

# AVALIAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS PRODUZIDOS NA CIDADE DE CAMPINAS-SP

MARTINS, Valter J. (1); PIMENTEL, Lia L. (2)

(1) Engenharia Ambiental e Sanitária, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, valtermartinsjr94@gmail.com; (2) POSINFRA, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, lialp@puc-campinas.edu.br.

**Resumo:** Para utilizar o agregado gerado pelas usinas recicladoras na produção de concreto é essencial conhecer suas características. Este trabalho tem como objetivo avaliar amostras de agregados reciclados miúdos e graúdos produzidos em uma usina recicladora localizada na cidade de Campinas-SP, comparar os resultados com parâmetros estabelecidos pela NBR 15116:2004 e com as características dos agregados naturais utilizados na produção de concreto. Para o desenvolvimento do trabalho foram coletadas amostras de agregados, miúdos e graúdos, tanto naturais como reciclados, os quais tiveram suas características determinadas e avaliadas conforme as especificações das NBRs 7211:2009 e 15116:2004. Os resultados apontam que o agregado reciclado graúdo cumpre com as exigências de norma, portanto pode ser utilizado em concretos sem função estrutural, o que não acontece com o reciclado miúdo, o qual ainda precisa ter sua forma de produção melhorada. Quando se compara o agregado reciclado com o natural observa-se que algumas características como maior capacidade de absorção de água e menor resistência ao esmagamento do agregado reciclado podem reduzir a qualidade final do concreto.

**Palavras-chave:** agregado, resíduos, reciclagem, caracterização.

**Área do Conhecimento:** Engenharias I – Materiais e componentes de construção civil.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma grande consumidora de recursos naturais, e é também, grande geradora de resíduos de construção e demolição (RCD), tais resíduos geralmente não são tóxicos, mas apresentam problemas relacionados à suas disposições finais, sendo que ocupam imensas áreas que poderiam ser usadas para outros fins e servem de criadouro de pragas urbanas, tendo como principal o mosquito do *Aedes aegypti*, transmissor de doenças como dengue e chikungunya (MARIANO, 2008).

Guerra (2009) diz que a maioria dos RCD gerados nos municípios, cerca de 75%, são provenientes de pequenas obras, obras de construção, reformas e demolições, realizadas de maneira informal pelos próprios usuários dos imóveis, deste modo há disposições irregulares em calçadas, terrenos baldios, lixeiras públicas, praças, entre outros lugares. Gusmão (2008) expõe que na cidade do Recife-PE, são produzidos 1.300 ton. de RCD por dia, sendo que 554 ton. são depositados irregularmente, apenas no ano de 2004, cerca de 350.000 ton. de RCD foram depositados clandestinamente na Cidade.

Segundo Mariano (2008) no Brasil a geração de resíduos da construção civil, em novas edificações, é de 300 kg/m<sup>2</sup>, enquanto em países desenvolvidos é de apenas 100 kg/m<sup>2</sup>, o Brasil em comparação com alguns países mais desenvolvidos pode ser considerado atrasado na questão resíduos sólidos, já que a Lei nº 12.305 (2010), que institui de forma efetiva a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi implantada pouco tempo, após muitos anos de discussões no Congresso Nacional envolvendo os três entes federados – União, Estados e Municípios, o setor produtivo e a sociedade civil, para solucionar os problemas relacionados aos resíduos e a efetividade da Lei, que ainda não se impôs concretamente, haja visto que muitos municípios e a própria União ainda não tem aprovados seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).

Os PGRS, em especial o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, possuem subcapítulos sobre os RCD que abordam as dificuldades do gerenciamento dos mesmos, onde se encontra obstáculos no desconhecimento dos resíduos e ausência de cultura de separação, entre outros motivos, porém o Plano Nacional como parte de uma mitigação dos problemas, propõem diretrizes e estratégias para os resíduos da construção civil (BRASIL, 2011).

Outro instrumento importante na gestão dos RCD é o CONAMA nº 307 (2002), o qual sofreu sua última alteração pela Resolução de nº 469/2015, tal resolução visa estabelecer diretrizes e critérios igual ao Plano Nacional de Resíduos Sólidos, mas tem como principal características estabelecer procedimentos técnicos de gestão e também classificação dos RCD segundo a origem dos materiais.

Segundo Brito, Bravo e Mália (2011) na União Européia, não existe legislação específica para RCD como existe para outros tipos de resíduos, porém alguns países tomaram a iniciativa de criar políticas públicas a fim de reduzir à produção de resíduos, tendo como referência à Dinamarca, que consegue um índice de 90% de reciclagem do RCD, nesse país a reciclagem dos resíduos se tornou uma prática corrente. E para obter tal eficiência o governo utiliza-se de duas práticas, os resíduos que não são reciclados estão sujeitos a elevadas taxas de impostos e a separação dos resíduos em sua origem é obrigatória.

A geração de agregado reciclado é feita em usinas recicladoras móveis ou fixas, ambas tem a função de transformar os agregados provenientes de RCD em matéria prima reciclada como areia, bica corrida, brita, pedrisco, rachão, entre outros, o processo dentro da usina se resume basicamente como descrito por Cunha e Lima (2010) em três etapas, na primeira o material recebido nas recicladoras é submetido a uma inspeção visual nas caçambas, com o objetivo de rejeitar materiais com muitos contaminantes ou com uma alta heterogeneidade. Caso o material seja apto a entrar na usina, ele é despejado em uma leira primária; em seguida o material passa por um peneiramento com o intuito de remover solos presentes; após o primeiro peneiramento o material é transferido para uma esteira onde ocorre a catação manual de contaminantes (plásticos, vidros, latas, matéria orgânica e etc.); com o material “limpo” se executa a etapa de britagem, a qual reduz o tamanho das partículas; por fim o material é peneirado e armazenado em leiras conforme a granulometria do agregado.

A fração mineral que é britada para produção de agregado reciclado, se enquadra segundo a Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) como classe A, são materiais como resíduos de tijolos, blocos, telhas, concretos, solos, rochas, e pavimentos. Porém os solos apesar de se enquadrarem como resíduos classe A, não são adequados para produção de concreto e deveriam ser retirados do processo de britagem, o que normalmente não ocorre nas usinas recicladoras.

A NBR 15116 (2004) estabelece as características dos agregados reciclados que são destinados para produção de concreto, são limitadas principalmente a capacidade de absorção de água, o teor de finos e torrões de argila.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi de avaliar amostras de agregados reciclados miúdos e graúdos produzidos em uma usina recicladora localizada na cidade de Campinas-SP, através de ensaios físicos e químicos estabelecidos na NBR 15116 (2004), a fim de determinar se as amostras de agregados reciclados atendem aos requisitos especificados na norma para o agregado reciclado a ser usado na produção de concreto sem função estrutural.

Também foram avaliados segundo os mesmos parâmetros os agregados miúdos e graúdos naturais, os resultados foram comparados aos dos agregados reciclados.

## **3 METODOLOGIA**

As amostras de agregados reciclados miúdos e graúdos foram coletadas em visita realizada a usina recicladora localizada em Campinas-SP. Primeiramente coletou-se o miúdo, foi-se até a leira de estocagem e retirou-se um montante de material que representou aproximadamente 150 a 200 kg, esse material foi homogeneizado de forma manual. O procedimento de amostragem repetiu-se para o agregado graúdo. Ressalta-se que o agregado miúdo reciclado apresentava coloração avermelhada, sendo por isso nomeada como ARMV (agregado reciclado miúdo vermelho), já o graúdo reciclado teve como característica a cor cinza, desse modo, foi nomeado como ARGC.

Quanto aos agregados naturais miúdos e graúdos, foram coletados em um depósito de materiais de construção localizado na cidade de Itapira-SP. O agregado natural miúdo era areia de porto (ANMP), extraída de fundo de rio e o agregado natural graúdo classificado como brita 1 de diabásio (ANGD), extraído de pedra próxima a cidade. Para os agregados naturais a coleta foi executada utilizando-se o mesmo procedimento empregado para os agregados reciclados.

Após as coletas, iniciou-se os ensaios para as amostras: ARMV, ARGC, ANMP e ANGD, para cada amostra realizou-se três determinações e calculou-se a média. Os ensaios desenvolvidos são aqueles referentes às propriedades de caracterização impostas pela NBR 15116 (2004) e pela NBR 7211 (2009) que apresentam os requisitos para os agregados reciclados destinados ao preparo de concreto sem função estrutural e para os agregados naturais destinados ao preparo de concreto. Estas características e respectivas normas de ensaio

são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 – Procedimentos de ensaios**

| Características   |                                      | Normas de ensaios |                |
|---|--------------------------------------|-------------------|----------------|
|   |                                      | Agr. graúdo       | Agr. miúdo     |
| Teor de fragmentos à base de cimento e rochas (%)                           |                                      | Anexo A           | -              |
| Absorção de água (%)  |                                      | ABNT NBR NM 53    | ABNT NBR NM 30 |
| Contaminantes – teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%) | Cloretos                             | ABNT NBR 9917     |                |
|   | Sulfatos                             | ABNT NBR 9917     |                |
|   | Materiais não minerais <sup>1)</sup> | Anexo A           | -              |
|   | Torrões de argila                    | ABNT NBR 7218     |                |
| Teor de material passante na malha 75 µm (%)                                |                                      | ABNT NBR NM 46    |                |
| Resistencia ao Esmagamento  |                                      | NBR 9938          | -              |

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os agregados miúdos tanto reciclado como natural (ARMV e ANMP), bem como os limites especificados para cada característica pelas NBR 15116 e NBR7211 são apresentados na Tabela 2.

O agregado reciclado miúdo foi classificado como misto (ARM), aquele que contém mais de 10% de material não cimentício, por apresentar coloração avermelhada proveniente de solo ou de material cerâmico como tijolos e telhas. Os miúdos naturais não são classificados quanto a sua composição, pois esta depende de análise mineralógica.

A capacidade de absorção de água para o agregado reciclado miúdo (ARMV) atendeu ao limite da norma que é de 17%, entretanto o valor é aproximadamente quatro vezes maior que o valor de absorção de água do agregado miúdo natural (ANMP). Esta alta absorção do agregado implica em menor durabilidade do concreto, pois confere ao mesmo maior porosidade e conseqüentemente maior capacidade de absorção de água.

Quanto ao teor de cloretos e sulfatos, ambos os agregados miúdos (ARMV e ANMP) respeitaram suas respectivas normas com valores muito inferiores aos limites máximos especificados nas NBR 15116 e NBR 7211. A porcentagem de materiais não minerais não foi determinada para os agregados miúdos.

O teor de torrões de argila não foi atendido para o agregado reciclado (ARMV), pois obteve-se 6% de torrões de argila enquanto a NBR 15116 especifica um limite de 2%. O agregado natural (ANMP) atendeu ao limite da NBR 7211 (2009). O ensaio de torrões de argila resume-se basicamente no peneiramento do material seco, o qual é separado em intervalos granulométricos que atendam quantidades exigidas pela norma específica, os materiais dos intervalos granulométricos que contenham quantidade referente ao solicitado pela norma são deixados submersos em água por 24 horas, após o período de descanso é feito o destorroamento manual dos torrões de argila, em seguida o material é peneirado por via úmida e com peneira de abertura menor que a granulometria do material, a fim de retirar apenas a argila. No entanto quando se realiza o peneiramento por via úmida, além de torrões de argila destorroados, os finos aderidos às partículas também são removidos, podendo assim falsear o resultado, uma vez que o teor de finos do agregado reciclado é alto.

No presente trabalho quando se realizou a etapa de destorroamento manual dos torrões de argila do ARMV, destorroou-se por amostra uma quantidade da ordem de 3 a 5 pequenos torrões, o que não representaria algo em torno de 6,35% da média das amostras, assim atribui-se o elevado valor aos finos despreendidos das amostras no peneiramento úmido, sendo o valor real de torrões de argila contido no ARMV possivelmente menor ao apresentado. O ANMP apesar de apresentar os mesmos problemas quanto ao ensaio de torrões de argila, por possuir uma quantidade de finos menor que o ARMV conseguiu atender sua respectiva norma.

Tabela 2 – Resultados dos agregados miúdos (ARMV e ANMP)

| Propriedades                                  | ARMV (%)           | Requisitos NBR 15116 (%) | ANMP (%)           | Requisitos NBR 7211 (%) |
|---|--------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| Teor de fragmentos à base de cimento e rochas | -                  | -                        | -                  | -                       |
| Absorção de água                              | 12,70              | ≤17                      | 2,75               | -                       |
| Teor de cloretos <sup>(A)</sup>               | 2x10 <sup>-5</sup> | 1                        | 2x10 <sup>-5</sup> | ≤0,2 p/ con. simples    |
| Teor de sulfatos <sup>(B)</sup>               | 0,32               | 1                        | 0,04               | ≤0,1                    |
| Torrões de argila <sup>(C)</sup>              | 6,03               | 2                        | 0,90               | ≤3                      |
| Teor total de contaminantes $\sum(A,B,C)$     | 6,35               | 3                        | 0,94               | -                       |
| Teor de material passante na malha 75 µm      | 8,54               | ≤20                      | 1,13               | ≤1                      |

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15116 (2004) e NBR 7211 (2009)

Quanto ao teor de finos (material passante na malha 75 µm) o ARMV atendeu ao limite da NBR 15116 (2004) de forma satisfatória. O agregado natural (ANMP) apresentou teor de finos superior ao limite de 1% especificado pela NBR 7211 (2009). Ressalta-se que mesmo cumprindo com as exigências de finos, o ARMV apresentou valor aproximadamente oito vezes maior do que o ANMP.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de caracterização dos agregados graúdos natural e reciclado.

Tabela 3 – Resultados dos agregados graúdos (ARGC e ANGD)

| Propriedades                                  | ARGC (%)             | Requisitos NBR 15116 (%) | ANGD (%)           | Requisitos NBR 7211 (%) |
|---|----------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|
| Teor de fragmentos à base de cimento e rochas | 99,6                 | ≥90*                     | 100                | -                       |
| Absorção de água                              | 6,05                 | ≤7*   ≤12**              | 1,11               | -                       |
| Teor de cloretos <sup>(A)</sup>               | 2,5x10 <sup>-4</sup> | 1                        | 2x10 <sup>-5</sup> | ≤0,2 p/ con. simples    |
| Teor de sulfatos <sup>(B)</sup>               | 0,05                 | 1                        | 0,07               | ≤0,1                    |
| Materiais não minerais <sup>(C)</sup>         | 0,4                  | 2                        | 0                  | -                       |
| Torrões de argila <sup>(D)</sup>              | 1,5                  | 2                        | 0                  | ≤3                      |
| Teor total de contaminantes $\sum(A,B,C,D)$   | 1,9                  | 3                        | 0,07               | -                       |
| Teor de material passante na malha 75 µm      | 0,54                 | ≤10*                     | 0,27               | <1                      |
| Resistência ao esmagamento                    | 18,12                | -                        | 14,36              | -                       |

\*) Valor referentes aos ARC, (agregado reciclado cimentício);  
 \*\*) Valor referente aos ARM, (agregado reciclado misto).

Fonte: Adaptado ABNT NBR 15116 (2004) e NBR 7211 (2009)

O ARCG atendeu todos os requisitos da NBR 15116 (2004) de maneira excepcional. O problema quanto à determinação dos torrões de argila reportado acima, também foi constatado quando ensaiou-se o ARCG, mas não gerou alterações significativas quanto a classificação do agregado. Os requisitos da NBR 7211 (2009) expostos na Tabela 3, todos também foram atendidos pelo agregado natural (ANGD). Na Tabela 3 o valor de torrões de argila para o ANGD foi zero, por conta que o material não foi ensaiado seguindo a NBR 7218 (2010), constatou-se que não faz sentido expor o material a tal ensaio, sabendo que sua composição é 100% rochosa, isso era nítido em uma simples análise visual.

Quando foi realizado o ensaio para determinação do teor de fragmentos à base de cimentos e rochas no agregado reciclado (ARGC) obteve o valor de 99,6% de material cimentício e rochoso, classificando o material como agregado reciclado de concreto (ARC) conforme a NBR 15116 (2004).

A capacidade de absorção de água do agregado reciclado foi aproximadamente seis vezes maior do que a do agregado graúdo natural, porque os materiais cimentícios possuem elevado grau de porosidade e conseqüentemente alto índice de vazios se comparados a rochas que são utilizadas como agregado natural.

Apesar das normas não especificarem limites para resistência ao esmagamento, tanto para o agregado natural como para o reciclado, esta característica é um bom método para comparar a resistência de dois agregados diferentes.

## **5 CONCLUSÃO**

Para a utilização do agregado reciclado na produção do concreto sem função estrutural é fundamental observar que suas características atendam aos limites especificados pela NBR 15116 (2004), no entanto é necessário estudar a viabilidade de seu emprego na produção de concreto para fins estruturais como forma de ampliar o consumo do mesmo. Para isso deve-se comparar suas características com a dos agregados naturais.

A amostra do agregado reciclado miúdo (ARMV) não atendeu aos requisitos de teor de torrões de argila para seu uso na produção de concreto sem função estrutural, e os valores obtidos nestes quesitos são muito superiores aos obtidos para agregados naturais.

Quanto ao agregado miúdo natural (ANMP) também apresentou um requisito reprovado que foi referente ao teor de finos, que apesar de apresentar um valor menor que a amostra reciclada, não atendeu ao limite especificado.

A amostra de agregado reciclado graúdo (ARGC) atendeu a todas as exigências da NBR 15116 (2004), assim sendo conclui-se estar apta a ser utilizada em concreto sem função estrutural. Comparando o agregado reciclado com o natural (ANGD) nota-se que o reciclado apresenta menor resistência ao esmagamento e maior capacidade de absorção de água que o agregado natural. Isso pode reduzir a capacidade resistente do concreto produzido com este material e aumentar sua porosidade tornando-o menos durável. O agregado reciclado pode ser destinado à produção de blocos e pisos intertravados, para utilização em concreto estrutural é necessário estudar um tratamento do agregado reciclado.

## **6 AGREDECIMENTOS**

Agradeço a FAPESP pelo apoio financeiro através dos projetos 2014/20486-8 e 2016/12360-0.

## **7 REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7218: Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9917: Agregados para concreto – Determinação de sais cloretos e sulfatos solúveis. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 7211: Agregado para concreto - Especificação, Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL. Lei n. 12.305, 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. Publicado no Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2 ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Guia para elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos. MMA/ Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano – SRHU. Brasília, 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 375, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil. Publicado no Diário Oficial da União n. 136, Brasília, 17 jul. 2002.

BRITO, J.; BRAVO, M.; MÁLIA, M. Indicadores de resíduos de construção e demolição para construção residenciais novas. Ambiente Construído, vol. 11, p. 117-130. 2011.

CUNHA, G. N. M.; LIMA, F. M. R. S. A formação de mercado de agregados reciclados na Indústria da Construção Civil. In: Jornada de Iniciação Científica, 19. Anais... Rio de Janeiro: UFRJ, 2010.

GUERRA, J. S. Gestão de resíduos da construção civil em obras de edificações. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2009.

GUSMÃO, A. D. Manual de Gestão dos Resíduos da Construção Civil. Recife: Gráfica Editora, 2008. 140 p.

MARIANO, L. S. Gerenciamento de resíduos da construção civil com reaproveitamento estrutural: estudo de caso de uma obra com 4.000 m<sup>2</sup>. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.