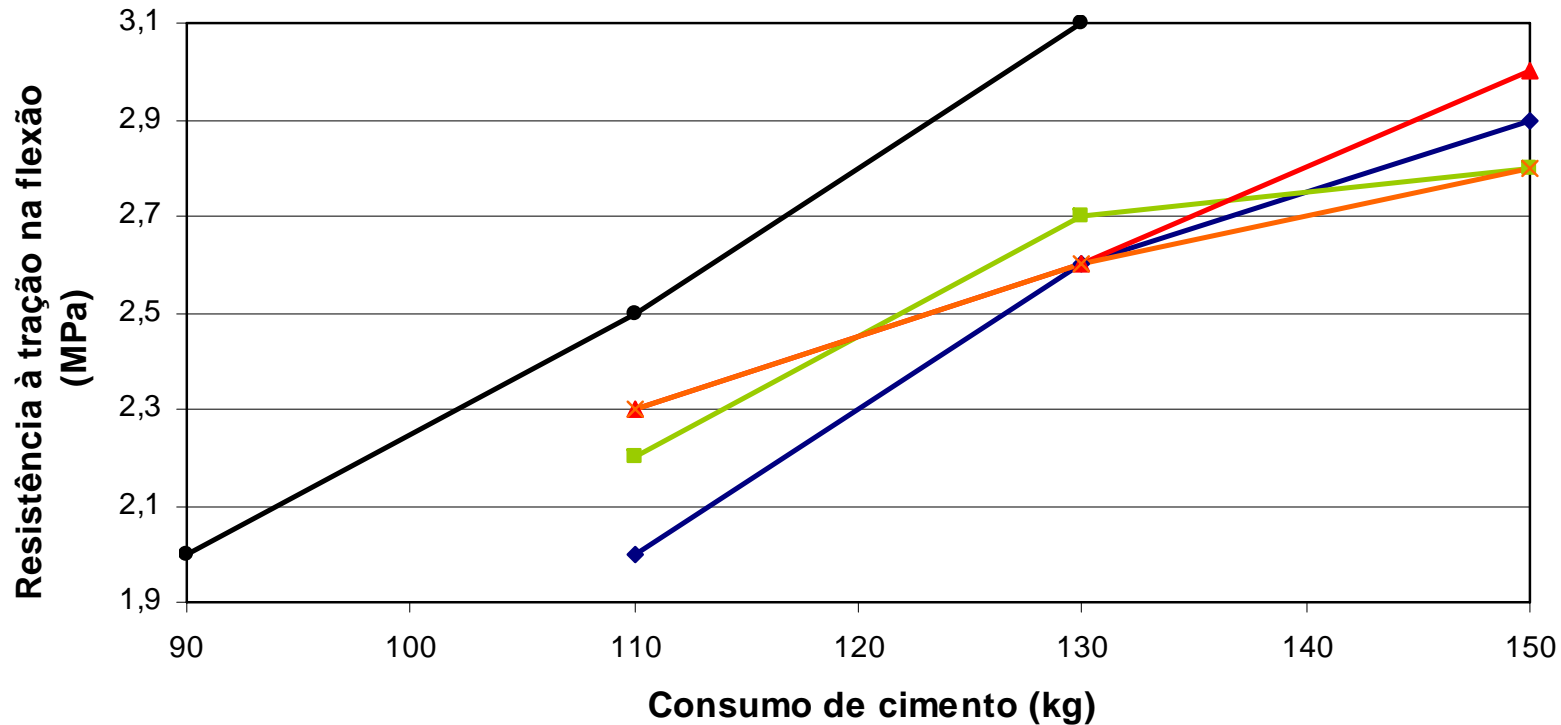
CCR 4 h = 8,9%



CCR 4 100% h = 10,0%



Definição do consumo de cimento - $f_{ctm,28} = 2,5 \text{ MPa}$



◆ CCR 1 ■ CCR 3 ▲ CCR 4 ✕ CCR 4 100% ● CCR*

**CCR* = 110 kg/m³ CCR 1 = 125 kg/m³ CCR 3 = 120 kg/m³
CCR 4 = 120 kg/m³ CCR 4 100% = 125 kg/m³**

Dosagem do CCR e características

	CCR*	CCR 1	CCR 3	CCR 4	CCR 4 100%
Massa específica do CCR (kg/cm ³)	2,425	2,305	2,257	2,210	2,136
Teor de argamassa (%)	45,00	39,00	39,00	39,00	35,00
Relação água/cimento	1,23	1,41	1,50	1,49	1,55
Composição da argamassa (%)					
Areia (kg)	42%	35%	35%	35%	31%
Brita 0 (kg)	26%	31%	32%	31%	37%
Brita (kg)		34%	33%	34%	32%
Brita 1 (kg)	22%				
Brita 2 (kg)	10%				
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

Consumo de cimento (kg/m³)	CCR	Traço unitário em massa	Umidade ótima (%)
110	CCR*	1 : 8,225 : 5,070 : 4,290 : 1,950	6,0
125	CCR 1	1 : 5,546 : 4,894 : 5,367	8,4
120	CCR 3	1 : 5,648 : 5,135 : 5,295	8,8
120	CCR 4	1 : 5,529 : 4,880 : 5,352	8,9
125	CCR 4 100%	1 : 4,425 : 5,365 : 4,640	10,0

Resultados Obtidos

Resistência à compressão axial - fck (MPa)					
Idade (dias)	CCR* (C=110 kg/m ³)	CCR 1 (C=125 kg/m ³)	CCR 3 (C=120 kg/m ³)	CCR 4 (C=120 kg/m ³)	CCR 4 100% (C=125 kg/m ³)
7	8,6	8,3	10,6	10,1	10,0
28	12,2	11,9	13,0	11,9	13,0

Resistência à compressão axial - fck (MPa) - (CHO et al,2004)			
Idade (dias)	CCR 0% (C=170 kg/m ³)	CCR 50% (C=170 kg/m ³)	CCR 100% (C=170 kg/m ³)
7	7,8	6,1	5,1
28	10,9	11,5	9,3

Resultados Obtidos

Resistência à tração na flexão - $f_{ct,f}$ (MPa)					
Idade (dias)	CCR* (C=110 kg/m ³)	CCR 1 (C=125 kg/m ³)	CCR 3 (C=120 kg/m ³)	CCR 4 (C=120 kg/m ³)	CCR 4 100% (C=125 kg/m ³)
7	1,3	1,8	2,0	2,1	1,8
28	2,5	2,7	2,7	2,7	2,5

Resistência à tração na flexão - $f_{ct,f}$ (MPa) - (CHO et al,2004)			
Idade (dias)	CCR 0% (C=170 kg/m ³)	CCR 50% (C=170 kg/m ³)	CCR 100% (C=170 kg/m ³)
7	2,6	2,2	2,0
28	2,9	2,7	2,3

Resultados Obtidos

Módulo de elasticidade com onda ultra-sônica (MPa)					
	CCR* (C=110 kg/m ³)	CCR 1 (C=125 kg/m ³)	CCR 3 (C=120 kg/m ³)	CCR 4 (C=120 kg/m ³)	CCR 4 100% (C=125 kg/m ³)
E	30.682	25.445	20.566	20.976	16.859

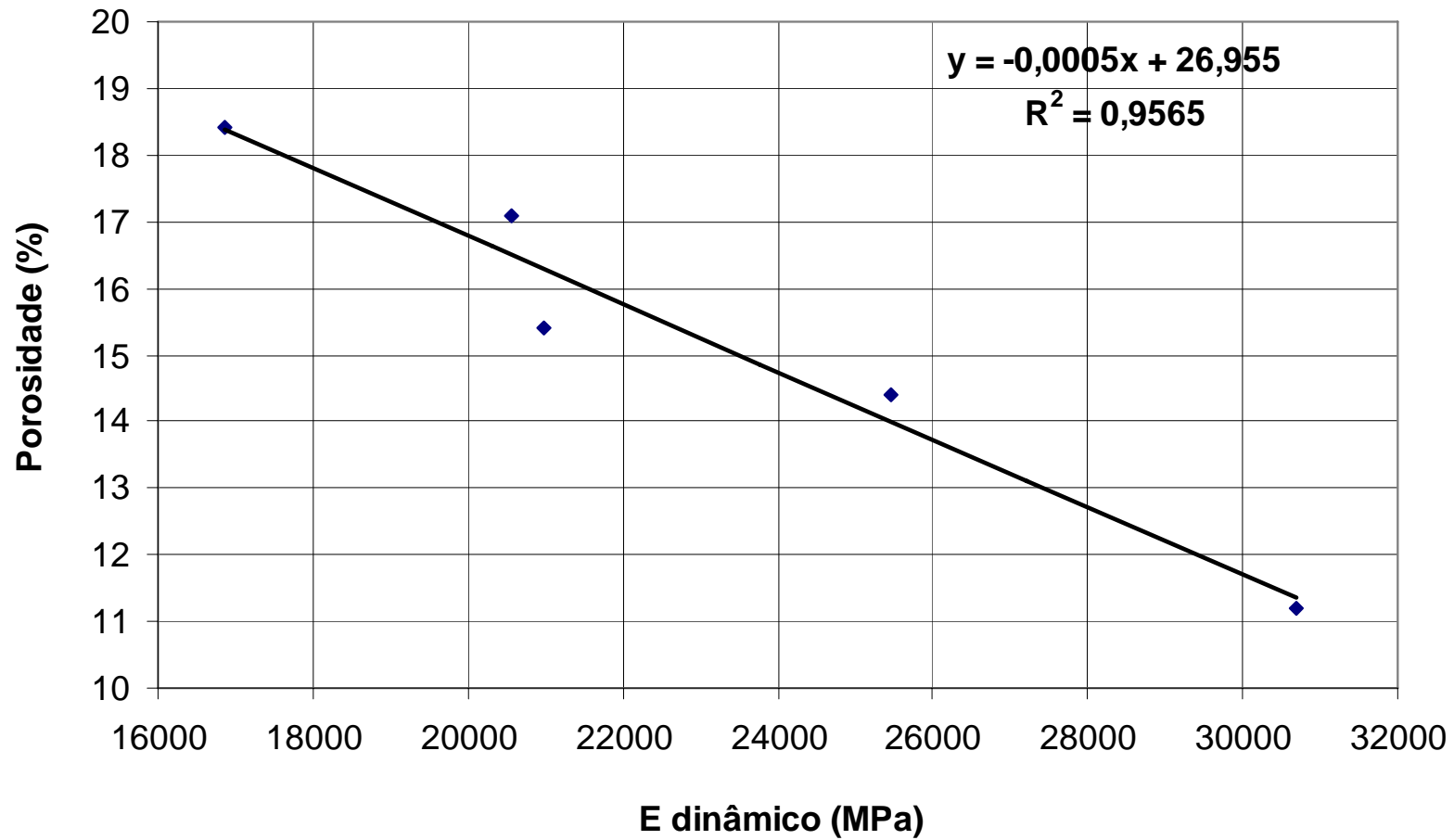
Módulo de elasticidade (GPa) - (CHO et al,2004)			
	CCR 0% (C=170 kg/m ³)	CCR 50% (C=170 kg/m ³)	CCR 100% (C=170 kg/m ³)
E	32,1	29,4	26,7

Resultados Obtidos

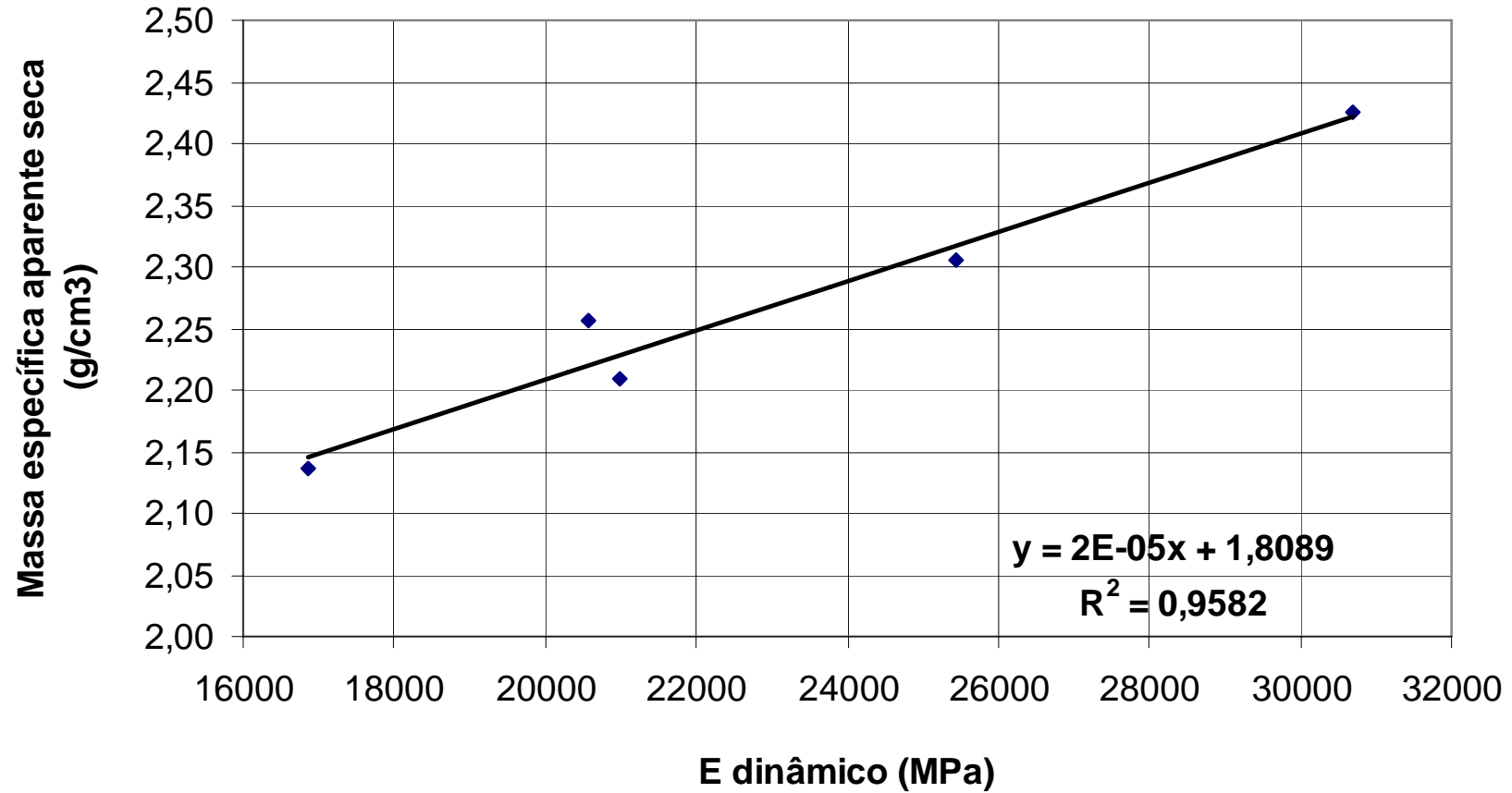
	MEAMS (g/cm³)	Absorção (%)	Porosidade (%)	Umidade Ótima (%)
CCR*	2,425	4,80	11,20	6,00
CCR 1	2,305	6,80	14,40	8,40
CCR 3	2,257	8,00	17,10	8,80
CCR 4	2,210	7,20	15,40	8,90
CCR 4 100%	2,136	9,00	18,40	10,00

	Agregados	Dens. (g/cm³)	Absorção (%)
CCR*	Areia	2,61	1,26
	Brita 0	2,65	1,33
	Brita 1	2,65	0,90
	Brita 2	2,69	0,60
CCR1	Areia	2,61	1,26
	Brita 0	2,54	3,62
	Brita	2,55	4,60
CCR3	Areia	2,61	1,26
	Brita 0	2,50	5,02
	Brita	2,43	6,00
CCR4	Areia	2,61	1,26
	Brita 0	2,47	5,97
	Brita	2,29	9,50
CCR4 (100%)	Areia	2,61	1,26
	Brita 0	2,29	10,60
	Brita	2,29	9,50

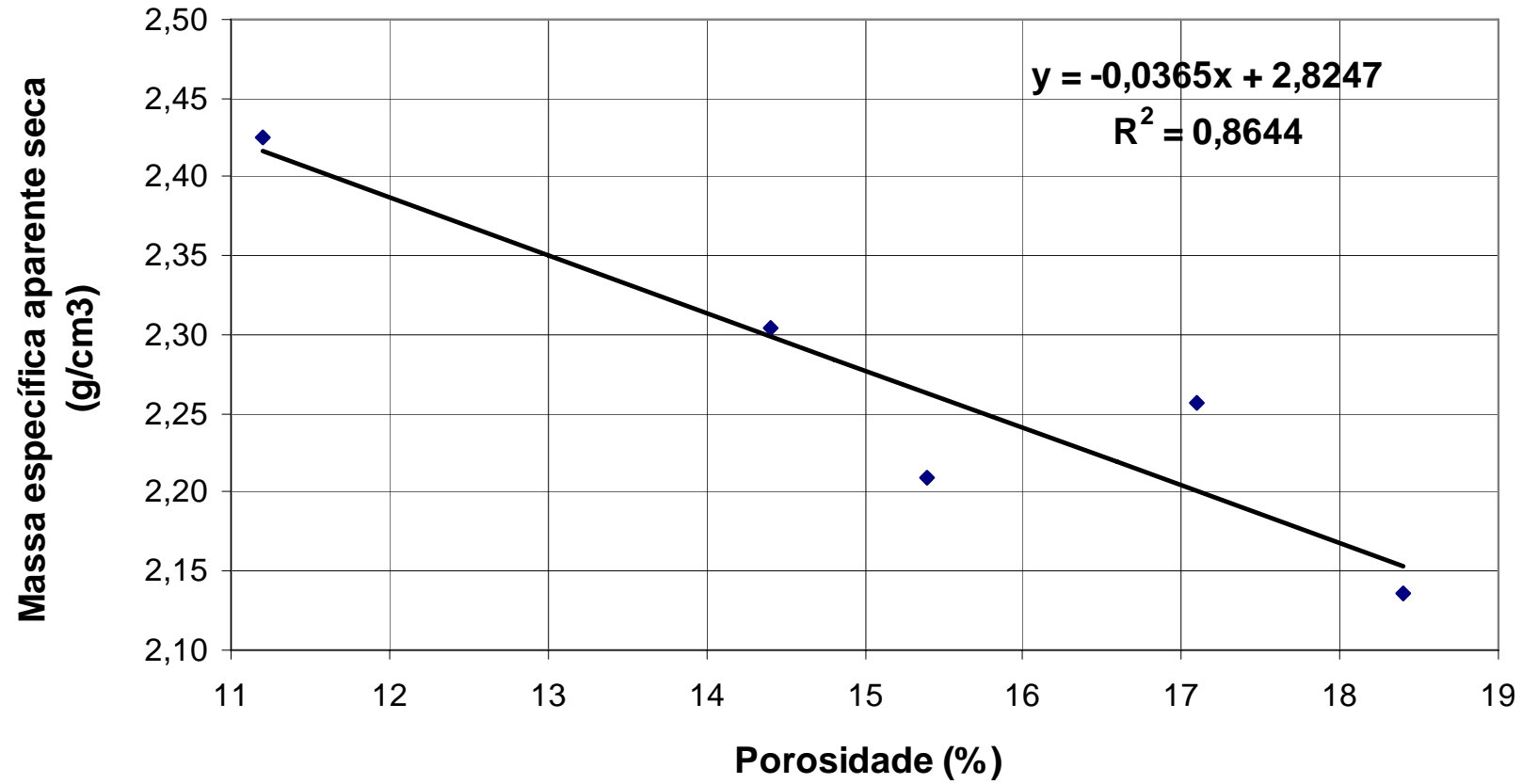
Discussão dos Resultados



Discussão dos Resultados



Discussão dos Resultados



Conclusões

- 1 As resistências à compressão e à tração na flexão dos CCR empregando 100% de agregado graúdo reciclado e 50% de pedrisco reciclado, foram bastante próximas às resistências de um CCR com agregados naturais britados (granito) à custa de pequeno incremento de aproximadamente 9% de cimento Portland (CPIII-40).**
 - 2 Ao se empregar 100% de reciclados de RCD em todas as frações excluída a areia não foram obtidas diferenças importantes, fossem de dosagem, fossem de resistências obtidas.**
-

Conclusões

- 3 Os valores de módulo de elasticidade medidos, em especial dinâmicos, foram capazes de denotar a estrita relação com a porosidade e com a massa específica dos CCR estudados. Houve queda expressiva no valor do módulo de elasticidade entre as misturas de CCR com agregados naturais e com agregados reciclados (excluindo parte da areia), de 31 GPa para 17 GPa.**
 - 4 Uma possível vantagem estudada do comportamento modular dos CCR com agregados reciclados de RCD seria para o caso de pavimentos e pisos em que não fossem prioritárias as cargas repetitivas, pois nesse caso, ter-se-ia módulo de elasticidade inferior combinado com elevada resistência à tração na flexão, o que é favorável ao comportamento e desempenho da estrutura.**
-