

# **36.<sup>a</sup> REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – 36.<sup>a</sup> RAPv**

**CURITIBA/PR - BRASIL - 24 a 26 de agosto de 2005**

**Local: Auditório I da Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP)**

## **UM ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE AGREGADO NA DOSAGEM DE MISTURAS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND PARA PAVIMENTAÇÃO UTILIZANDO MATERIAIS RECICLADOS**

**Rita Moura Fortes<sup>1</sup>; Álvaro S. Barbosa Jr.<sup>2</sup>**

---

<sup>1</sup> Rita Moura Fortes, Professor Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil. UNICAMP – Faculdade de Engenharia Civil – Professor Doutor

Rua da Consolação, 896 – Prédio 6 - 01302-907 – São Paulo – SP – Brasil. E-mail: rmfortes@terra.com.br

<sup>2</sup> Aluno de Pós graduação da UNICAMP – Faculdade de Engenharia Civil – Mestrando e Gerente de Controle de Qualidade da LENC

R. General Asdrúbal da Cunha, 108 – Jardim Arpoador – São Paulo – SP – Brasil – CEP 05565 – 000 E-mail: alvaro@lenc.com.br

## **RESUMO**

Os resíduos sólidos de um laboratório se constituem de materiais utilizados em ensaios laboratoriais, como por exemplo, os corpos de prova utilizados na determinação da resistência do concreto, de blocos cerâmicos ou pavimentos de concreto de cimento Portland.

Estes materiais são geralmente encaminhados a aterros sanitários pois são produtos inertes e não poluentes.

Os problemas ambientais causados por este desperdício são principalmente devido ao fato de que estes aterros estão próximos aos centros urbanos. Hoje as leis ambientais estaduais e federais têm afetado o transporte destes materiais. Este trabalho apresenta um estudo e recomendações para procedimento de dosagem da mistura para pavimentos de concreto de cimento Portland usando materiais reciclados como um material para substituição parcial do agregado natural.

**PALAVRAS-CHAVE:** reciclagem de material; agregado reciclado, dosagem de mistura, pavimento de concreto, cimento Portland.

## **ABSTRACT**

Laboratory solid waste usually comprises materials used in tests, for example specimens from hardened concrete, concrete blocks, ceramic bricks, concrete block pavement.

Those items are commonly used in earthwork construction because they are non-inert and non-pollution recycling products.

The environmental problems caused by this waste are mainly device these materials are left in the fill near urban centers. Today the State and Federal environmental laws have affected transportation of these materials.

This paper presents a study and recommendations of a mix design procedure for cement concrete pavements using recycled materials as a partial substitution material for natural aggregate.

## **KEY WORDS**

replacement material, recycled waste aggregate, mix design, concrete pavement; Portland cement.



## INTRODUÇÃO

Ainda que a literatura seja rica em relatos de pesquisas sobre dosagens de concreto para estruturas convencionais, muito se tem a desenvolver na área de pavimento de concreto. Por outro lado, devido à escassez cada vez maior de materiais disponíveis onde se soma a consciência ambiental, urge que se busque novas tecnologias que contemplem a utilização e de materiais reciclados.

Nesse sentido, tem-se sentido os esforços desenvolvidos pela engenharia que tem procurado criar destinos mais nobres a materiais que eram considerados dejetos e dessa maneira descartados.

Sob esse prisma cabe refletir sobre os entulhos oriundos de laboratórios de ensaios e obras, que são os corpos de prova de concreto, blocos de concreto e blocos cerâmicos utilizados em ensaios tecnológicos. Esses materiais têm sido geralmente descartados e destinados a aterros sanitários. Isso significa um grande desperdício além de contribuir negativamente para a saturação dos mesmos. Desperdício, pois se tratam de materiais nobres e até poderíamos dizer, “selecionados” que poderiam ser aproveitados pela indústria da construção.

Embora já tenham sido apontadas várias pesquisas com materiais denominados de entulho da construção civil, este têm sido utilizados sem que haja uma separação dos diversos tipos, isto é, tem sido utilizado materiais advindos da demolição de paredes que geralmente são de origem cerâmica, com outro de estrutura, geralmente concreto. Esta heterogeneidade prejudica a qualidade dessa fonte de material.

Esta pesquisa procura melhor estudar o aproveitamento desses materiais em pavimentos de concreto de cimento Portland sob os aspectos de dosagem de maneira a melhor conhecer o potencial de sua utilização na pavimentação.

A importância da utilização desse material reside, além da sua qualidade, na quantidade de corpos-de-prova descartados diariamente pelos laboratórios espalhados pelo Brasil.

## DOSAGEM

A resistência mecânica do concreto tem sido parâmetro de interesse principal dos projetistas de CCP, porém o crescimento do custo de reposição de estruturas degradadas está forçando os engenheiros a tomarem consciência dos aspectos de durabilidade. Os usos de concreto estão sendo estendidos a ambientes cada vez mais hostis como as estruturas construídas em regiões litorâneas.

Em geral, as metodologias de dosagem de concreto encaram a questão da durabilidade pelo parâmetro relação água/cimento. É normal ser adotado, nos procedimentos de dosagem, um valor-limite dessa relação a ser empregada no amassamento das misturas de concreto. Embora os valores-limite se correlacionem genericamente com certa aptidão do concreto em resistir ao ataque dos meios agressivos, à medida que a compacidade dos concretos resulte diferente, esses valores podem estar associados a estruturas porosas com distintas capilaridades e permeabilidades [1, 2, 3, 4].

A água através da estrutura porosa do concreto exerce a função de vetor de transferência dos elementos agressivos. A estrutura porosa depende não só da relação água/cimento empregada, mas também da proporção dos materiais de maneira a que atinja a compacidade ótima da mistura [5, 6, 7].

Existem vários métodos de dosagem de concreto. Nessa pesquisa foi utilizado o método preconizado pelo ACI American Concrete Institute (ACI) [8].

## MATERIAL UTILIZADO NA PESQUISA

Nesta pesquisa foram utilizados agregados oriundos de corpos-de-prova ensaiados em laboratório. Os materiais apenas foram separados por grupo de material sem uma distinção quanto ao fabricante, resistências e idades; mas sim; quanto a granulométrica após moagem.

Esses corpos-de-prova foram moídos conforme mostrado na Figura 1.



Figura 1. Moagem dos corpos-de-prova.

Foram determinadas as seguintes características básicas dos agregados reciclados utilizados na preparação dos concretos: módulo de finura, absorção, massa específica aparente, impurezas orgânicas. Estas características influem diretamente na trabalhabilidade do concreto. Não foi estudada a resistência, a dureza, o módulo de elasticidade e outras características dos agregados, pelo fato dessas não comprometerem a durabilidade do concreto.

O agregado antes era tido como material inerente, disperso por entre a pasta de cimento, utilizado principalmente por razões econômicas e técnicas. [9]

Além dos agregados naturais, existe uma série de outros agregados, tais como os leves, os pesados, os de escoria de alto-forno, os de cinza volante, os de concreto reciclado, alvenaria reciclada e o de cerâmicos reciclados, sendo estes três últimos objetos deste estudo.

Foram utilizados na verificação, materiais coletados e amostrados na Usina Engemix e Mackenzie identificados a seguir:

Material	Fornecedor
Cimento CP III 40	Votoran
Areia de Quartzo	Itaporanga
Reciclado	Mackenzie
Brita 01	Pedreira Itapasserra
Brita 02	Pedreira Itapasserra
Aditivo 394 N	MBT

## CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Foram realizados os seguintes ensaios de caracterização: massa específica, teor de materiais pulverulentos, absorção de água, massa unitária, impureza orgânicas e húmicas e composição granulométrica.

- resíduo de bloco cerâmico

As características dos agregados oriundos do bloco cerâmico estão na Tabela 1.

Tabela 1. Características dos agregados oriundos do bloco cerâmico

DISCRIMINAÇÃO DO ENSAIO	NORMA	RESULTADOS		NBR 7211 [16]	
1. MASSA ESPECÍFICA	NBR NM 52 [10]	2,48 g/cm <sup>3</sup>		NÃO ESPECIFICADO	
2. TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS	NBR NM 46 [11]	4,77%		≤ 5,0 %	
3. ABSORÇÃO DE ÁGUA	NBR NM 30 [12]	18,00 %		NÃO ESPECIFICADO	
4. MASSA UNITÁRIA	NBR 7251 [13]	SECA	1,09 kg/dm <sup>3</sup>	NÃO ESPECIFICADO	
5. IMPUREZAS ORGÂNICAS E HÚMICAS	NBR NM 49 [14]	---		MAIS CLARA	
6. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	NBR NM 248 [15]	#	% RETIDA		NÃO ESPECIFICADO
		(mm)	INDIV.	ACUM.	
		12,5	0	0	
		9,5	2	2	
		6,3	22	24	
		4,8	15	39	
		2,4	21	60	
		1,2	16	76	
		0,6	12	88	
		0,3	7	95	
		0,15	3	98	
		FUNDO	2	100	
		MÓD.FINURA	4,58		
Ø MÁX.	9,5 mm		NÃO ESPECIFICADO		
OBSERVAÇÕES:					
1. Agregado referente a verificação de dosagem padrão com blocos cerâmicos.					
2. Os resultados apresentados atendem as exigências da norma NBR 7211 [16]					

- resíduo de bloco de concreto. As características dos agregados oriundos do bloco cerâmico estão apresentadas na Tabela 2.



Tabela 2. Características dos agregados oriundos de bloco de concreto.

DISCRIMINAÇÃO DO ENSAIO	NORMA	RESULTADOS		NBR 7211 [16]	
1. MASSA ESPECÍFICA	NBR NM 52 [10]	2,68 g/cm <sup>3</sup>		NÃO ESPECIFICADO	
2. TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS	NBR NM 46 [11]	4,52%		< 5,0 %	
3. ABSORÇÃO DE ÁGUA	NBR NM 30 [12]	7,37 %		NÃO ESPECIFICADO	
4. MASSA UNITÁRIA	NBR 7251 [13]	SECA	1,34 kg/dm <sup>3</sup>	NÃO ESPECIFICADO	
5. IMPUREZAS ORGÂNICAS E HÚMICAS	NBR NM 49 [14]	---		MAIS CLARA	
6. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	NBR NM 248 [15]	#	% RETIDA		NÃO ESPECIFICADO
		(mm)	INDIV.	ACUM.	
		12,5	0	0	
		9,5	1	1	
		6,3	15	16	
		4,8	19	35	
		2,4	28	63	
		1,2	16	79	
		0,6	8	87	
		0,3	6	93	
		0,15	3	96	
		FUNDO	4	100	
		MÓD.FINURA	4,54		
Ø MÁX.	9,5 mm		NÃO ESPECIFICADO		
OBSERVAÇÕES:					
1. agregado referente a verificação de dosagem padrão com resíduo de bloco de concreto.					
2. os resultados apresentados atendem as exigências da norma NBR 7211 [16]					

- resíduo cp's de concreto. As características dos agregados oriundos do concreto estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características dos agregados oriundos de concreto.

DISCRIMINAÇÃO DO ENSAIO	NORMA	RESULTADOS		NBR 7211 [16]	
1. MASSA ESPECÍFICA	NBR NM 52 [10]	2,68 g/cm <sup>3</sup>		NÃO ESPECIFICADO	
2. TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS	NBR NM 46 [11]	7,89%		< 5,0 %	
3. ABSORÇÃO DE ÁGUA	NBR NM 30 [12]	5,31 %		NÃO ESPECIFICADO	
4. MASSA UNITÁRIA	NBR 7251 [13]	SECA	1,37 kg/dm <sup>3</sup>	NÃO ESPECIFICADO	
5. IMPUREZAS ORGÂNICAS E HÚMICAS	NBR NM 49 [14]	---		MAIS CLARA	
6. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	NBR NM 248 [15]	#	% RETIDA		NÃO ESPECIFICADO
		(mm)	INDIV.	ACUM.	
		12,5	0	0	
		9,5	2	2	
		6,3	18	20	
		4,8	16	36	
		2,4	23	59	
		1,2	14	73	
		0,6	7	80	
		0,3	7	87	
		0,15	6	93	
		FUNDO	7	100	
		MÓD.FINURA	4,30		
Ø MÁX.	9,5 mm		NÃO ESPECIFICADO		
OBSERVAÇÕES:					
1. Agregado referente a verificação de dosagem padrão com resíduo de cp's de concreto.					
2. Os resultados apresentados não atendem as exigências da norma NBR 7211 [16], quanto ao teor de material pulverulento.					

- Cimento. O cimento utilizado foi Votoran tipo CP III 40. A amostra foi realizada na Usina Engemix – Guarapiranga. As características do cimento estão apresentadas na Tabela 4.



Tabela 4. Características do cimento.

DISCRIMINAÇÃO DO ENSAIO	NORMA	RESULTADOS				NORMA NBR 5735 [24]	
1. CONSISTÊNCIA NORMAL	NBR NM 43 [17]	24,2 %				----	
2. FINURA NA # N° 200	NBR 11579 [18]	2,1 %				≤ 8 %	
3. TEMPOS DE PEGA	NBR NM 65 [19]	INÍCIO	3:25 HORAS		INÍCIO	≥ 1 h	
		FIM	6:15 HORAS		FIM	≤ 12 h	
4. EXPANSIBILIDADE LE CHATELIER	NBR 11582 [20]	A QUENTE	0,5 mm		A QUENTE	≤ 5mm	
		A FRIO	0,0 mm		A FRIO	≤ 5 mm	
5. ÁREA ESPECÍFICA BLAINE	NBR NM 76 [21]	4040 cm <sup>2</sup> /g				----	
6. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	NBR 7215 [22]	IDADE (dias)	IND. (MPa)	MÉDIA (MPa)	DESVIO (%)	≥ 12,0 MPa	
							03
		17,4					
		18,5					
		17,6					
		07	30,6	30,4	3,6		≥ 23,0 MPa
			29,3				
			30,5				
			31,1				
		28	43,2	44,1	2,0	≥ 40,0 MPa	
			44,5				
			45,0				
43,6							
7. MASSA ESPECÍFICA	NBR NM 23 [23]	3,02 g/cm <sup>3</sup>					---
OBSERVAÇÕES:							
1. Este relatório refere-se a verificação de dosagem padrão com resíduo de cp's de concreto							
2. Os resultados apresentados atendem as exigências da norma NBR 5735 [24].							

Foi utilizada areia natural proveniente da Itaporanga. A amostragem foi realizada na Usina Engemix - Guarapiranga. As características da areia estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Características da areia

DISCRIMINAÇÃO DO ENSAIO	NORMA	RESULTADOS			NBR 7211 [16]	
1. MASSA ESPECÍFICA	NBR NM 52 [10]	2,55 g/cm <sup>3</sup>			NAO ESPECIFICADO	
2. TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS	NBR NM 46 [11]	0,93 %			≤ 5,0 %	
3. ABSORÇÃO DE ÁGUA	NBR NM 30 [12]	---			NAO ESPECIFICADO	
4. MASSA UNITÁRIA	NBR 7251 [13]	SECA	1,48 kg/dm <sup>3</sup>		NAO ESPECIFICADO	
		h= 4,0 %	1,15 kg/dm <sup>3</sup>			
5. IMPUREZAS ORGÂNICAS E HÚMICAS	NBR NM 49 [14]	MAIS CLARA			MAIS CLARA	
6. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	NBR NM 248 [15]	#	% RETIDA		ZONA 01 (MUITO FINA)	
		(mm)	INDIV.	ACUM.		
		6,3	0	0		0 a 3
		4,8	0	0		0 a 5 <sup>(A)</sup>
		2,4	2	2		0 a 5 <sup>(A)</sup>
		1,2	4	6		0 a 10 <sup>(A)</sup>
		0,6	9	15		0 a 20
		0,3	75	90		50 a 85 <sup>(A)</sup>
		0,15	7	97		85 <sup>(B)</sup> a 100
		FUNDO	3	100		---
		MÓD.FINURA	2,10			NAO ESPECIFICADO
		Ø MÁX.	2,4 mm			NAO ESPECIFICADO
ZONA	1 (MUITO FINA)			NAO ESPECIFICADO		
OBSERVAÇÕES:						
1. (A) pode haver uma tolerância de até um máximo de 5 % em um só dos limites marcados com a letra a ou distribuídos em vários deles.						
2. (b) para agregado miúdo resultante de britamento este limite poderá ser 80.						
3. Os resultados apresentados atendem as exigências da norma NBR 7211 [16].						

Foi utilizada brita 1 proveniente da Pedreira Itapaserra. A amostragem foi realizada na Usina Engemix - Guarapiranga. As características da areia estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Características da brita 1

DISCRIMINAÇÃO DO ENSAIO	NORMA	RESULTADOS		NBR 7211 [16]	
1. MASSA ESPECÍFICA	NBR NM 53 [25]	2,79 g/cm <sup>3</sup>		NÃO ESPECIFICADO	
2. TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS	NBR NM 46 [11]	0,5 %		≤ 1,0 %	
3. ABSORÇÃO DE ÁGUA	NBR NM 53 [25]	0,87 %		NÃO ESPECIFICADO	
4. MASSA UNITÁRIA SECA	NBR 7251 [13]	1,39 kg/dm <sup>3</sup>		NÃO ESPECIFICADO	
5. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	NBR NM 248 [15]	#	% RETIDA		LIMITES GRANULOMÉTRICO
		(mm)	INDIV.	ACUM.	
		25	0	0	0
		19	2	2	0 a 10
		12,5	66	68	--
		9,5	24	92	80 a 100
		6,3	6	98	92 a 100
		4,8	0	98	95 a 100
		2,4	0	98	--
		1,2	0	98	--
		0,6	0	98	--
		0,3	0	98	--
		1,5	0	98	--
		FUNDO	2	100	--
MÓD.FINURA	6,82		NÃO ESPECIFICADO		
Ø MÁX.	19 mm		NÃO ESPECIFICADO		
GRADUAÇÃO	01		NÃO ESPECIFICADO		
OBSERVAÇÕES:					
1. Agregado referente a verificação de dosagem padrão de resíduo de cp's de concreto.					
2. Os resultados apresentados atendem as exigências da norma NBR 7211 [16].					

Foi utilizada brita 2 proveniente da Pedreira Itapaserra. A amostragem foi realizada na Usina Engemix - Guarapiranga. As características da areia estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7. Características da brita 2

DISCRIMINAÇÃO DO ENSAIO	NORMA	RESULTADOS		NBR 7211 [16]	
1. MASSA ESPECÍFICA	NBR NM 53 [25]	2,66 g/cm <sup>3</sup>		NÃO ESPECIFICADO	
2. TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS	NBR NM 46 [11]	0,29 %		≤ 1,0 %	
3. ABSORÇÃO DE ÁGUA	NBR NM 53 [25]	0,75 %		NÃO ESPECIFICADO	
4. MASSA UNITÁRIA SECA	NBR 7251 [13]	1,33 kg/dm <sup>3</sup>		NÃO ESPECIFICADO	
5. COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	NBR NM 248 [15]	#	% RETIDA		LIMITES GRANULOMÉTRICO
		(mm)	INDIV.	ACUM.	
		32	0	0	0
		25	7	7	0 a 25
		19	72	79	75 a 100
		12,5	19	98	90 a 100
		9,5	1	99	95 a 100
		6,3	0	99	--
		4,8	0	99	--
		2,4	0	99	--
		1,2	0	99	--
		0,6	0	99	--
		0,3	0	99	--
		1,5	0	99	--
FUNDO	1	100	--		
MÓD.FINURA	7,72		NÃO ESPECIFICADO		
Ø MÁX.	32 mm		NÃO ESPECIFICADO		
GRADUAÇÃO	02		NÃO ESPECIFICADO		
OBSERVAÇÕES:					
1. Agregado referente a verificação de dosagem padrão de resíduo de cp's de concreto					
2. Os resultados apresentados atendem as exigências da norma NBR 7211 [16].					

## PROCEDIMENTOS:

Com amostras dos materiais ensaiados, foram preparadas 10 (dez) dosagens de cada traço, da qual foi medida o abatimento e moldados 01 série de corpos-de-prova cilíndricos e 01 série de corpos-de-prova prismáticos, para determinação da resistência à compressão nas idades 1, 3, 7 e 28 dias e determinação da resistência a tração na flexão nas idades 1, 3, 7 e 28 dias [26, 27, 28].

Conforme mencionado foi selecionado um traço padrão com a utilização de pedrisco misto em sua composição granulométrica, onde esta proporção esta na ordem de 40% do agregado miúdo.

Partindo deste princípio, foi obtido através da moagem de material reciclado realizado na Universidade Mackenzie, uma granulometria próxima ao pedrisco misto.

## CARACTERÍSTICAS DA DOSAGEM

Na Tabela 8 estão apresentadas as características de dosagem. Foram efetuadas quatro dosagens:

- ❖ Dosagem nº 1 – concreto convencional com utilização de pedrisco misto;
- ❖ Dosagem nº 2 – concreto com resíduo de bloco cerâmico;
- ❖ Dosagem nº 3 - concreto com resíduo de bloco de concreto;
- ❖ Dosagem nº 4 - concreto com resíduo de corpos de prova de concreto;

Tabela 8. Características da brita 2

Dosagem N°	$f_{ck}$ (MPa)	$F_{ctmk}$ (MPa)	Abatimento pelo tronco de Cone (mm) [24]	Agregado Graúdo	Lançamento	Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de Cimento	
01	30,0	4,5	80 ± 10	B1 e B2	Convencional	355	CP III 40	
<i>Traço padrão com utilização de pedrisco misto</i>								
Dosagem N°	Cimento	Areia de Quartzo	Areia Artificial	Brita 01	Brita 02	Aditivo	Água	
01	1,000	1,485	0,994	2,273	0,572	0,005	0,4730	
Consumo de material para 1m <sup>3</sup> de concreto (materiais secos)								
Dosagem N°	Fator a/c	Cimento CPIII 40 (kg)	Areia de Quartzo (kg)	Areia Artificial (kg)	Brita 01 (kg)	Brita 02 (kg)	Aditivo (l)	Água (l)
01	0,47	355	527	353	807	203	1,90	168
<i>Traço unitário Bloco de cerâmico</i>								
Dosagem N°	Cimento	Areia de Quartzo	Resíduo de Bloco Cerâmico	Brita 01	Brita 02	Aditivo	Água	
02	1,000	1,485	0,994	2,273	0,572	0,005	0,590	
Consumo de material para 1m <sup>3</sup> de concreto (materiais secos)								
Dosagem N°	Fator a/c	Cimento CPIII 40 (kg)	Areia de Quartzo (kg)	Areia Artificial (kg)	Brita 01 (kg)	Brita 02 (kg)	Aditivo (l)	Água (l)
02	0,47	355	527	353	807	203	1,90	209
<i>Traço unitário bloco de concreto</i>								
Dosagem N°	Cimento	Areia de Quartzo	Resíduo de Bloco de concreto	Brita 01	Brita 02	Aditivo	Água	
03	1,000	1,485	0,994	2,273	0,572	0,005	0,440	
Consumo de material para 1m <sup>3</sup> de concreto (materiais secos)								
Dosagem N°	Fator a/c	Cimento CPIII 40 (kg)	Areia de Quartzo (kg)	Areia Artificial (kg)	Brita 01 (kg)	Brita 02 (kg)	Aditivo (l)	Água (l)
03	0,47	355	527	353	807	203	1,90	156
<i>Traço unitário corpos-de-prova de concreto</i>								
Dosagem N°	Cimento	Areia de Quartzo	Resíduo CP's de concreto	Brita 01	Brita 02	Aditivo	Água	
04	1,000	1,485	0,994	2,273	0,572	0,005	0,440	
Consumo de material para 1m <sup>3</sup> de concreto (materiais secos)								
Dosagem N°	Fator a/c	Cimento CPIII 40 (kg)	Areia de Quartzo (kg)	Areia Artificial (kg)	Brita 01 (kg)	Brita 02 (kg)	Aditivo (l)	Água (l)
04	0,47	355	527	353	807	203	1,90	156



Como traço padrão foi utilizada a primeira dosagem. Observou-se que houve uma redução do consumo de água na dosagem utilizando-se bloco de concreto e corpos de prova de concreto, dosagens 3 e 4 respectivamente. A dosagem 2 apresentou um consumo maior de água. A relação água/cimento (a/c) foi mantida, dentro do possível, entre 0,47 e 0,44.

## RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os resultados das características do concreto fresco e do concreto endurecido das dosagens 1, 2, 3 e 4 estão apresentadas na Tabela 9.

Para o concreto fresco foram realizados os ensaios para a determinação do abatimento tronco de cone [29], determinação do ar incorporado [30] e densidade.

Para o concreto endurecido foram realizados os ensaios para a determinação da resistência à compressão axial [27] e da tração na flexão [28].

Tabela 9. Características do concreto fresco e endurecido das dosagens 1, 2, 3 e 4.

CONCRETO COM PEDRISCO MISTO										
Concreto Fresco										
Dosagem N°	Fator a/c	Abatimento medido (mm)	Ar Incorporado (%)		Densidade (kg/m <sup>3</sup> )					
01	0,47	70	2,0		2,40					
Concreto endurecido										
Dosagem N°	f <sub>ck</sub> (MPa)	F <sub>ctmk</sub> (MPa)	Resistência Média à Compressão Axial (MPa)				Resistência Média Tração na Flexão (MPa)			
			24 h	03 dias	07 dias	28 dias	24 h	03 dias	07 dias	28 dias
01	30,0	4,5	52,4	214,6	37,4	52,0	1,1	2,3	5,0	5,9
BLOCO CERÂMICO										
Concreto fresco										
Dosagem N°	Fator a/c	Abatimento medido (mm)	Ar Incorporado (%)		Densidade (kg/m <sup>3</sup> )					
02	0,47	80	1,5		2,35					
Concreto endurecido										
Dosagem N°	f <sub>ck</sub> (MPa)	F <sub>ctmk</sub> (MPa)	Resistência Média à Compressão Axial (MPa)				Resistência Média Tração na Flexão (MPa)			
			24 h	03 dias	07 dias	28 dias	24 h	03 dias	07 dias	28 dias
02	30,0	4,5	5,8	21,9	28,6	37,3	1,3	3,6	3,9	5,0
BLOCO DE CONCRETO										
Concreto fresco										
Dosagem N°	Fator a/c	Abatimento medido (mm)	Ar Incorporado (%)		Densidade (kg/m <sup>3</sup> )					
03	0,47	80	1,6		2,38					
Concreto endurecido										
Dosagem N°	f <sub>ck</sub> (MPa)	F <sub>ctmk</sub> (MPa)	Resistência Média à Compressão Axial (MPa)				Resistência Média Tração na Flexão (MPa)			
			24 h	03 dias	07 dias	28 dias	24 h	03 dias	07 dias	28 dias
03	30,0	4,5	7,1	21,6	42,2	50,2	1,45	3,6	4,3	6,3
CORPOS DE PROVA DE CONCRETO										
Concreto fresco										
Dosagem N°	Fator a/c	Abatimento medido (mm)	Ar Incorporado (%)		Densidade (kg/m <sup>3</sup> )					
04	0,47	80	1,5		2,40					
Concreto endurecido										
Dosagem N°	f <sub>ck</sub> (MPa)	F <sub>ctmk</sub> (MPa)	Resistência Média à Compressão Axial (MPa)				Resistência Média Tração na Flexão (MPa)			
			24 h	03 dias	07 dias	28 dias	24 h	03 dias	07 dias	28 dias
04	30,0	4,5	7,2	25,5	41,7	45,7	1,4	3,2	5,3	6,1

Nas Figuras 2 e 3 estão apresentadas as resistências médias em cada idade, da compressão axial e da tração na flexão, respectivamente.

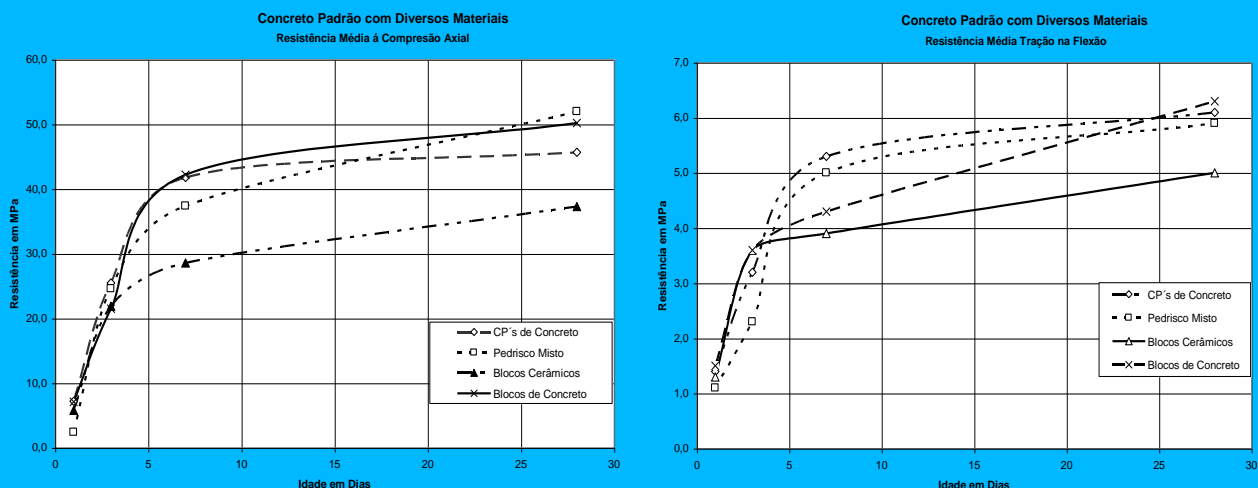


Figura 2. Gráficos: (a) resistência a compressão axial versus idade (b) resistência à tração na flexão versus idade.

Cabe salientar que para se manter uma dosagem próxima da dosagem 1 (referência) foi necessário se acrescentar mais água no caso da dosagem utilizando-se o bloco cerâmico. Por esta razão e também pelo fato do material cerâmico apresentar menor resistência, observou-se nas figuras 2(a) e 2(b), resistências à compressão e a tração na flexão, os menores valores.

Observou-se também que a resistência apresentada quando da utilização do traço convencional, se equiparam aos valores obtidos para o traço com utilização de corpos de prova de concreto ou de blocos de concreto, embora estes últimos tenham apresentado valores um pouco inferiores, o que se justifica pelo fato do agregado ser composto também pela argamassa.

## CONCLUSÕES FINAIS

Esta pesquisa permite avaliar o potencial da utilização de materiais reciclados, o que amplia as opções para utilização de materiais que até então têm sido relegados ao descarte.

Recomenda-se, no entanto que a sua utilização seja feita de maneira racional, evitando-se a mistura de materiais de comportamento muito diferente, ou seja, é possível se trabalhar com materiais de comportamento similar, como é o caso de blocos de concreto e corpos de prova de concreto.

Observou-se também que para um consumo de 355 kg de cimento por  $m^3$ , obteve-se resistências à tração na flexão, aos 28 dias, próximas a 6 MPa, no caso dos concretos das dosagens com utilização de pedrisco misto, corpos de prova de concreto ou blocos de concreto, o que é muito promissor.

Como era esperado, o traço com utilização de materiais cerâmicos apresentou menor resistência à tração na flexão, embora os valores obtidos estejam na faixa de 5 MPa, o que também é um valor bastante razoável e se justifica também pelo fato do traço ter sido realizado com uma maior proporção a/c.

Os autores pretendem continuar a sua pesquisa, acrescentando parâmetros da determinação do módulo de deformação estática [31].

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MEHTA P.K., Durability of Concrete – Fifth Years of Progress?, DURABILITY OF CONCRETE, SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE, MONTREAL, CANADA 1991 AND ACI SP 126
- [2] CEB Boletins 203, 204, 205 DE 1990
- [3] Olav Gautefall, Nordie Concrete Research 7, 1988
- [4] Proceedings, First International Conference on Durability of Building Material and Components, ASTM STP, 1980
- [5] Proceedings, Symposium on Durability of Concrete, ACI SP 47, 1975
- [6] Proceedings, Symposium on Durability of Concrete, RILEM, 1969, 1984
- [7] Symposium on the Chemistry of Cement, Third (1952), Fourth (1960), Fifth (1968), Seven (1980), and Eight (1986)

- [8] ACI. COMMITTEE 211, Recommended practice for selecting proportions for normal and heavyweight concrete, (ACI 211. 1-77), J. Amer. Concr. Inst. 66 n.º 8 págs. 612-29 (1969) 70, n.º 4, págs. 253-5 (1973); 71, n.º 11 págs. 413-50 (1971); 72, n.º 7 págs. 361-2 (1975).
- [9] NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Tradução brasileira: Salvador E. Giammusso. São Paulo, Pini, 1982.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52/2003 – Agregado miúdo – determinação da massa específica e massa específica aparente.** ABNT, Rio de Janeiro, 2003.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46/2003 – determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.** ABNT, Rio de Janeiro, 2003.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30/2001.– Absorção de água.** ABNT, Rio de Janeiro, 2001.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251/1982 – Massa unitária de agregado em estado solto.** ABNT, Rio de Janeiro, 1982.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49/2001 – Impurezas orgânicas húmicas.** ABNT, Rio de Janeiro, 2001.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248/2003 – Determinação da composição granulométrica.** ABNT, Rio de Janeiro, 2003.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 - Agregado para concreto – Especificação,** ABNT, Rio de Janeiro, 2005.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 43/2002 - Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal.** ABNT, Rio de Janeiro, 2002.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579/91 – Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 mm.** ABNT, Rio de Janeiro, 1991.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM65/2002 - Cimento Portland - Determinação do tempo de pega.** ABNT, Rio de Janeiro, 2002.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11582/91 – Cimento Portland – Determinação da expansibilidade de Le Chatelier.** ABNT, Rio de Janeiro, 1991.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 76/98 - Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine).** ABNT, Rio de Janeiro, 1998.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215/96 (MB 1) Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.** ABNT, Rio de Janeiro, 1996.
- [23] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23/2001 - Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação de massa específica.** ABNT, Rio de Janeiro, 2001.
- [24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735/1991 - Cimento Portland de alto-forno.** ABNT, Rio de Janeiro, 1991.
- [25] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53/2003 - agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** ABNT, Rio de Janeiro, 2003.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738/2003 – moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos,** ABNT, Rio de Janeiro, 2003.
- [27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos,** ABNT, Rio de Janeiro, 1994.
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR12142/91 - Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos,** ABNT, Rio de Janeiro, 1991.
- [29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67/1998 Consistência pelo abatimento do tronco de cone.** ABNT, Rio de Janeiro, 1998.
- [30] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 47/2002 – Item 7.3 – Teor de ar pelo método pressométrico.** ABNT, Rio de Janeiro, 2002.
- [31] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1. **NBR 8522/2003 - Determinação do módulo de deformação estática e diagrama – tensão - deformação,** ABNT, Rio de Janeiro, 2003.

