

Aderência do aço-concreto produzido com agregado reciclado

Márcio Joaquim Estefano de Oliveira

Doutor em Engenharia Civil – Unesp;
Pesquisador e professor na graduação
[Engenharia Civil] – Ceun-IMT
Professor na graduação [Engenharia Civil] e na pós-graduação
[Ciências Ambientais] – Unitau.
Diretor de projetos – ICTR;
Membro do Comitê Meio Ambiente – Ibracon.
mcconsul@uol.com.br, São Caetano do Sul – SP [Brasil]

Cássia Silveira de Assis

Doutora em Engenharia Civil – Unesp;
Professora titular na graduação e pós-graduação – Ceun-IMT;
Diretora adjunta de projetos – ICTR;
Membro do Comitê Meio Ambiente – Ibracon.
cassiaassis@maua.br, São Caetano do Sul – SP [Brasil]

As obras de construção civil (incluindo novas edificações, reformas e demolições), produzem uma quantidade considerável de resíduos de construção e de demolição (RCDs) que, geralmente, são descartados de maneira inadequada e sem critério, o que causa sérios problemas tanto ao meio ambiente quanto ao ser humano. Ao despejarem esses detritos em rios, beiras de estradas, terrenos próprios à agricultura, devido aos contaminantes presentes nesse material, como betume, sulfato de cálcio, tintas e solventes, o desequilíbrio provocado no ecossistema é muito grande. A utilização de agregado reciclado em pavimentos, em blocos, em concreto sem função estrutural e, mais recentemente, em concreto com função estrutural são algumas opções para atenuar os impactos ambientais. Atualmente, estudam-se propriedades do concreto obtido do agregado reciclado para que ele seja utilizado com segurança. Um dos aspectos que merecem atenção é a aderência deste tipo de concreto com o aço. Foram produzidos corpos-de-prova em concreto armado em que houve a substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado e concreto armado convencional, assumido como referência. Os espécimes foram submetidos ao ensaio de tração para calcular a tensão de aderência, segundo as normas brasileiras. Apesar de apresentarem variações, os testes indicaram a possibilidade do uso de concreto armado resultante do emprego de agregado reciclado em projetos que demandem estruturas capazes de suportar tensões superiores a 25 megapascal (MPa).

Palavras-chave: Agregado reciclado. Concreto. Impactos ambientais. Tensão de aderência.



1 Introdução

Uma das preocupações do setor público e, principalmente, dos ambientalistas refere-se aos danos causados ao meio ambiente pelos resíduos de construção e de demolição (RCDs), ao serem despejados, de maneira inadequada. Entretanto, a área da construção civil tem condições de reverter esse quadro.

A análise das amostras dos resíduos descartados pelas obras de construção civil apresenta materiais com boas características mecânicas (BRITO FILHO, 1999) e resistência a agentes agressivos como areia, pedra britada, concreto endurecido, argamassas, fragmentos cerâmicos, blocos de concreto e madeira. Desde que sejam corretamente selecionados, tratados e empregados de acordo com as recomendações das normas técnicas para serem utilizadas em pavimentos, drenos, argamassas e artefatos de cimento, todos esses detritos são matéria-prima em potencial (OLIVEIRA; ASSIS; TERNI, 2004).

Os RCDs possuem características peculiares que podem variar, em um espectro mais abrangente, muito mais do que os materiais que os originaram, como é o caso do agregado natural e do agregado reciclado. Muitas dessas peculiaridades se devem à evolução tecnológica empregada no desenvolvimento de um concreto, por exemplo. Fatores como mão-de-obra, nível de desenvolvimento tecnológico local, técnicas de construção/demolição, programa de redução de desperdício, método de reciclagem e reúso de material empregado no canteiro de obra, organização do canteiro de obra, características ambientais da região, tipo de construção (metrô, obra de saneamento básico, restauro de edifícios históricos etc.) e desenvolvimento econômico, podem afetar as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos resíduos de construção num

determinado momento, como também ao longo do tempo pela ação dos agentes agressivos.

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição, transformados em materiais para reutilização em edificações, iniciou-se na Europa após a Segunda Guerra Mundial. Essa atividade mostra que a fração reciclada pode atingir cerca de 60%, como acontece na Holanda (LEVY, 1997). Embora já se observe no Brasil o interesse em explorar esse negócio, essas experiências estão limitadas a ações das municipalidades que buscam reduzir os custos e o impacto ambiental negativo da deposição de enorme massa de resíduo no meio urbano. Apesar de esta conscientização ser ainda incipiente, está tendo início no país o processo de elaboração do texto-base para normatizar a utilização de agregado reciclado em concreto com função estrutural.

Muitas pesquisas têm sido realizadas para o emprego do agregado reciclado em concreto armado; entretanto, um dos pontos que devem ser observados é a tensão de aderência do aço com o concreto para que o projetista estrutural possa utilizar o novo produto com segurança.

Com o intuito de comparar a resistência à compressão simples e a aderência aço-concreto do concreto convencional e do concreto produzido com agregado reciclado, foram produzidas amostras de concreto com 0, 20, 40 e 100% de substituição do agregado natural pelo agregado reciclado.

2 Resistência de aderência do aço ao concreto

Segundo Oliveira e Assis (2005), a resistência ao deslizamento entre o aço e o concreto é devida à adesão, ao atrito e à resistência por aderência mecânica. Por adesão, entende-se o efeito de colagem entre o aço e o concreto, decorrente

das forças de coesão e é superada quando ocorrem deslocamentos, ainda que muito pequenos, entre os dois materiais. Nessas condições, atua o atrito, cuja contribuição para a resistência total, entretanto, só tem importância para os aços redondos lisos. A resistência das barras nervuradas comuns (Ribbed) – envolvidas por concreto –, definida no ensaio de arrancamento, depende, geralmente, da resistência à aderência mecânica. Não é possível determinar cada parcela de aderência isoladamente, a sua separação em três parcelas é apenas esquemática. Dessa maneira, por meio dos ensaios mecânicos, são determinados valores médios globais de aderência, que atendem aos parâmetros de projeto. A tensão de aderência pode ser influenciada por vários fatores como:

Adensamento do concreto: influencia tanto na aderência ao aço-concreto quanto na resistência à compressão e à tração do concreto;

Comprimento de ancoragem: não há consenso entre os pesquisadores a respeito da sua influência sobre os escorregamentos para carga de serviço do concreto;

Conformação superficial: é o fator que mais influencia na aderência do aço ao concreto;

Diâmetro da barra: tem influência mínima sobre a tensão média de aderência, mas os diâmetros menores são capazes de desenvolver tensões um pouco superiores;

Estado superficial: barras nervuradas com diferentes condições de superfície (barras normais, oxidadas ao ar, oxidadas na água salgada, lubrificadas e com rugosidade obtida artificialmente) têm pouca influência no comportamento de aderência do aço ao concreto;

Idade do concreto: sua influência sobre a aderência é a mesma verificada em relação a resistência à compressão ou à tração do concreto;

Posição da barra na concretagem: a aderência de barras horizontais inferiores é maior quando comparada à resistência das superiores e verticais;

Resistência à compressão simples do concreto: influencia, de maneira significativa, a resistência de aderência ao aço-concreto. Quanto melhor a qualidade do concreto, em razão da boa dosagem, das adições e dos aditivos, maior será a resistência a esse tipo de aderência;

Traço do concreto: qualquer modificação no traço do concreto que não altere a resistência à compressão ou à tração do concreto, não influenciará o comportamento de aderência ao aço-concreto. Quando se diminui o fator água/cimento e a quantidade de agregado miúdo, há um aumento no consumo de cimento.

3 Material e métodos

O ensaio de arrancamento direto: *pull-out test* (POT) é o mais empregado pelos pesquisadores, porque é relativamente simples e apresenta baixo custo. Neste trabalho empregou-se o método POT, preconizado pelo Rilem-FIP-CEB (1973).

3.1 Corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram construídos com seção transversal de 100 x 100 milímetros (mm) e comprimento de 100 mm, ou seja, dez vezes o diâmetro da barra de aço nervurada, que era de 10 mm de diâmetro. A Ilustração 1 mostra o desenho esquemático da seção transversal do corpo-de-prova.

Primeiramente foi feita a caracterização dos materiais constituintes do concreto com o objetivo de realizar a dosagem do concreto, em seguida, partiu-se para a construção das formas de madeira dos corpos de prova para o

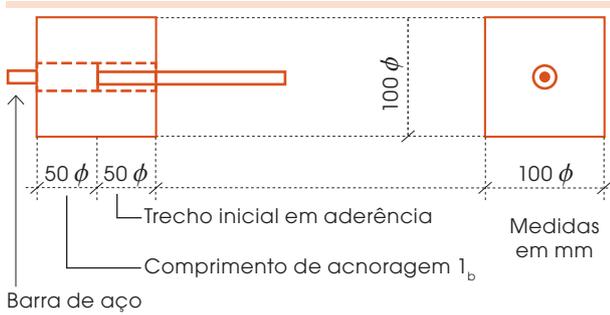


Ilustração 1: Dimensões do corpo-de-prova

Fonte: Os autores.

ensaio de arrancamento. Após a conclusão desta etapa, foi possível realizar a moldagem dos corpos-de-prova. Ao final do processo de cura, realizaram-se os ensaios para verificação da aderência do aço com o concreto (POT) produzido com agregado reciclado e de concreto feito com agregado natural.

As formas para o ensaio de arrancamento foram confeccionadas em madeira, conforme Gráfico 1, e cumpriram sua função primordial que era a de permitir uma fácil desmontagem das mesmas para retirada dos corpos de prova. A forma era composta de quatro peças de madeira unidas por encaixes. Duas dessas peças possuíam furos nos quais passava o vergalhão de aço.

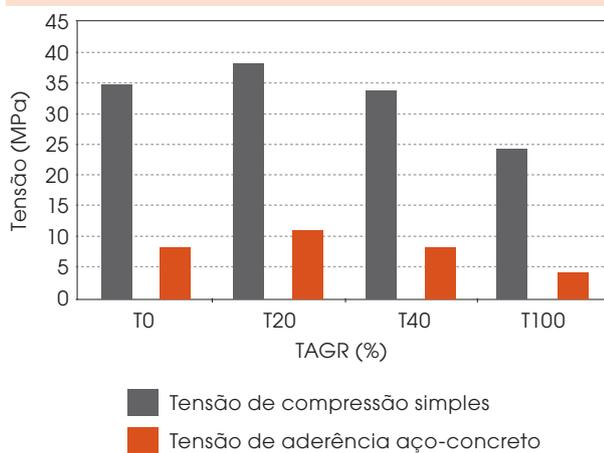
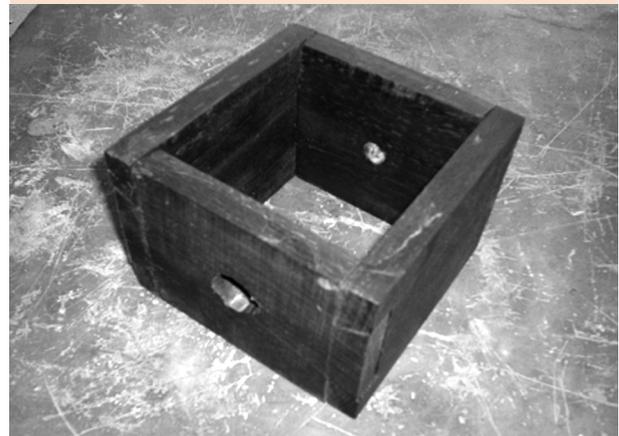


Gráfico 1: Valores médios das tensões de compressão simples e de aderência

Obs.: Teor de agregado graúdo reciclado (TAGR).

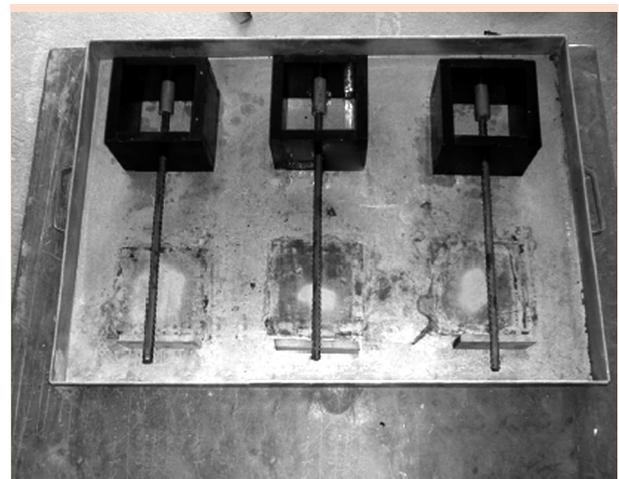
Fonte: Os autores



Fotografia 1: Montagem da forma

Fonte: Os autores.

Inicialmente foi aplicado desmoldante em todas as peças que integravam as formas, para que a retirada das mesmas fosse realizada facilmente e sem danificar o corpo-de-prova. Foram colocados os tubos de PVC que impedem o contato do concreto com o aço em trechos determinados, e por último, foram inseridas as barras de aço CA-50, conforme Fotografia 2.



Fotografia 2: Forma para concretagem

Fonte: Os autores.

Para a realização do ensaio de arrancamento foram moldados 12 corpos-de-prova, sendo três para cada uma das quatro composições estudadas.

Os corpos-de-prova após, a desforma, foram submetidos ao ensaio de arrancamento, conforme indicado na Fotografia 3. Enquanto, uma das garras da prensa, na qual estava posicionado o corpo-de-prova, permaneceu imóvel na outra em que estava presa a barra de aço, aplicou-se a força de tração. Um extensômetro preso à barra de aço indicava os deslocamentos.



Fotografia 3: Aparato de POT

Fonte: Os autores.

Entre o corpo-de-prova e a peça acoplada à prensa foi colocada uma placa de aço com espessura de 10 mm, para que a carga fosse distribuída em toda a face do corpo-de-prova. A equipe de ensaio foi composta de duas pessoas, uma fazendo a leitura da força de tração e a outra anotando os escorregamentos indicados.

3.2 Dosagem do concreto

Para que fosse possível atingir uma resistência de projeto igual a 25 megapascal (MPa), calculou-se a tensão média característica do concreto fazendo:

$$f_{c_{28}} = f_{ck} + 1,65 \times S_d$$

em que: $f_{ck} = 25$ MPa e $S_d = 4$ MPa é o desvio-padrão

Neste contexto, 31,6 MPa é o resultado da resistência do concreto calculada. Para a resistência de 31,6 MPa, obteve-se o seguinte traço: 1: 2: 3: 0,6, enquanto $60 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ equivale ao *slump test* adotado para o concreto.

3.3 Agregados

Empregou-se agregado graúdo e miúdo natural, de origem granítica, e agregado graúdo reciclado a partir de RCD com idades que variaram de 60 dias a 30 anos, misturados tal como foram recolhidos na central recicladora.

3.4 Pré-molhagem

Os agregados graúdos foram pré-umedecidos com umidade igual a 80% do valor do teor de sua absorção de água. O agregado miúdo foi pré-umedecido até a obtenção de partículas saturadas com superfície seca.

3.5 Mistura dos agregados graúdos

Por meio da utilização de agregados naturais, obteve-se o concreto de referência e, nesse processo, não houve mudança do agregado natural pelo reciclado, que foi denominado REC0. Os concretos, que tiveram substituição parcial de 20, 40 e 100% de agregado graúdo natural pelo reciclado receberam a denominação de REC20, REC40, REC100, respectivamente.

3.6 Moldagem dos corpos-de-prova

O concreto foi colocado manualmente nas formas e adensado com 30 golpes por meio do soquete padrão. Foram confeccionados seis corpos-de-prova para cada tipo de ensaio.

3.7 Cura dos corpos-de-prova

Após a concretagem, os corpos de prova foram protegidos durante 24 horas e, em seguida, colocados em câmara úmida, de onde foram



retirados 24 horas antes do ensaio de arrancamento.

3.8 Ensaio de arrancamento

A força de tração foi aplicada a uma das extremidades da barra por uma prensa hidráulica, e as deflexões tiveram de ser medidas – enquanto a carga foi sendo aplicada à barra de aço.

4 Resultados

A Tabela 1 apresenta os resultados médios obtidos da resistência à compressão simples do concreto e para a resistência de aderência do aço nervurado ao concreto, com seus respectivos desvios-padrão.

Tabela 1: Tensão média da resistência à compressão simples e de aderência

Concreto	REC0	REC20	REC40	REC100
AGG (%)	0	20	40	100
σ_c (MPa)	34,8 ± 1,4	38,2 ± 2,6	34 ± 2,8	24,4 ± 2,2
τ_{bm} (MPa)	8,2 ± 1,1	10,6 ± 2,5	8,1 ± 3,1	4,3 ± 1,6

Obs.: AGG (%), porcentagem de agregado; σ_c (MPa), tensão média de resistência à compressão simples do concreto; τ_{bm} (MPa), tensão média de aderência ao aço-concreto.

Fonte: Os autores.

Os resultados mostram que o aumento do percentual de agregado reciclado, em substituição ao agregado natural, causa decréscimo da resistência à compressão simples do concreto e a tensão de aderência aço-concreto não segue exatamente essa tendência quando se considera o desvio-padrão.

Quando se observa simplesmente a média dos valores apresentados no Gráfico 1, a tensão de aderência aço-concreto segue a tendência da resistência à compressão simples. O concreto produzido com 20% de substituição de agregado gráudo natural por agregado gráudo reciclado foi o que apresentou maiores resistências,

tanto à compressão simples quanto à aderência aço-concreto.

É interessante notar que ao se considerar o desvio-padrão a tensão de aderência aço-concreto muda o seu comportamento, conforme pode ser constatado pelos valores apresentados na Tabela 1, o concreto REC20 pode ser considerado aquele que mais se aproxima do concreto de referência REC0. A explicação pode ser dada pelo percentual de agregado natural substituído pelo agregado reciclado que pode possuir propriedades pozolânicas atribuídas a um pequeno percentual de material cerâmico contido nos materiais reciclados e também dar lugar à formação de substâncias expansivas, tendo em vista a origem e a possível contaminação dos agregados reciclados por sulfatos e magnésio.

5 Considerações finais

Esses estudos mostram que existem diversos fatores que podem influenciar na aderência aço-concreto. Nesta pesquisa foram feitas apenas considerações sobre a resistência à compressão simples do concreto e o tipo de aço empregado como reforço do concreto, tendo em vista que outros parâmetros citados no item 2 não objetivos de investigação da presente pesquisa.

Na Tabela 1, a resistência à compressão do concreto de referência, REC0, é praticamente igual ao concreto REC40, mas quando se considera o desvio-padrão, esse panorama fica alterado em detrimento do REC40, que possui resistências inferiores ao concreto REC20. A resistência de aderência, entretanto, diminui progressivamente à medida que aumenta o percentual de substituição do agregado natural pelo reciclado. A explicação para o decréscimo da resistência de aderência aço-concreto, mesmo para tensão de ruptura mais elevada, como é o caso

do REC 20, é que o agregado reciclado possui substâncias expansivas que preenchem os vazios do concreto tornando-o mais compacto – porém esses materiais não possuem resistência à tração e, quando a barra de aço nervurada é tracionada, ocorre o seu deslizamento, fornecendo assim desvio-padrão maior às tensões de compressão e de aderência.

Por meio deste estudo, fica demonstrada a possibilidade do emprego de agregado reciclado obtido a partir de resíduo de concreto em concreto armado, desde que seu percentual não seja superior a 20% para concretos com resistência de projeto igual a 25 MPa.

Adherence of concrete-steel produced with recycled aggregate

Civil construction works (including new constructions, demolitions and reforms) produce a considerable amount of construction and demolition waste that is generally discharged in inadequate way. The disposal of detritus without criterion expose the environment and the human being to unnecessary risks, once these wastes are often thrown into rivers, on the roadsides or agricultural grounds, and its contaminating substances, such as bitumen, solvent, calcium sulphate and inks provoke great unbalance on the ecosystem. The use of recycled aggregate in pavements, blocks, in concrete without structural function and, more recently, in concrete with structural function are some options to minimize environmental impacts. Nowadays, the properties of the concrete made with recycled aggregate have been studied in order to allow safe utilization. One aspect that deserves attention is the adherence of this kind of concrete to steel. Specimens were produced with

a partial substitution of the natural aggregate by the recycled aggregate and reinforced concrete, chosen as reference. The specimens have been submitted to direct traction tests to calculate the adherence tension according to Brazilian standards. Despite slight variations, the tests confirmed the possibility of using reinforced concrete produced with recycled aggregate in structures capable to support tensions higher than 25MPa].

Key words: Adherence tension. Concrete. Environment impacts. Recycled aggregate.

Referências

BRITO FILHO, J. A. Cidades versus entulhos. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1999, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1999. p. 56-67.

LEVY, S. M. *Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos*. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, E. M. J. de; ASSIS, C. S. de. Analysis of the adherence of concrete produced by recycled aggregate. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE – DEVELOPMENTS TRENDS, 2005, Moscou. *Rilem Proceedings...* Moscou: Rilem, 2005. v. 5, p. 211-216.

_____; _____.; TERNI, A. W. Study on compressed stress, water absorption and modulus of elasticity of produced concrete made by recycled aggregate. In: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS AN STRUCTURES, 2004, Barcelona. *Rilem Proceedings Pro...* Barcelona: Rilem, 2004. v. 40, p. 636-642. Disponível em: <<http://congress.cimne.upc.es/rilem04/admin/Files/FilePaper/p312.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2006.

RILEM-FIP-CEB. Bond test for reinforcing steel – 2. Pull-out test. *Matériaux et Constructions*, v. 6, n. 32, p. 102-105, 1976.

Recebido em: 16 fev. 2006 / aprovado em: 5 maio 2006

Para referenciar este texto

OLIVEIRA, M. J. E. de; ASSIS, C. S. de. Aderência do aço-concreto produzido com agregado reciclado. *Exacta*, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 135-141, jan./jun. 2006.