

# AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE AGREGADO RECICLADO NAS APLICAÇÕES DESTINADAS AO SISTEMA CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL: BLOCO, GRAUTE E ARGAMASSA.

Ailton Soares Freire<sup>(1)</sup>; Janaíde Rocha Cavalcante<sup>(2)</sup>

(1) IFPI, e-mail: [ailton99@gmail.com](mailto:ailton99@gmail.com)

(2) UFSC, [janaide@ecv.ufsc.br](mailto:janaide@ecv.ufsc.br)

## **Resumo**

*Este trabalho procura contribuir com um levantamento acerca de pesquisas realizadas no Brasil sobre estudos tecnológicos de agregados reciclados, e fazer uma análise sobre o potencial de uso destes nos componentes (blocos, graute e argamassa) do sistema construtivo em alvenaria estrutural de blocos de concreto, propondo uma relação entre o consumo deste agregado reciclado com a área do pavimento tipo de uma edificação habitacional neste sistema construtivo.*

*Para alcançar o objetivo proposto, foi feita uma pesquisa exploratória sobre os estudos desenvolvidos no Brasil que tem por foco a forma de obtenção, a caracterização ou a utilização de agregados reciclados na Construção Civil e, em um segundo caminho, foram avaliados vários projetos em alvenaria estrutural (120 projetos nacionais na modulação de 30 e 40), de diferentes tipologias arquitetônicas, a partir dos quais foram levantados os dados relativos à caracterização de cada edificação e ao consumo de materiais. A convergência destes caminhos resultou na elaboração de indicadores de projeto por elemento construtivo em alvenaria estrutural empregando-se o agregado reciclado de resíduo construção e demolição (RCD). Os dados obtidos para este segundo caminho foi coletado a partir de uma dissertação de mestrado realizada no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), que fornece indicadores de projeto para edifícios em alvenaria estrutural.*

*A análise resultou na previsão de consumo médio de agregados reciclados de RCD por área de pavimento tipo no sistema construtivo em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, os indicadores de projeto, da ordem de 11,84 Kg/m<sup>2</sup>, na situação mais desfavorável que é a composição de agregados reciclados de material cerâmico puro e a resistência mínima de 15 MPa para o graute, exigido por norma e estabelecidos no projetos analisados. Procurou-se contribuir para confirmar um mercado de tamanho significativo, dentro da Construção Civil, com possibilidades de absorver parte do agregado reciclado de RCD obtido no Brasil.*

*Palavras-chave: Agregado reciclado, Alvenaria estrutural, RCD.*

## **Abstract**

*This paper seeks to contribute to a survey on research conducted in Brazil on technological studies of recycled aggregate, and do analysis on the potencial use of the components (blocks, grout and mortar) construction system in structural masonry concrete block, suggesting a relationship between the use of this recycled aggregate with the type of floor area in a building construction system housing.*

*To achieve the proposed objective, was made an exploratory research studies conducted in Brazil that focuses on how to obtain the characterization or the use of recycled aggregates in construction, and a second path, several projects were evaluated in masonry structure (120*

*national projects in the modulation 30 and 40), different types of architecture, from which data were presented for the characterization of each building and material consumption. The convergence of these paths resulted in a survey of indicators in structural masonry construction element employing the CDW recycled aggregate. The data for this second path was collected from a dissertation conducted in the Graduate Program in Civil Engineering, Federal University of Sao Carlos (UFSCar), project that provides indicators for buildings in structural masonry.*

*The analysis resulted in estimates of average consumption of CDW recycled aggregate floor area for the type of structural masonry construction system of concrete hollow blocks in the order of 11.84 kg/m<sup>2</sup>, in the worst case in that the composition of recycled aggregates pure ceramic material and minimum strength of 15MPa for the grout, required by the standard and established projects. We tried to help to confirm a market of significant size within the building, with possibilities of absorbing part of CDW recycled aggregate obtained in Brazil.*

**Keywords:** *Recycled aggregate, Structural masonry, CDW.*

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil no Brasil é a maior consumidora de matéria prima e de energia e também a maior geradora de resíduos, 61% segundo Campos (2006), dentre todas as atividades econômicas, isto gera algo em torno de  $96 \times 10^6$  de toneladas por ano. Mesmo havendo uma quantidade significativa de RCD gerados no Brasil, segundo o pesquisador Sérgio Ângulo, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, apenas cerca de 5% do total gerado na construção civil no Brasil é reciclado. O que difere da Europa e dos Estados Unidos, onde a prática da reciclagem do RCD já está consolidada. Na Europa, países como a Holanda, Bélgica, Dinamarca e Alemanha já conseguem reaproveitamento dos RCD superiores a 80% (EUROSTAT, 2011). Se for levado em consideração apenas o momento da obra, muito dos elementos que tem como destino a composição do RCD são passíveis de reaproveitamento dentro do mesmo canteiro de obra.

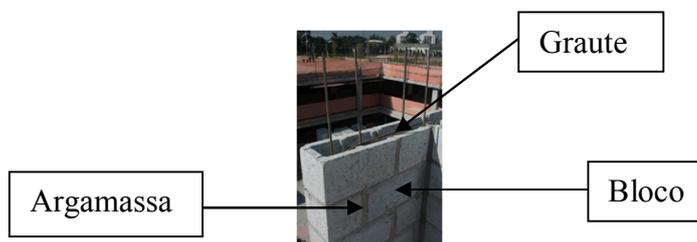
Sobre a utilização de resíduos de construção, há pesquisas no mundo (SANCHEZ, 2004; SHIMA et al., 2005) e no Brasil (ÂNGULO, 2005; MIRANDA, 2005; BUTTLER, 2007) que avaliam a possibilidade da utilização destes como agregado reciclados ou como elementos construtivos na construção civil, dentro do canteiro da obra ou para outros canteiros.

Neste aspecto, este trabalho, traça uma relação entre as pesquisas sobre a aplicação de agregado reciclado no Brasil e a possibilidade de utilização destes no sistema construtivo em alvenaria estrutural, a partir do trabalho de três pesquisadores selecionados, fazendo uma previsão de consumo médio deste agregados reciclado de RCD por área de pavimento tipo neste sistema construtivo.

## 2. COMPONENTES PARA A ALVENARIA ESTRUTURAL

Podemos considerar que os componentes bloco, graute e argamassa estão entre os principais constituintes do sistema construtivo em alvenaria estrutural. A figura 01 faz uma representação deles na colocação neste sistema construtivo.

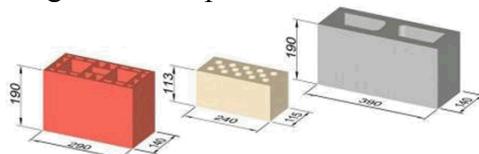
Figura 01 – Representação do bloco, graute e argamassa (Chico Rivers/ABCP)



## 2.1. Bloco

De acordo com o tipo de material, as principais opções encontradas são bloco cerâmico, bloco de concreto e bloco sílico-calcário, apresentado na figura 02.

Figura 02 – Tipo de blocos comum



Para os blocos vazados em concreto são exigidas, segundo a NBR 6.136:2006, as características discriminadas na tabela abaixo de acordo com a aplicação a que se destina.

Tabela 01 – Requisitos para os blocos vazados em concreto – NBR 6.136:2006

Classe	Resistência característica à compressão Fbk em MPa	Absorção média (%)		Retração (%)
		Agregado normal	Agregado leve	
A	≥ 6,0		≤ 10%	
B	≥ 4,0	≤ 10%	(média)	≤ 0,065%
C	≥ 3,0		≤ 16%	
D	≥ 2,0		(individual)	

Para a resistência característica à compressão a tendência analisada em projetos no sistema construtivo em alvenaria estrutural, segundo Freire (2007), é de 1 MPa por número de pavimentos, limitado por um mínimo de 4,5 MPa e por um máximo de 12 MPa. Este mínimo deve-se à recomendação da NBR 10.837:2005, que limita em 4,5 MPa a resistência mínima para edifícios em alvenaria estrutural de bloco de concreto, enquanto que este máximo é uma limitação de fabricação de mercado. Outros fatores a influenciar a escolha do bloco é a absorção média e a retração dos blocos.

Logo, a resistência características a compressão, absorção de água e a retração por secagem são características, indispensáveis, para a utilização de blocos vazados de concreto para o uso na alvenaria.

## 2.2. Graute

De uma maneira simplificada, graute é um micro concreto utilizado para preencher as cavidades dos blocos onde são acomodadas as armaduras verticais e para o preenchimento dos blocos canaletas que pode ter ou não armaduras, e denominaremos de cintas. Tem a finalidade de solidarizar a armadura a alvenaria e aumentar a sua capacidade resistente.

Nas edificações em alvenaria estrutural, o graute é usado basicamente no reforço da alvenaria, ao preencher os furos verticais pré-determinado em projeto dos blocos e na confecção das cintas, estas são encontrada nos edifícios em alvenaria estrutural basicamente em dois tipos: a de respaldo normalmente colocada na altura da laje de cobertura em uma fiada única ou em duas fiadas, para dar um melhor travamento com a laje na altura do pavimento e a cinta a meia altura, normalmente encontrada na altura da 5ª fiada para coincidir com a contra-verga.

Foi observado na análise dos 120 projetos que a resistência do graute é especificada, quase sempre, igual a duas vezes à resistência do bloco, limitado pelo valor mínimo de 9 MPa, em média. Especificação que atende a NBR 10.837:2005, onde recomenda que o graute deva ter sua resistência característica maior ou igual a duas vezes a resistência característica do bloco.

### 2.3. Argamassa

Para a NBR 13.281:2001, argamassa é uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Analisando a informação contida na maioria dos 120 projetos e a recomendação da NBR 13.279:1995, podemos concluir que a resistência da argamassa é sempre, na média, de 5 MPa, independente do tipo de bloco.

Segundo a norma brasileira NBR 13.281:2005, as argamassas devem estar em conformidade com as exigências indicadas na tabela 02:

Tabela 02 – Exigências mecânicas e reológicas para argamassas – NBR 13.281:2005

Classe	P	M	R	C	D	U	A
	MPa	Kg/m <sup>3</sup>	MPa	g/dm <sup>2</sup> /min <sup>1/2</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	%	MPa
1	≤ 2,0	≤ 1200	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1400	≤ 78	≤ 0,2
2	1,5 a 3,0	1000 a 1400	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	1200 a 1600	72 a 85	≥ 0,20
3	2,5 a 4,5	1200 a 1600	1,5 a 2,7	2,0 a 4,0	1400 a 1800	80 a 90	≥ 0,30
4	4,0 a 6,5	1400 a 1800	2,0 a 3,5	3,0 a 7,0	1600 a 2000	86 a 94	-
5	5,5 a 9,0	1600 a 2000	2,7 a 4,5	5,0 a 12,0	1800 a 2200	91 a 97	-
6	> 8,0	> 1800	> 3,5	> 10	> 2000	95 100	-

Sendo, P – resistência à compressão (MPa); M – densidade de massa aparente no estado endurecido (Kg/m<sup>3</sup>); R – resistência à tração na flexão (MPa); C – coeficiente de capilaridade (g/dm<sup>2</sup>/min<sup>1/2</sup>); D – densidade de massa no estado fresco (Kg/m<sup>3</sup>); U – retenção de água (%); A – resistência potencial de aderência à tração (MPa)

Logo, a resistência à compressão, coeficiente de capilaridade, densidade de massa no estado fresco, capacidade de retenção de água e a resistência potencial de aderência à tração, são as características para a utilização de uma argamassa para fins de assentamento e revestimento de paredes de tetos.

### 3. COMPONENTES DE AGREGADOS RECICLADOS

As frações de concretos e materiais cerâmicos são os dois principais materiais presentes nos resíduos de construção e demolição com grande importância e aplicação para a produção de agregado reciclado que poderá ser utilizada na confecção de concretos, argamassa, grautes e blocos, utilizado na construção de edificações.

Diversos trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos, no Brasil, para estudar a forma de obtenção (COSTA et al. 2005), a caracterização (LEVY, 2001; CABRAL, 2010) ou utilização (ÂNGULO, 2005; MIRANDA, 2005; BUTTLER, 2007) dos agregados reciclados na construção civil.

Neste trabalho iremos analisar pesquisas realizadas por Ângulo (2005), Miranda (2005) e Buttler (2007), procurando focar a relação com a caracterização mecânica e a aplicação deste agregado reciclado.

### 3.1. Utilização do agregado reciclado

No trabalho de Buttler (2007), procurou-se avaliar a incorporação de agregados reciclados de vigotas e blocos de concreto em blocos estruturais de concreto para três classes de resistência 4,5 MPa, 8,0 MPa e 12 MPa.

Deste trabalho, iremos explorar as quantidades de elementos constituintes dos blocos e os resultados da propriedade mecânica de resistência à compressão dos blocos, que foi determinada seguindo os preceitos da NBR 7.184:1992 e as propriedades de Absorção e retração dos blocos vazados de concreto, para compará-los com o que recomenda a norma brasileira NBR 6.136:2006.

A tabela a seguir, que é um recorte da tabela original, mostra como foram designadas estas amostras e qual a característica predominante de cada uma.

Tabela 03 – Formação da amostra

DESIGNAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
B4,5 – RGV – 100%	Dosagem com 100% de substituição, em massa, da fração graúda natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado.
B8,0 – RGV – 100%	Dosagem com 100% de substituição, em massa, da fração graúda natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado.
B12,0 – RGV – 100%	Dosagem com 100% de substituição, em massa, da fração graúda natural (pedrisco) por agregado graúdo reciclado.

Fonte: adaptado de Buttler (2007).

Para chegar a esta amostra, designada e caracterizada acima, foram consumidos os materiais apresentados na tabela abaixo:

Tabela 04 – Consumo de materiais (Kg/m<sup>3</sup>)

	B4,5 – RGV – 100%	B8,0 – RGV – 100%	B12,0 – RGV – 100%
Traço (cimento: agregados)	1:18,75	1:14,43	1:9,79
Cimento	119	152	218
Pó de pedra	920	892	884
Areia	686	703	659
Agregado graúdo reciclado	619	600	594
Água	127	127	127

Fonte: adaptado de Buttler (2007).

Após os ensaios, realizado seguindo a orientação da NBR 7.184:1992, chegou-se a seguinte conclusão (tabela 05) para a propriedade mecânica de resistência a compressão, da taxa média de absorção de água e para a retração nos blocos vazados de concreto analisados.

Tabela 05 – Propriedade do bloco

	Resistência característica – fbk (MPa)			Absorção (%)	Retração (%)
	07 dias	28 dias	> 100 dias		
B4,5 – RGV – 100%	6,25	7,61	8,44	7,31	0,0398
B8,0 – RGV – 100%	8,48	10,41	12,22	7,04	0,0418

B12,0 – RGV – 100%                      8,34                      11,31                      15,15                      7,34                      0,0397

Fonte: adaptado de Buttler (2007).

Analisando esta tabela verificou-se que as resistências à compressão dos blocos analisados, constituído de uma parcela incorporada significativa de agregados reciclados de vigotas e blocos de concreto, foram alcançadas com resultados superiores ao previsto para cada classe de resistência designada pelo autor.

Para a determinação da taxa de absorção de água, foi empregada a norma NBR 12.118:2006, realizados com o ensaio em uma amostra de seis blocos vazados de concreto e três meio-blocos vazados de concreto.

Ao tratar de pesquisas realizadas para a obtenção de agregado reciclado para a confecção de argamassa foi feita a opção de analisar a tese desenvolvida por Miranda (2005), onde é feito um trabalho sobre produção e controle de argamassa com areia reciclada lavada de resíduo classe A da construção civil.

Para a análise da viabilidade de produção de argamassas, usando esta areia produzida na usina de reciclagem na cidade de Socorro (SP), foi confeccionado argamassas na proporção 1: 1: 10, aplicados em substratos de alvenaria de blocos de concreto e tijolos cerâmicos maciços, ambos sem chapisco, e em uma massa única, sarrafeadas e desempenadas na espessura de 1,5 cm, controlando-se a umidade para acerto da dosagem.

A tabela 06 expõe um resumo dos resultados extraídos do trabalho mencionado pra compararmos com os requisitos da norma para argamassa de assentamento e revestimento.

Tabela 06 – Características para argamassas de areia recicladas não lavadas

	P	M	R	C	D	U	A
	MPa	Kg/m <sup>3</sup>	MPa	g/dm <sup>2</sup> /min <sup>1/2</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	%	MPa
Mínimo	2,02	2552	0,37		1695		0,01
Máximo	6,53	2700	1,13		1873		0,20
Média	3,71	2647	0,70		1784		0,10

Fonte: adaptado de Miranda (2005).

O pesquisador acrescenta que argamassas com areia reciclada apresentam comportamentos diferentes daquelas feitas com areia natural, em geral devido ao alto teor de finos e á absorção de água dos agregados reciclados, que varia de um mínimo de 5,5% a um máximo de 11,5%, ficando em uma média de 8,5%.

Não foi possível extrair da tese de Miranda (2005) os resultados para os requisitos de coeficiente de capilaridade e retenção de água para as argamassas analisadas.

A terceira pesquisa analisada foi a tese desenvolvida por Ângulo (2005), em que este faz uma caracterização do agregado reciclado de construção e demolição e trata da influência deste agregado no comportamento dos concretos.

O autor conclui que a porosidade (ou massa específica aparente) dos agregados de RCD reciclados controla o comportamento mecânico dos concretos produzidos com relação água/cimento constantes, assim como a soma dos teores de aglomerantes e de cerâmica vermelha – frações mais porosas.

#### 4. QUANTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES PARA A ALVENARIA ESTRUTURAL

Foi realizado um levantamento de dados em 120 projetos em alvenaria estrutural de blocos de concreto na modulação de 30 e 40 e em diversas tipologias, desde os sobrados até edifícios de

18 pavimentos, e com largura do bloco de 14 cm. Aqui a tipologia esta relacionada ao número de pavimentos.

Com estes dados podemos levantar os seguintes indicadores, representativos para edifícios residenciais em alvenaria estrutural com blocos de concreto.

- Índice de graute por área do pav. tipo ( $m^3/m^2$ ) - Razão entre os volume somados de graute horizontal (cinta de respaldo + cinta à meia altura) e graute vertical e a área do pavimento tipo.
- Índice de blocos inteiros por área do pav. tipo ( $un/m^2$ ) - Razão entre o número de blocos inteiros pela área do pavimento tipo.
- Índice de meio-bloco por área do pav. tipo ( $un/m^2$ ) - Razão entre o número de meio-bloco pela área do pavimento tipo.
- Índice de bloco argamassa por área do pav. tipo ( $m^3/m^2$ ) – Razão entre os volumes somados de argamassa de assentamento e revestimento pela área do pavimento tipo.

A tabela 07 apresenta os consumos para cada um dos indicadores descritos acima para a modulação de 30 e 40.

Tabela 07 – Consumo para o bloco de 30 e 40

INDICADOR	UNIDADE	MÉDIA	
		Bloco 30	Bloco 40
Índice de graute por área do pavimento tipo	$m^3/m^2$	0,032	0,034
Índice de blocos inteiros por área do pavimento tipo	$un/m^2$	24,4	17,6
Índice de meio-bloco por área do pavimento tipo	$un/m^2$	2,3	1,8
Índice de argamassa por área de pavimento tipo	$m^3/m^2$	0,050	0,047

Fonte: adaptado de Freire (2007).

Notamos que o consumo de graute para a modulação de 30 é ligeiramente inferior ao consumo de graute na modulação de 40, o que não foi possível notar o porquê disto nos levantamentos feitos para este trabalho.

A diferença entre a quantidade de blocos e meio blocos para a modulação de 30 e 40 deve-se a diferença de tamanho da unidade, enquanto o bloco da modulação de 30 tem L X 19 X 29 cm o bloco na modulação de 40 tem L X 19 X 39 cm, sendo o L variável, normalmente com 9, 14 ou 19 cm, e não influencia no consumo de bloco e meio bloco.

Para as argamassas, o consumo para o bloco de 40 ficou ligeiramente menor devido a menor quantidade de juntas verticais para o preenchimento com argamassa de assentamento.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os resultados do trabalho de Buttler (2007) verificamos, a partir da tabela 05, que é possível conseguir bloco vazado de concreto com característica favorável de resistência mecânica, absorção média e retração para ser usado no sistema construtivo em alvenaria estrutural, como pede a NBR 6.136:2006, a partir do qual podemos fazer uma relação entre este agregado reciclado estudado por Buttler (2007) e o consumo médio deste agregado por área do pavimento tipo no sistema construtivo em alvenaria estrutural.

Logo, tendo o volume calculado de um bloco vazado de concreto na modulação de 30 é igual à aproximadamente  $0,004 m^3$  e o do meio bloco igual a aproximadamente  $0,002 m^3$ , e utilizando os indicadores de bloco inteiro e meio bloco da tabela 07, podemos chegar a um volume de concreto para confecção de blocos de  $0,1022 m^3$  para cada metro quadrado de pavimento tipo. Com este dado ( $0,1022 m^3/m^2$ ) e relacionando ao consumo de materiais para a confecção dos blocos analisado por Buttler (2007) e constante na tabela 04 nos leva aos

dados colocados na coluna bloco de 30 na tabela 08 construída abaixo. O raciocínio semelhante é feito para conseguir os dados colocados na coluna bloco de 40 da mesma tabela.

Tabela 08 – Consumo de agregado graúdo reciclado por área de pavimento tipo ( $\text{Kg/m}^2$ )

Designação	Bloco de 30	Bloco de 40
B4,5 – RGV – 100%	63,26	57,25
B8,0 – RGV – 100%	61,32	55,50
B12,0 – RGV – 100%	60,71	54,95

Analisando os 120 projetos pesquisados em Freire (2007), chega-se a um índice de blocos por área do pavimento tipo de média, em  $20,3 \text{ un/m}^2$ . Utilizando-se este dado com a média entre o volume do bloco na modulação de 30 e na modulação de 40 ( $0,0045 \text{ m}^2$ ) e a média dos consumos de agregado graúdo reciclado ( $604 \text{ kg/m}^3$ ) da tabela 04, tem-se um valor de referência para o agregado graúdo reciclado necessário para a confecção de blocos de concreto vazado para cada metro quadrado de pavimento tipo em alvenaria estrutural que é de  $51,2 \text{ Kg/m}^2$ .

Para chegarmos ao consumo do agregado miúdo, no caso analisado é a areia reciclada, utilizamos o traço (1:1:10) e o peso específico médio ( $2.664 \text{ Kg/m}^3$ ) determinado por Miranda (2005) e auxiliado pela tabela 07, na linha índice de argamassa por área do pavimento tipo, conseguimos o consumo de areia reciclada por metro quadrado de alvenaria estrutural na modulação de 30 e 40, como segue na tabela 09 abaixo:

Tabela 09 – Consumo de agregado reciclado (Areia) por área de pavimento tipo ( $\text{Kg/m}^2$ )

Designação	Bloco de 30	Bloco de 40
Areia reciclada	88,57	82,69

Quanto à aplicação de agregado reciclado a confecção de graute para a alvenaria estrutural, faz-se necessário observar a indicação de Ângulo (2005) sobre a fase cerâmica vermelha que quando consumida em quantidade inferior a 20% são adequados para o uso em concretos estruturais convencionais (NBR 15.116:2004), com isto podemos chegar a resistências necessárias ao exigido pelo projetista para o graute especificado.

Para a confecção de um traço ( $1 \text{ m}^3$ ) de graute com cimento CP II – E para alcançar, aos 28 dias, uma resistência de 15 MPa, mínimo exigido pela NBR 10.837:2005, devemos ter: 239 Kg de cimento, 919 Kg de areia e 874 Kg de pedrisco. Disto resulta na necessidade de utilização de 1793 Kg de agregado (areia + pedrisco) por metro cúbico do produto graute. Utilizando a substituição deste agregado por uma quantidade mínima de 20%, indicada por Ângulo (2005) para a situação mais desfavorável que é a constituição do agregado reciclado somente de elementos cerâmicos, chegamos a uma necessidade mínima de  $358,6 \text{ kg/m}^3$  de agregado (areia + pedrisco) para a confecção do graute.

Com este consumo de  $358,6 \text{ Kg/m}^3$  de graute e auxiliado pela tabela 07, na linha índice de graute por área do pavimento tipo, chegamos à conclusão exposta na tabela 10 abaixo para o consumo de agregado reciclado por área de pavimento tipo, que é:

Tabela 10 – Consumo de agregado reciclado por área de pavimento tipo ( $\text{Kg/m}^2$ )

Designação	Bloco de 30	Bloco de 40
Agregado reciclado	11,47	12,20

Fazendo uma média dos valores da tabela 10, para a modulação de 30 e modulação de 40, obtemos um consumo médio de agregados reciclados por área de pavimento tipo no sistema construtivo em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto da ordem de 11,84 Kg/m<sup>2</sup>.

## CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados alcançados nos trabalhos estudados é possível concluir que é viável a utilização de agregado reciclado para a confecção dos elementos (bloco, graute e argamassa) para o sistema construtivo em alvenaria estrutural, desde que, alguns aspectos, relativo a este agregado reciclado, sejam ser levados em conta na opção da substituição ao agregado natural, tais como: a porosidade do agregado, o acréscimo de água devido à elevada absorção e as proporções de substituição do agregado natural pelo reciclado.

Para minimizar os efeitos da elevada e variável absorção de águas nos agregados reciclado, miúdos ou graúdos, os pesquisadores estudados para este trabalho recomendam a saturação com água destes agregados antes de sua utilização.

Para Miranda (2005), a fração cerâmica de RCD é a que possui a menor aplicação na construção civil atualmente e o desenvolvimento de aplicações para este resíduo é a maior necessidade de reciclagem no país.

Chegamos a uma necessidade preliminar, por área do pavimento tipo no sistema construtivo em alvenaria estrutural, da ordem de 51,2 Kg/m<sup>2</sup> para o agregado graúdo e de 11,84 Kg/m<sup>2</sup> para o agregado miúdo (areia + pedrisco).

Logo é viável a utilização deste agregado reciclado no sistema construtivo mencionado devido a dois importantes fatores: primeiro, que o agregado reciclado analisado pelos pesquisadores Ângulo (2005), Miranda (2005) e Buttler (2007) cumprem com as exigências mecânicas necessárias para a confecção dos elementos (bloco, graute e argamassa) estudados neste trabalho e segundo, é representativa a utilização de pelo menos 20% na substituição do agregado natural pelo agregado reciclado na situação mais desfavorável que é a composição de agregados (areia + pedrisco) reciclados de material cerâmico puro e a resistência mínima de 15 MPa para o graute, exigido pela norma brasileira.

## REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. Tese (Doutorado em engenharia). 167 p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7.184**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.749**: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil com utilização em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.837**: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 2005.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12.118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Análise dimensional e determinação da absorção de água e da retração por secagem. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6.136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - requisitos. Rio de Janeiro, 2006.
- BUTTLER, A. M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado em Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC – USP). São Carlos – SP, 2007.
- CABRAL, A. E. B. et al. **Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha**. Cerâmica [online]. 2009, vol.55, n.336, p. 448-460.
- CABRAL, A. E. B et al. **Mechanical Properties Modeling of Recycled Agrégate Concrete**. Construction and Building Materials, v. 24, n. 4, p. 421-430, Abr. 2010.
- CAMPOS, A. A. **Gestão de resíduo da construção civil: A visão do sinduscon – sp**. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Comitê técnico CT – 2006 Meio Ambiente (IBRACON), São Paulo, 2006.
- COSTA, J. S. at al. **Argamassa de assentamento e revestimento produzido com rejeito de piso tipo grés esmaltado**. In VI Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas. Florianópolis, 2005.
- EUROSTAT, ENVIRONMENT AND ENERGY. Generation and Treatment of Waste. Disponível em: <http://ec.europa.eu/eurostat/>. Acesso em: 20 Out.. 2011.
- FREIRE, A. S. **Indicadores de projeto para edifícios em alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Programa de Pós-graduação Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). São Carlos – SP, 2007.
- LEVY, S. M.; **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. Tese (Doutorado), p.199 Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PCC.USP, São Paulo, 2001.
- MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassa de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.
- SHANCHEZ, M. **Estúdio sobre la utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia Universidade Politécnica de Madri, Madri, 2004.
- SHIMA, H. et al. **An Advanced Concrete Recycling Tecnology and its Applicability Assensment by the Input-Output Análisis**. Advanced Concrete Tecnology. V.3, n. 1, p. 53-67, Tokio, 2005.