**Revista Brasiliense de Engenharia e Física Aplicada**

# Resíduos Sólidos na Produção de Artefatos de Concreto

Gisele Alves Fernandes
*Curso de Engenharia Civil, Faculdade ICESP de Brasília*
Nilo Silvio Costa Serpa
*Professor Titular*, *Faculdade ICESP de Brasília*

Received: 16 Jun 2017 _____ / Accepted: 25 Jun 2017 _____ / Published: 27 Aug 2017 _____.

**Abstract:** Present article discusses the production of concrete artifacts that use in their composition recycling aggregates of *Solid Waste from Construction and Demolition* (SWCD). The study was designed as experimental / comparative, with destructive tests of proof bodies made with recycled aggregates (test group) and with traditional aggregates (control group). Subsequent statistical analysis of the data collected from the comparison between these groups was conducted. Also, during the experiments, data were collected on the structural characteristics of the artifacts, as well as on the processes involved in recycling. The optimal dosage for each type of artifact produced with recycled aggregates was found, demonstrating that the choice of recycled materials could be an economical and environmentally sustainable solution in the context of the eco-innovations.

**Keywords:** recycling; solid waste; concrete artifacts.

## 1. Introdução

Com o crescimento desordenado das grandes cidades, aliado ao avanço tecnológico e industrial, um expressivo percentual dos recursos naturais tem sido consumido, provocando danos ao meio ambiente. A construção civil aparece em destaque como agente poluidor e consumidor de recursos, posto que é atividade geradora da maior parte dos resíduos sólidos urbanos, tendo na indústria cimentícia e nas aplicações do cimento em canteiros de obras seus mais agressivos processos.

Considerando-se que já foi ultrapassada a capacidade da natureza para absorver o volume descomunal de resíduos produzidos anualmente pela humanidade, é sensato atentar para as recentes mudanças climáticas e o aumento dos desastres naturais, avaliando cuidadosamente até que ponto os impactos ambientais antropogênicos afetarão o globo terrestre de modo dramático em questão de poucas décadas. As políticas públicas mundiais sobre meio-ambiente resumem considerações de que, se algo não for feito, o custo daqueles impactos será

**Autora correspondente:** Gisele Alves Fernandes, Discente em Engenharia Civil, áreas de pesquisa: reciclagem de resíduos sólidos, logística de canteiro de obras. E-mail: gisele.af.bsb@gmail.com.

extremamente alto, certamente conduzindo a cenários sombrios.

No que concerne a construção civil, identifica-se no concreto seu maior vilão. É constituído pela mistura de cimento, água, agregado graúdo (brita ou cascalho) e agregado miúdo (areia). Trata-se do material mais utilizado em canteiros de obras, de modo que o presente estudo evidencia os problemas associados ao acúmulo de seus resíduos no montante de resíduos da construção e demolição (RCD), destacando as vantagens de sua reutilização.

## 2. A Situação Atual

Apesar da ascensão do aço com suas vantagens plásticas e como promotor de uma produção mais limpa, o concreto é ainda o material mais requisitado na área da construção civil. No entanto, sua produção causa a emissão de gases poluentes, como o $CO_2$, sendo seus destinos finais, quase sempre, os lixões a céu-aberto — já banidos no Primeiro Mundo —, causando assim sérios malefícios ecológicos.

É premente a adoção de soluções que busquem mitigar os efeitos gerados pela construção civil, os quais são globalmente prejudiciais sob vários aspectos. A utilização em escala cada vez maior de recursos não renováveis, como calcário na produção de cimento, rochas e areias, pressiona cada vez mais as fronteiras naturais da exploração em direção ao esgotamento das reservas. A própria extração de minerais provoca estragos no entorno da atividade, o que compromete o equilíbrio ecológico em favor do "desenvolvimento" econômico. Sob o prisma da gestão de canteiro de obras e da cadeia produtiva da construção civil, a elevada geração de resíduos mostra-se negligenciada quanto aos processos de classificação e destinação segura e inócua [8].

A reciclagem do concreto endurecido em agregado graúdo para ser utilizado novamente em concretos estruturais tem se mostrado uma alternativa de fácil argumento junto a construtores e engenheiros. Contudo, há que se buscar maior fundamentação teórico-prática no que tange as características técnicas dos materiais originados da reciclagem.

Por falta de um parâmetro que sirva de índice de qualidade para os agregados reciclados, estudos têm abordado diferentes formas de utilizá-los. Uma delas é a utilização apenas como substituto de parte do agregado natural (miúdo e/ou graúdo), de forma a não afetar tanto as propriedades do concreto. Outra forma tem sido especulada a partir da investigação do efeito de várias composições do agregado sobre as propriedades do concreto, como que buscando uma composição ideal. De todo modo, assume-se que a porosidade do material é uma propriedade com grande potencial para servir como parâmetro de controle do agregado reciclado, podendo ser monitorada por meio da massa específica do agregado e/ou pela capacidade de absorção de água.

## 3. O Estudo Realizado

Trata-se de investigação conduzida ao longo de um ano, segundo procedimentos criteriosos de modo a minimizar o risco de bias nas observações registradas. As misturas definidas no estudo de dosagem realizado foram analisadas a partir das propriedades constatadas nos estados fresco e endurecido. Para substituição dos agregados convencionais pelos agregados reciclados na produção de um concreto sustentável que pudesse substituir o concreto convencional, foram feitos os ensaios de caracterização do RCD, assim como os ensaios para a análise das características deste novo concreto, com um traço padrão.

Para a absorção de água, o agregado graúdo reciclado ensaiado apresentou resultado muito parecido ao do grupo de controle, com diferença registrada de 2,3% a menos para o grupo de teste. Quanto à resistência, considerando-se o RCD a 25%, foram alcançados 24,96 Mpa conforme mostrado na Figura 1. Durante os procedimentos de teste, foram

levadas em conta as importantes observações de Modler, quando afirma que

"A análise mais importante a ser feita nesse caso relaciona-se ao fato de que os maiores índices de absorção dos agregados de concreto não acarretam aumento da absorção do concreto endurecido. Desta forma, a influência que o tipo de agregado exerce sobre a absorção do concreto está relacionada ao arranjo granular entre os diferentes agregados" [9].

Os resultados corroboram a aferição com relação à quantidade de água necessária quando feita a dosagem. Na ocasião, ficou claro que a presença de agregado reciclado tornava o ajuste da trabalhabilidade uma atividade bastante delicada. Quanto mais tempo passava, desde o início da mistura, maior a necessidade de manipulação do concreto.

A meta neste ponto da pesquisa passou a ser, então, ajustar o *slump* da mistura o mais rápido possível, sob pena de se abandonar a amostra devido a esta apresentar valores de trabalhabilidade além do especificado com mínimas quantidades de água adicionadas.

A partir dos resultados médios obtidos da compressão dos blocos experimentais, observou-se que o valor mínimo de 4,5 Mpa estabelecido pela norma NBR 6136 (ABNT, 1994) foi alcançado com a idade de 3 (três) dias.

## 4. Discussão

No Brasil, grupos de ambientalistas e estudiosos vêm alertando sobre a necessidade de o país posicionar-se mais firmemente acerca de sustentabilidade, tema que avança e envolve profissionais de diversas áreas; estes, em certos momentos, precisam se reunir e trabalhar em conjunto na busca de soluções para os desafios propostos. Como observa Corrêa,

"A incorporação de práticas de sustentabilidade na construção é uma tendência crescente no mercado. Sua adoção é <<um caminho sem volta>>, pois diferentes agentes — tais como governos, consumidores, investidores e associações — alertam, estimulam e pressionam o setor da construção a incorporar essas práticas em suas atividades" [6].

Corrêa também menciona que as construções, as reformas, as ampliações e as demolições são atividades altamente geradoras de RCD, sendo cerca de 60% somente de reformas [6]. O mesmo comentário é feito pela Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura - ASBEA, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável – CBCS, e outras instituições que apresentam diversos princípios básicos da construção sustentável, dentre os quais destacamos:

- Aproveitamento de condições naturais locais;
- Utilização mínima de terreno e integração com o ambiente natural;
- Análise do entorno;
- Minimização de impactos no entorno – paisagem, temperaturas e concentração de calor, sensação de bem-estar;
- Qualidade ambiental interna e externa;
- Sustentabilidade logística da implantação da obra;
- Adaptação às necessidades atuais e futuras dos usuários;
- Emprego de matérias-primas que contribuam com a eco-eficiência do processo;
- Redução do consumo energético;
- Redução do consumo de água;
- Redução, reutilização, reciclagem e disposição correta dos resíduos sólidos;
- Introdução de inovações tecnológicas sempre que possível e viável;
- Educação ambiental: conscientização dos envolvidos no processo (*stakeholders*).

Assim, em 2002, a Resolução CONAMA 307, posteriormente alterada pela Resolução 348/2004, determinou que o gerador do resíduo sólido fosse o responsável pelo seu gerenciamento. Essa determinação representou um importante marco legal, determinando responsabilidades e estipulando a segregação dos resíduos em diferentes classes, tornando obrigatórios seus encaminhamentos para reciclagem ou disposição final adequada.

Porto informa que diante de tantas razões, a produção dos RCD é um problema relacionado ao projeto pela falta de precisão nos memoriais prescritivos, baixa qualidade dos materiais adotados, falta de definições e/ou detalhamentos satisfatórios relacionados a processos de reutilização e reciclagem no canteiro. De acordo com este autor,

"O entulho é um dos resíduos industriais mais heterogêneos; ele é constituído de restos de praticamente todos os materiais de construção (argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeiras, metais, papéis, plásticos, pedras, tijolos, tintas, etc.)" [10].

O avanço em termos da legislação veio quando o Governo Federal, por intermédio da Lei n° 12 305/2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), pela qual criou os instrumentos necessários para o Brasil enfrentar os principais problemas ambientais, econômicos e sociais que surgem quando o manejo dos resíduos sólidos é feito de forma inadequada [3,4]. Porto explica que

"Os entulhos podem gerar riscos sanitários e ambientais, principalmente na disposição final inadequada. Seu descarte indevido causa problemas sanitários (enfermidades veiculadas por vetores e poluentes químicos), ambientais (contaminação do solo e da água subterrânea), sociais (catação), econômicos (desvalorização de áreas**,** comprometimento do sistema de drenagem, desperdício de materiais e energia)" [10].

Segundo a resolução 307 do CONAMA, os resíduos da construção civil são aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras, bem como os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha" [1].

Contudo, o fato dessa Resolução não incluir os resíduos de amianto na Classe D gerou, como conseqüência, uma nova publicação [2] constituída pela Resolução 348/2004 que acrescenta o amianto na Classe D (Tabela 1).

A indústria nacional tem no setor da construção civil um de seus principais segmentos, sendo por vezes, exageradamente, considerado um termômetro indicativo do crescimento econômico e social. Por constituírem setor que utiliza um montante expressivo de recursos naturais, as obras da construção civil colaboram para a alteração da paisagem e, como quaisquer atividades desenvolvidas pela sociedade, geram resíduos. Por um lado, se houver a disposição imprópria destes restos, problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública podem ser gerados. De outro lado, os resíduos constituem um problema da gestão regional/municipal, sobrecarregando, assim, os sistemas de limpeza pública.

Para facilitar a implantação de um Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos, a Resolução CONAMA 307 Art. 3° estabelece que "Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta Resolução, da seguinte forma:

**I – Classe A** – são resíduos reutilizáveis ou recicláveis como os agregados:

a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

**II – Classe B** – são resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

**III – Classe C** – são resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

**IV – Classe D** – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde" [1,5].

A Tabela 1 adapta essa classificação e a apresenta de forma mais detalhada.

As quantidades no volume dos RCD dão um tom de urgência para a questão, já que a estimativa é de que venha a representar de 50 a 70% da massa de resíduos sólidos urbanos dos 5.564 municípios brasileiros. Cerca de 72% dos municípios avaliados possuem serviço de manejo de resíduos de construção civil, sendo que 2.937 (aproximadamente 53%), exercem o controle sobre os serviços de terceiros para os resíduos especiais. A maioria dos municípios (em torno de 55%) exerce controle sobre o manejo de resíduos especiais, executado por terceiros no caso do RCD.

Através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE publicou, em 2010, um mapa que identificou os municípios brasileiros que coletavam RCD, seja pelo próprio município, seja pela contratação de terceiros, e mapeou também os municípios que cobram pela prestação desses serviços [7]. A soma das quantidades em volume e peso dos RCD coletados representa uma estimativa nacional, chegando a aproximadamente 7.192.372,71 t/ano de origem pública, e 7.365.566,51 t/ano de origem privada. É razoável supor que estes quantitativos não representam a real situação, pois de acordo com dados levantados pelo IBGE, apenas 7,04% dos municípios considerados possuem alguma forma de processamento dos RCD.

A Lei n° 12.305/2010 preconiza a utilização dos chamados "3R", quais sejam: **redução** da quantidade de resíduos gerados, tendo em vista que se deve evitar ao máximo a geração do resíduo; **reutilização** do resíduo em outro ponto da obra, evitando o desperdício de material que pode ser aproveitado; **reciclagem** do resíduo que não puder ser evitado/aproveitado nos processos anteriores. Essa reciclagem pode ser feita no próprio canteiro de obras ou em um local externo dedicado para esse fim. Infelizmente, as políticas públicas brasileiras projetadas para este fim ainda estão longe de uma aplicação plena e sujeita a processos fiscalizatórios rigorosos. Com efeito, Corrêa deixa claro que

"Os principais resultados produzidos pela reciclagem do entulho são os benefícios ambientais. A equação da qualidade de vida e da utilização não predatória dos recursos naturais é mais importante que a equação econômica. Os benefícios são conseguidos não só por se diminuir a deposição em locais impróprios como também por minimizar a necessidade de extração de matéria-prima em jazidas, o que nem sempre é adequadamente fiscalizado. Reduz-se, ainda, a necessidade de destinação de áreas públicas para a deposição dos resíduos" [6].

## 5. Conclusão

O presente estudo mostrou resultados animadores quanto ao emprego dos resíduos de concreto na produção de um concreto estrutural reciclado. Apesar da resistência que ainda existe quanto ao reaproveitamento dos RCD, os testes realizados mostraram que não há razão para semelhante resistência. O estudo também apresentou argumentos sociais e econômicos que esclarecem de maneira inequívoca a necessidade de eco-inovações na construção civil. Espera-se que este artigo motive outras pesquisas em processos de reciclagem, estimulando acadêmicos e empresários para a busca de processos que garantam mais qualidade de vida às gerações futuras.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do NIP a essa pesquisa.

## 7. Referências

[1] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N° 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial de União, Brasília, DF. 17 de julho de 2002.

[2] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N° 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA N° 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Diário Oficial de União, Brasília, DF. 17 de agosto de 2004.

[3] BRASIL. Lei Federal N° 12.305/2010, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei n° 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 02 de agosto de 2010.

[4] BRASIL. Plano Nacional de Resíduos Sólidos, fevereiro de 2012.

[5] CLASSIFICAÇÃO dos Resíduos na Construção Civil. Belém – PA, 18 Mar 2015. Disponível em: http://www.portalresiduossolidos.com/classificacao-dos-residuos-da-construcao-civil-no-brasil/. Acessado em 28 de abril 2015.

[6] CORRÊA, L. R. Sustentabilidade na Construção Civil. Monografia de Especialização, UFMG, Belo Horizonte - MG, 2009.

[7] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

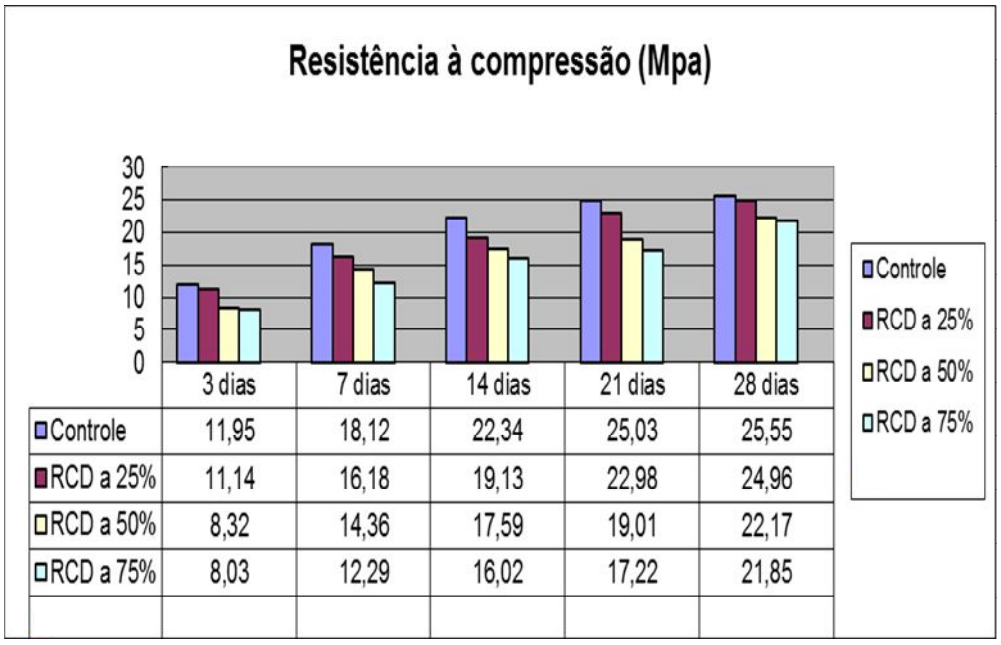
[8] KARPINSK, A. L., *et al.* Gestão Diferenciada de Resíduos da Construção Civil: Uma Abordagem Ambiental. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

[9] MODLER, L. E., POZZOBON, C. E., 2008. Avaliação da Viabilidade Técnica de Concreto Elaborado com Agregado Graúdo Reciclado. *Teoria e Prática na Engenharia Civil* 11, 43-53.

[10] PORTO, M. E., SILVA, S. V. Reaproveitamento dos Entulhos de Concreto na Construção de Casas Populares. Rio de Janeiro: ENEGEP, 2008.

| TIPO RCC | DEFINAÇÃO | EXEMPLOS | DESTINAÇÕES |
|---|---|---|---|
| **Classe A** | Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados. | - Resíduos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;<br>- Resíduos de componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto;<br>- Resíduos oriundos de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obras. | Reutilização ou reciclagem na forma de agregados, ou encaminhamento às áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir utilização ou reciclagem futura. |
| **Classe B** | Resíduos recicláveis para outras destinações. | - Plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros. | Reutilização/reciclagem ou encaminhamento às áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir utilização ou reciclagem futura. |
| **Classe C** | Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis. | - Produtos oriundos do gesso. | Armazenamento, transporte e destinação final conforme normas técnicas específicas. |
| **Classe D** | Resíduos perigosos oriundos do processo de construção. | - Tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados, oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros. | Armazenamento, transporte, reutilização e destinação final conforme normas técnicas específicas. |

**Tabela 1** – Classificação dos RCD segundo a Resolução 307: 2002 – CONAMA.




| | 3 dias | 7 dias | 14 dias | 21 dias | 28 dias |
|---|---|---|---|---|---|
| Controle | 11,95 | 18,12 | 22,34 | 25,03 | 25,55 |
| RCD a 25% | 11,14 | 16,18 | 19,13 | 22,98 | 24,96 |
| RCD a 50% | 8,32 | 14,36 | 17,59 | 19,01 | 22,17 |
| RCD a 75% | 8,03 | 12,29 | 16,02 | 17,22 | 21,85 |

**Figura 1** - Dados do teste de resistência a compressão.