

Produzindo concretos ecológica e politicamente corretos

Salomon Levy

Doutor – Uninove; Presidente do – CT MAB – Ibracon.
São Paulo – SP [Brasil]
salomon@uninove.br

Neste trabalho, objetivou-se apresentar ao meio técnico a síntese de uma pesquisa desenvolvida para avaliar a durabilidade de concretos produzidos de forma mais sustentável que os confeccionados com a utilização de agregados convencionais. Para isso, foram preparados concretos, utilizando-se reciclados, em teores crescentes na substituição dos agregados naturais. Em seguida, estudou-se seu grau de influência nas propriedades relacionadas à durabilidade. No concreto com agregados reciclados desenvolvido neste estudo, a profundidade de carbonatação diminuiu de 20% para 50% com o aumento do teor de reciclados. Já para família de concreto com agregado graúdo de alvenaria, a menor profundidade de carbonatação foi atingida com a substituição de 100% do agregado natural, embora seja importante ressaltar que, dependendo da resistência desejada, para alcançá-la, seria necessária a utilização de mais de 550 kg de cimento por m³ de concreto. Esse comportamento ilustra que a profundidade de carbonatação depende fortemente da composição química do concreto, e não somente de seus aspectos físicos. Quando o agregado natural foi substituído por 20% de agregado reciclado de concreto ou de alvenaria, o sólido produzido a partir desses agregados apresentou o mesmo desempenho e, por vezes, até melhor comportamento que o concreto de referência, para as propriedades estudadas nesta pesquisa.

Palavras-chave: Agregados naturais. Agregados reciclados. Concretos ecológicos.



1 Introdução

Quanto à produção de concretos com agregados obtidos a partir de resíduos de construção civil, pode-se dizer que apenas de 1928 em diante começaram a ser desenvolvidas pesquisas, de forma sistemática para avaliar o consumo de cimento, a quantidade de água e o efeito da granulometria dos agregados oriundos de alvenaria britada e de concreto. Entretanto, a primeira aplicação significativa de entulho reciclado só foi registrada após o fim da Segunda Guerra Mundial, na reconstrução das cidades européias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos. O escombros ou entulho resultante foi britado para produção de agregados, visando atender à demanda da época (WEDLER; HUMMEL, 1946). Assim, pode-se dizer que, a partir de 1946, teve início o desenvolvimento da tecnologia de reciclagem do entulho de construção civil.

Embora as técnicas de reciclagem dos resíduos minerais de construção civil tenham evoluído, não se pode afirmar com absoluta convicção, que a reciclagem se tenha tornado uma idéia amplamente difundida.

Considerando-se que, no Brasil, não seja habitual a produção de concreto com material reciclado, percebe-se uma tendência generalizada, por parte da iniciativa privada e do poder público, em equacionar e administrar a geração de entulhos de construção civil, que se vem transformando em um problema de grandes proporções nas maiores metrópoles do país.

A alternativa de produzir concreto com resíduos é, sem dúvida, uma solução que vem sendo largamente pesquisada. Sua viabilidade técnica para substituição dos agregados graúdos em teores de até 20% já foi demonstrada em diversas pesquisas desenvolvidas nas várias universidades nacionais, bem como no grande número de trabalhos técnicos apresentados nos seis seminários

realizados pelo Comitê Técnico para Meio Ambiente do Ibracon, em 1997, 1999, 2000, 2001, 2002 e 2003.

Vieira e colaboradores (2003) concluíram que o uso de agregado reciclado no concreto, em proporções convenientemente dosadas, não provoca corrosão da armadura, ou seja, não implica redução de durabilidade quando comparado ao concreto produzido, exclusivamente, com agregados naturais.

Buttler e Machado Jr. (2003) informam que o processo de britagem utilizado determinou as características dos resíduos, a granulometria e a quantidade de argamassa aderida aos agregados. Aguiar e colaboradores (2002) concluíram que substituições de agregados naturais em teores de até 20% não apresentam alterações significativas na resistência à compressão, embora a absorção de água tenha apresentado uma diferença sensível, fato que indica a necessidade de cuidados especiais, caso se queira utilizar esses agregados em concretos com funções estruturais.

Levy (2001) concluiu que, em relação à penetração de cloretos, a durabilidade dos concretos de resistência de 30 Mega Pascal (MPa) não é afetada pela utilização de agregados reciclados de alvenaria ou de concreto, quando substituídos de agregados naturais até o limite de 50%.

Por outro lado, o poder público também tem demonstrado preocupação quanto ao aproveitamento de resíduos da construção civil. Como reflexo disso, em 2002, apresentou as diretrizes de um projeto estabelecido pela Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2002).

Basicamente, a resolução exige que as prefeituras encontrem soluções para aqueles resíduos. O principal objetivo do projeto é impedir sua geração; no entanto, se produzidos, deverão, ou ir para as usinas de reciclagem, a fim de serem transformados em agregados, ou ser depositados

em áreas específicas para o aterro de detritos, não podendo mais ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares nem em áreas de bota-fora.

A elaboração deste trabalho justifica-se pela possibilidade de se adquirir conhecimento tecnológico necessário e suficiente para produzir um concreto durável, utilizando-se material reciclado e adequado às necessidades da maioria das obras usualmente executadas em território nacional, cuja resistência à compressão requerida varia de 18,0 a 30,0 MPa.

É interessante notar que, embora tenham sido localizados na literatura pesquisada, inúmeros trabalhos sobre dosagem, propriedades mecânicas e outras características – analisadas individualmente – que tratam de concretos produzidos com agregados obtidos a partir de resíduos minerais reciclados, não foram encontrados estudos que avaliassem a durabilidade desses concretos, de forma sistemática e abrangente, no que se refere a absorção, índice de vazios e resistividade elétrica, além de outras diretamente relacionadas à durabilidade de uma estrutura, como a carbonatação e o teor de cloretos em diversas profundidades.

2 Contribuição do meio técnico para a produção de concretos com agregados reciclados

No Brasil, segundo Pinto (2000), a massa de resíduos de construção dos últimos cinco anos tem obrigado as administrações municipais de maior porte a adotar algum tipo de solução. O município de Belo Horizonte, em Minas Gerais; de Londrina, no Paraná, e cidades do interior paulista têm recorrido à reciclagem como forma de equacionar seus problemas. Algumas dessas cidades recorreram simplesmente à instalação de equipamentos

de britagem, enquanto outras já implantaram políticas específicas a médio e longo prazo, potencializando resultados mais significativos. Como o reciclado já vem demonstrando bom desempenho numa série de usos em obras urbanas com a obtenção de custos vantajosos, seria possível viabilizar sua utilização em concretos para base de pavimentos, estruturas residenciais com $f_{ck_{28}} \leq 18$ a 24 MPa e produção de artefatos pré-moldados em concreto (guias, sarjetas, tubos de concreto).

O meio técnico já apresentou uma expressiva parcela de colaboração, uma vez que, após oito anos de estudos, o Comitê Técnico para Meio Ambiente do Ibracon (CT-MAB) juntou-se ao Grupo de Estudos sobre Agregados Reciclados, do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (Sinduscon-SP), para, no biênio 2003 e 2004, elaborar o texto base das normas que foram enviadas ao CB-18 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2004), e que já se encontram à disposição dos interessados. Deve ser lembrado o fato de que o Brasil é um dos poucos países a terem aprovado normas específicas para utilização de agregados reciclados. Essas normas são relacionadas a seguir.

NBR 15112/04 Resíduos de construção civil e volumosos:

- Áreas de transbordo e triagem;
- Diretrizes para projeto, implantação e operação.

NBR 15113/04 Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes:

- Aterros;
- Diretrizes para projeto, implantação e operação.

NBR 15114/04 Resíduos sólidos da construção civil:



- Áreas de reciclagem;
- Aterros;
- Diretrizes para projeto, implantação e operação.

NBR 15115/04 Agregados reciclados e resíduos sólidos da construção civil:

- Execução de camadas de pavimentação;
- Procedimentos.

NBR 15116/04 Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil:

- Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural;
- Requisitos.

Com o suporte dessas normas, a iniciativa privada poderá trilhar um caminho que promova não só a melhoria da qualidade dos agregados reciclados, mas também o conseqüente incremento de seu consumo e da substituição de agregados naturais por reciclados.

3 Objetivo

Intenta-se realizar um trabalho experimental, cujos dados permitam determinar a influência do teor crescente de agregados reciclados, tanto de concreto quanto de alvenaria, na durabilidade dos novos concretos. Optou-se por esses materiais em razão de sua maior frequência em entulhos de obras.

4 Metodologia

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho baseou-se em pesquisa bibliográfica

e na realização de um trabalho experimental que avalie os resultados de forma abrangente, por meio da análise da curva de tendência de determinada propriedade para famílias de concreto, com teores crescentes de agregados reciclados, evitando-se, assim, equívocos decorrentes de análises pontuais. Dessa forma, será possível determinar a influência desses teores nas propriedades adotadas, como referência para o desenvolvimento do estudo da durabilidade dos concretos produzidos com agregados reciclados.

5 Resultados e discussões

A realização deste trabalho experimental permitiu determinar resultados e comparar uma família de concreto de referência, produzida exclusivamente com agregados naturais, e famílias de concretos produzidos com diversos teores de agregados reciclados.

Utilizando as técnicas de dosagem experimental para concretos convencionais, desenvolvidas por Terzian e Helene (1992), este último e Levy (2004) realizaram um estudo experimental baseado na montagem do diagrama de dosagem para diversas famílias de concreto. Em cada uma delas, os agregados naturais foram substituídos por reciclados, em teores que variaram de 20% a 100%. Neste trabalho, foram utilizados diagramas de dosagem, a fim de correlacionar teor de agregado com resistência à compressão, à absorção de água por imersão, ao volume de poros, à profundidade de carbonatação com o traço e ao consumo de cimento para concretos de classe 20, 30 e 40 MPa.

A título de exemplo, montaram-se três diagramas de dosagem para a família do concreto de referência (resistência à compressão; absorção de água; volume total de poros e profundidade de carbonatação).

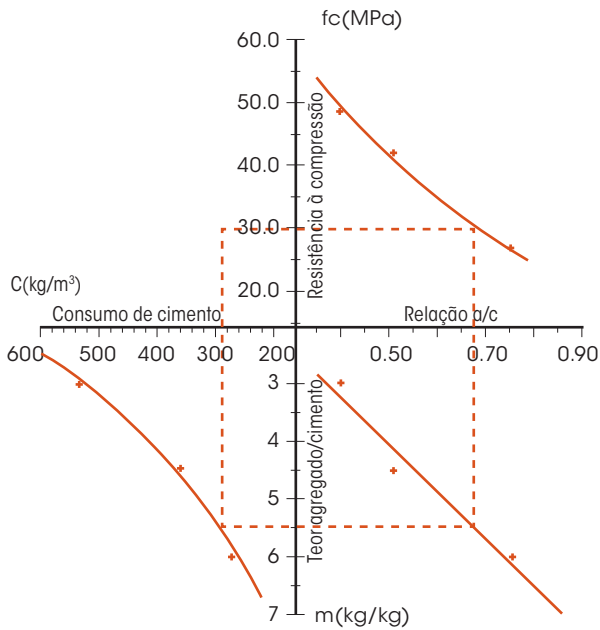


Figura 1: Diagrama de dosagem para resistência à compressão do concreto de referência

Fonte: O autor.

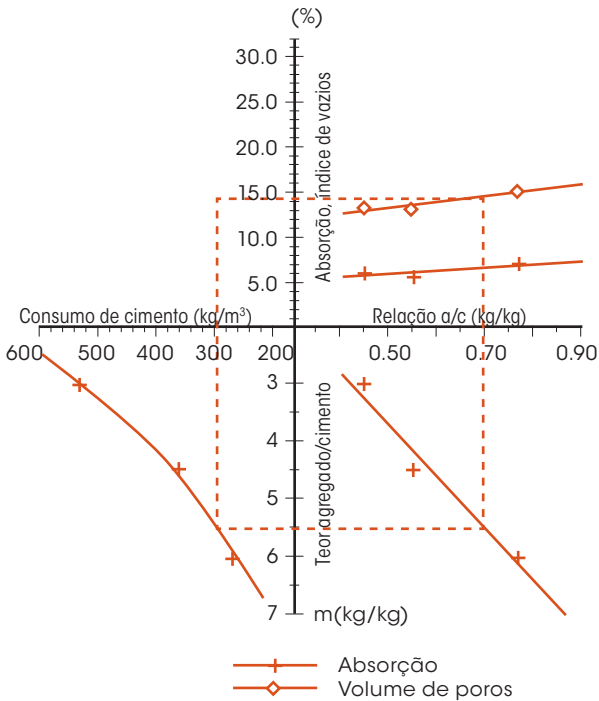


Figura 2: Diagrama de dosagem para absorção e volume total de poros

Fonte: O autor.

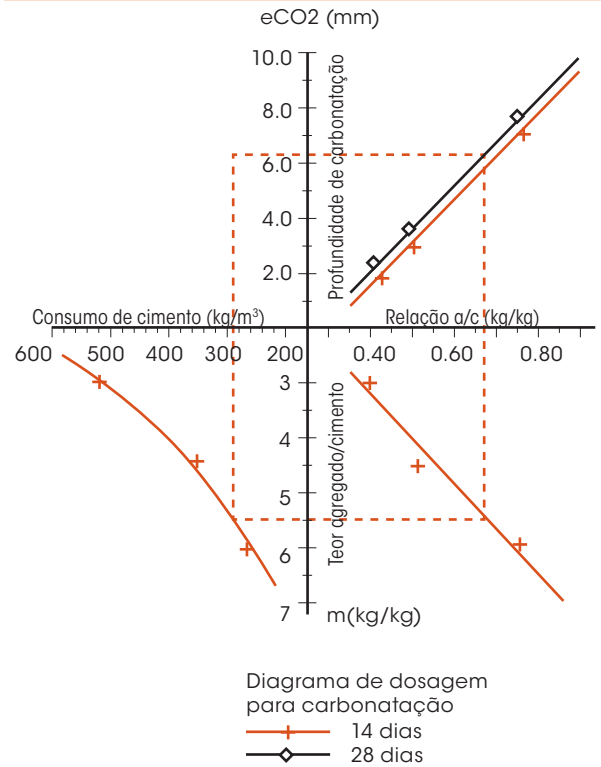


Figura 3: Diagrama de dosagem para profundidade de carbonatação aos 28 e aos 14 dias

Fonte: O autor.

No diagrama da Figura 1, determina-se a relação a/c necessária para moldar um concreto de 30 MPa, e, com o valor de a/c encontrado, especifica-se o valor da propriedade esperada para um concreto de resistência de dosagem aos dias (f_{cj}) previamente fixada. Assim, são elaborados os Quadros 1 e 2 bem como os gráficos das Figuras 4 a 6, por meio dos quais será possível acompanhar a evolução da propriedade estudada.

5.1 Comparação das propriedades dos concretos com reciclados às dos concretos de referência

A seguir, nos Quadros 1 e 2, são apresentados todos os resultados obtidos por meio dos modelos matemáticos, determinados experimentalmente para concretos com resistências de 20



f_{c28} (MPa)	Consumo de cimento (kg/m ³)			Profundidade de carbonatação eCO ₂ (mm)			
	20	30	40	20	30	40	
Agregados (% substituída)							
Natural	0%	179	291	397	9,6	6,0	3,5
ACRG	20%	269	341	407	5,5	3,9	2,7
	50%	231	329	422	5,0	3,4	2,3
	100%	190	293	392	7,7	5,2	3,4
AARG	20%	200	333	476	7,0	4,2	2,2
	50%	279	417	569	7,6	3,4	0,4
	100%	326	522	852	4,3	0,2	0,0
ACRM	20%	239	325	404	6,0	4,6	3,6
	50%	216	330	445	6,5	4,6	3,3
	100%	266	366	461	6,7	4,9	3,6
AARM	20%	220	329	434	6,4	4,3	2,8
	50%	191	300	407	5,8	4,0	2,7
	100%	217	332	455	9,0	5,8	3,5

Quadro 1: Influência do teor de agregados reciclados no consumo de cimento e na profundidade de carbonatação para concretos de 20, 30, e 40 MPa

Fonte: O autor.

a 40 MPa. A vantagem da aplicação desses modelos para elaboração da análise dos resultados está na não-necessidade de moldar efetivamente os concretos desejados. Aparentemente, a substituição total do agregado natural por reciclado de alvenaria levaria a uma profundidade de carbonatação igual a zero, mas, por se tratar de um resultado obtido por meio de um modelo matemático, deve-se analisar também aquele obtido para a quantidade de cimento necessária por m³, que chegaria a 550 kg/m³. Ressalte-se que esse fato inviabilizaria a substituição do agregado natural por reciclado de alvenaria, tanto técnica quanto economicamente. A explicação física para esse resultado seria a forma dos agregados reciclados de alvenaria, que apresentaram exagerada lamelaridade pelo fato de ter sido empregado, em sua obtenção, um britador de mandíbulas.

A utilização de AARM (agregado de alvenaria reciclado miúdo), na pior das hipóteses, leva a

f_{c28} (MPa)	Absorção de água (%)			Volume de poros (%)			
	20	30	40	20	30	40	
Agregados (% substituída)							
Natural	0%	7,3	6,6	6,1	16,0	14,6	13,6
ACRG	20%	6,9	6,3	5,9	14,5	13,5	12,9
	50%	7,5	7,0	6,7	17,5	17,3	17,2
	100%	7,3	8,0	8,4	15,3	16,8	17,8
AARG	20%	7,8	7,6	7,4	14,9	13,5	12,5
	50%	11,2	9,5	8,4	20,4	19,5	18,9
	100%	12,0	11,7	11,5	23,1	22,8	22,5
ACRM	20%	7,3	7,2	7,1	15,8	15,7	15,6
	50%	9,7	9,0	8,5	20,2	19,0	18,1
	100%	11,4	10,7	10,1	22,9	21,7	20,9
AARM	20%	7,5	6,9	6,5	15,9	15,1	14,4
	50%	8,0	7,6	7,3	16,7	16,2	15,8
	100%	8,2	8,9	9,4	19,0	18,6	18,3

Quadro 2: Influência do teor de agregados reciclados na absorção de água e no volume total de poros para concretos de 20, 30, e 40 MPa

Fonte: O autor.

uma redução da profundidade de carbonatação, da ordem de 50%, com acréscimo de apenas 10% no consumo de cimento.

6 Conclusões

O valor mínimo para absorção de água e o volume total de poros para o concreto com agregados reciclados foram observados com a substituição de 20% de agregados naturais por reciclados graúdos de concreto ou alvenaria. Esse comportamento pode ser explicado por terem sido atingidos não só melhor grau de compactação para os agregados, mas também melhor comportamento pozolânico devido ao traço empregado. Conforme esperado, para as demais condições desta investigação, a absorção de água e o volume total dos poros aumentam com o acréscimo do teor de agregados reciclados.

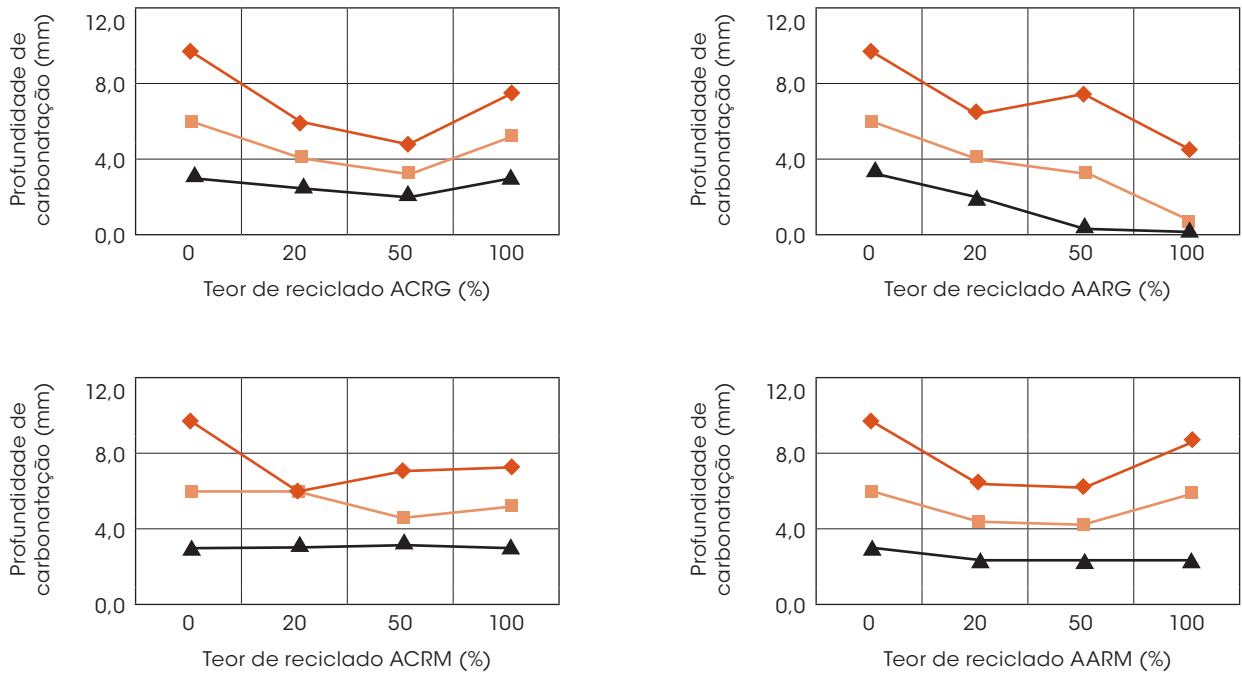


Figura 4: Evolução da profundidade de carbonatação em função da resistência do concreto e do teor de agregados reciclados utilizado na preparação da mistura

Fonte: O autor.

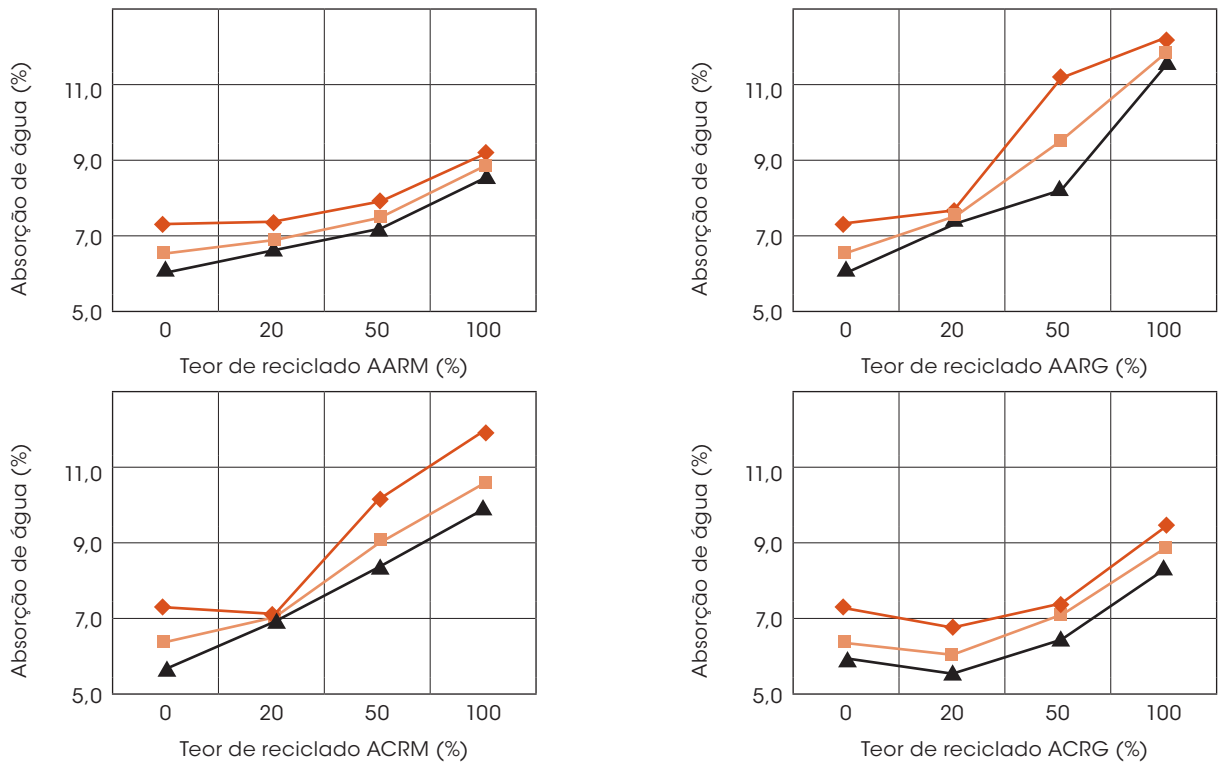


Figura 5: Evolução da absorção d'água em função da resistência do concreto e do teor de agregados reciclados utilizado na preparação da mistura

Fonte: O autor.

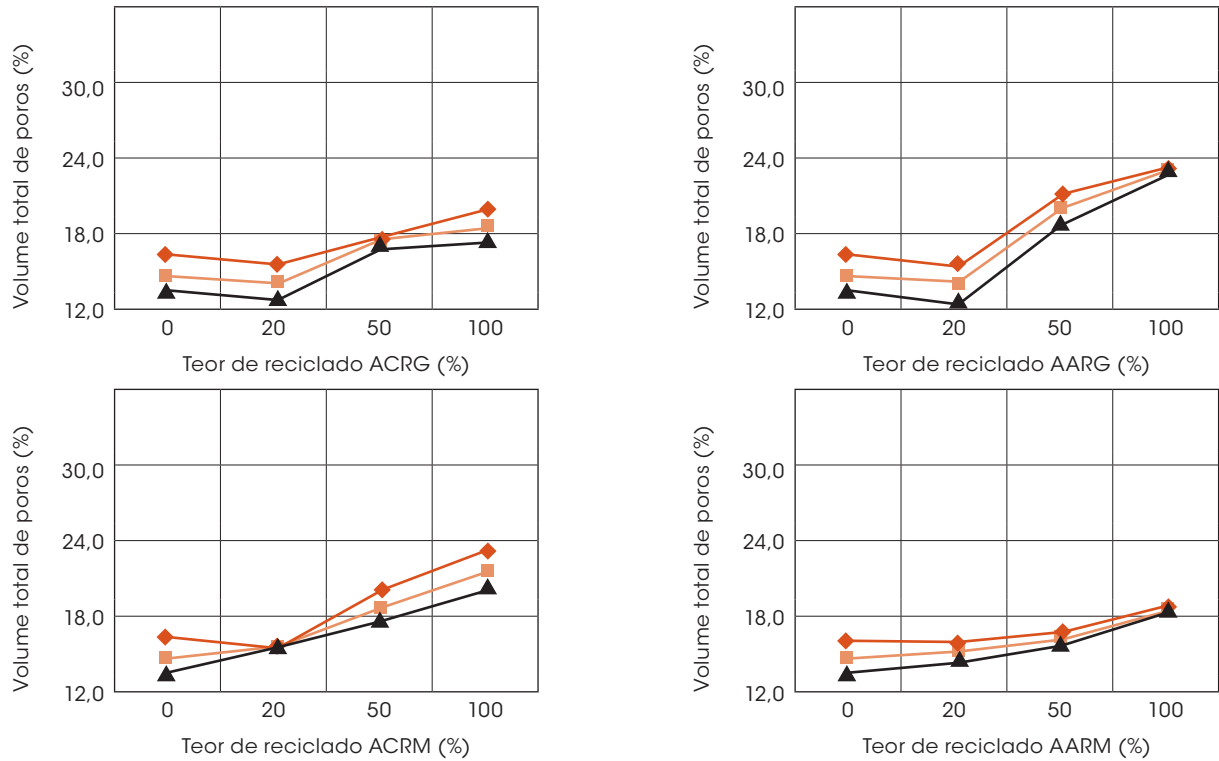


Figura 6: Evolução do volume de poros em função da resistência do concreto e do teor de agregados reciclados utilizado na preparação da mistura

Fonte: O autor.

No concreto com agregados reciclados desenvolvido neste estudo, a profundidade de carbonatação diminuiu de 20% para 50% com o aumento do teor de reciclados. Já para família de concreto com agregado graúdo de alvenaria, a menor profundidade de carbonatação foi atingida com a substituição de 100% do agregado natural. Entretanto, é importante ressaltar que, dependendo da resistência desejada, para alcançá-la, houve casos em que se faria necessária a utilização de valores superiores a 550 kg de cimento por m³. Esse comportamento ilustra que a profundidade de carbonatação depende fortemente da composição química do concreto, e não somente de seus aspectos físicos.

Quando se substituiu o agregado natural por 20% de agregado reciclado de concreto ou de alvenaria, o sólido resultante apresentou o mesmo

desempenho e, por vezes, até melhor comportamento que o concreto de referência, para as propriedades estudadas nesta pesquisa.

A partir dessas conclusões, entende-se que qualquer iniciativa que tenha por finalidade a utilização de concretos com agregados reciclados é justificada, uma vez que pode contribuir para a preservação do meio ambiente, além de apresentar o mesmo desempenho final do concreto de referência, com um custo equivalente ou inferior. Contudo, de acordo com a bibliografia internacional e nacional citada no texto, parece haver ainda uma resistência muito forte por parte dos usuários finais em aceitar a utilização de concretos com materiais reciclados, mesmo diante de evidências técnicas irrefutáveis de sua comprovada qualidade.

Producing Concrete in a Ecological and Politically Correct way

The objective this paper is to present to the synthesis of a developed research to evaluate durability of concrete produced of form more sustainable than the concrete ones produced with the conventional aggregate. To reach this objective it had been prepared concrete using recycled aggregates, in increasing texts in the substitution of natural aggregates and studied its degree of influence in the related properties the durability. In the concrete with recycled aggregates, developed in this study, the carbonation depth diminished with the increase of the content of recycled of 20% for 50%. For concrete family produced with coarse aggregate masonry, the lesser depth of carbonation was reached with the substitution of 100% of the natural aggregate; however it is important to stand out that depending on the desired resistance, to reach it, the use of more than 550 kg of cement for m³ will be necessary of concrete. Such behavior illustrates that the carbonation depth depends strongly on the chemical composition of the concrete and not only of its physical aspects. When the natural aggregate was substituted by 20% of recycled aggregate of concrete or of masonry, the new concrete produced presented the same performance and, for times, until better behavior of that the reference concrete, for the properties studied in this research.

Key words: Ecological Concrete.
Natural aggregates.

Referências

AGUIAR, G. S. G.; COUTINHO, L. G. A.; OLIVEIRA, M. J. E. Estudo da adição de agregado reciclado ao concreto. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 5, 2002. São Paulo. *Anais*. São Paulo: Ibracon, 2002. p. 277-282.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-15112/04: *resíduos de construção civil e resíduos volumosos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-15113/04: *resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-15114/04: *resíduos sólidos da construção civil*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-15115/04: *agregados reciclados e resíduos sólidos da construção civil*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-15116/04: *agregados reciclados e resíduos sólidos da construção civil*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BUTTLER, A. M.; MACHADO Jr, E. F. Agregados reciclados de concreto – influência da idade de reciclagem nas propriedades físicas dos agregados. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6., 2003, São Paulo. *Anais*. São Paulo: Ibracon, 2003.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. *Resolução 307, de 5 de julho de 2002*. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: 2002. Disponível em: <http://www.semam.fortaleza.ce.gov.br/arquivos_pdf/grcc_r307.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2006.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto*. 1. ed. São Paulo: PINI; Brasília: SENAI, 1992.

LEVY, S. M. *Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria*. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Escola Politécnica de Construção Civil, Universidade de São Paulo, 2001.

LEVY, S.M e HELENE P. R. Durability of recycled aggregates concrete a safety way to the sustainable development. *Cement Concrete Research*, Pensilvânia, v. 34, n. 11, p. 1975-1980, nov. 2004.

PINTO, T. P. Bacias de captação de resíduos sólidos – instrumento para uma gestão sustentável metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3., 2000, São Paulo. *Anais*. São Paulo: Ibracon, PCC/USP, 2000. p. 25-34.



VIEIRA, L. G; DAL MOLIN, C. D; LIMA, B.F.
Corrosão em armaduras de concretos obtidos com
agregados reciclados de construção. In: SEMINÁRIO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A
RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6., 2003,
São Paulo. *Anais*. São Paulo: Ibracon, 2003. 1 CD-ROM.

WEDLER, B.; HUMMEL, A. *Trümmerverwertung und
ausbau von brandruinen*. 1. ed. Berlin: Wilhelm Ernest
& Sohn, 1946.

Recebido em 5 set. 2006 / aprovado em 5 nov. 2006

Para referenciar este texto

LEVY, S. Produzindo Concretos Ecologicamente e
Politicamente Corretos. *Exacta*, São Paulo, v. 4, n. 2,
p. 375-384, jul./dez. 2006.