

CAPÍTULO

16

MATERIAIS SUBSTITUTIVOS (ALTERNATIVOS)

Adão Benvindo da Luz
Engenheiro de Minas pela UFPE, Doutor em
Engenharia Mineral pela USP
Prof. Visitante do Departamento de Geologia-UFRJ
Pesquisador Titular do CETEM/MCTI

Salvador Luiz Matos de Almeida
Engenheiro Metalurgista pela UFRJ, Doutor em
Engenharia Mineral pela USP
Pesquisador Titular do CETEM/MCTI

1. INTRODUÇÃO

O uso de agregados não convencionais ou alternativos se justifica, no caso da exaustão dos agregados convencionais, principalmente os de natureza aluvionar, ou quando a exploração deste está provocando impactos ambientais, ou quando aumenta as distâncias das pedreiras ou portos de areia para o mercado consumidor, contribuindo para aumentar os custos de transporte dos agregados, para as regiões metropolitanas do País.

Neste contexto, já se inicia a reutilização de materiais, que até então se consideravam como resíduos industriais.

A busca no sentido de selecionar projetos, na área da construção civil, cada vez mais econômicos, faz com que a escolha recaia, na medida do possível, no uso de agregados locais disponíveis, embora nem sempre estes atendam a todas as especificações requeridas.

Por outro lado, ao recorrer a tais materiais, não deve, de forma alguma, comprometer a qualidade dos trabalhos que estão sendo conduzidos. Para tal, torna-se necessário que esses agregados alternativos sejam previamente e cuidadosamente caracterizados do ponto de vista geotécnico, petrográfico e mineralógico, para não comprometer as exigências técnicas requeridas pela construção civil (TOURENQ *et al.*, 2000).

Segundo ainda esses mesmos autores, alguns engenheiros tem se mostrado irredutíveis para usar agregados, cujas características podem não estar de acordo com os agregados convencionais ou padrões.

Os agregados alternativos são classificados em:

- natural – areia artificial ou areia de brita;
- subprodutos e resíduos industriais – escória de alto forno e de aciaria, resíduos da construção civil, estéril de mina;
- argila expandida;
- plásticos;
- borrachas.

2. RECICLAGEM DE RESÍDUOS INERTES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCD)

No ano de 2004, o Brasil produziu por volta de 68,5 milhões de toneladas de resíduos da construção civil-RCD. Dessas, 90% correspondem a fração mineral – concreto, argamassa, tijolos, telhas, cerâmica, rochas naturais, solos dentre outros. A disposição ilegal desses resíduos traz problemas ambientais, principalmente na malha urbana, tais como assoreamento de rios, entupimento de bueiros, esgotamento de áreas de aterro etc. No Brasil existem algumas usinas

de processamento de RCD, no entanto a quantidade reciclada é ainda insignificante frente ao volume produzido. Em alguns países europeus como Holanda, Alemanha e Dinamarca, o índice de reciclagem está entre 50 e 90% (ÂNGULO *et al.*, 2005).

Na reciclagem dos RCD, o concreto e a argamassa constituem as partes mais atrativas pelo valor econômico do produto obtido. O beneficiamento dos RCD usa as técnicas do tratamento de minérios e consistem, principalmente, de catação manual prévia para remover a fração não mineral (plástico, madeira, metais, amianto, gesso etc.), seguido de cominuição na qual predomina um único estágio em britador de impacto ou algumas vezes britador de mandíbulas e impacto; a seguir separação por tamanho através de peneiramento a seco. Nesta classificação poderão ser obtidos agregados graúdos, resultando em dois tipos de brita e agregados miúdos para uso como argamassa.

A norma ABNT 2004 recomenda que a fração mineral seja classificada, de forma visual, em resíduos de concreto e misto, muito embora as usinas de reciclagem de RCD do País não adotam essa forma de classificação.

Segundo Costa *et al.*, (2009), O CETEM, USP e UFAL estudaram a obtenção de agregados com densidade acima de $2,2 \text{ kg/dm}^3$ usando jigue, em escala piloto, no beneficiamento de amostras de RCD provenientes das cidades de S. Paulo, Macaé e Maceió. Os resultados obtidos mostraram que é possível a obtenção de britas com densidade acima de $2,2 \text{ kg/dm}^3$, através de separação densitária com jigue piloto, para os três resíduos estudados. Essa brita tem qualidade semelhante à brita natural para emprego em concretos com resistência de até 50 Mpa.

A brita (agregado graúdo) e areia (agregado miúdo) obtidas no beneficiamento de RCD devem ser caracterizadas de acordo com as normas ABNT. Podem ser usadas em concreto não estrutural, como sub-base de estradas, pavimentação de estradas vicinais, na urbanização de ruas de bairros populares ou como argamassa, no entanto a reciclagem de RCD no País ainda é insignificante, quando comparada com alguns países europeus.

3. AREIA ARTIFICIAL OU AREIA DE BRITA

As restrições ambientais à extração de areia em várzeas e leito de rios estão obrigando os mineradores de areia a migrarem para locais, cada vez mais distantes dos centros consumidores, contribuindo assim para onerar o produto, devido aos custos com transporte, que segundo a ANEPAC pode representar cerca de 75% do custo. As cidades de S. Paulo e Rio de Janeiro já são abastecidas por mineradores de areia a distâncias em média de 100 km de distância, aumentando muito o custo final da areia produzida.

Na produção de brita (1, 2 e 3) obtém-se a brita “0” (9,5 a 4,8 mm) e pó de pedra (<4,8 mm). A brita “0” e o pó de pedra tem aplicações marginais. Estes finos ao serem estocados nas pedreiras provocam impactos ambientais, principalmente com a formação de poeiras. Ao serem beneficiados podem substituir a areia natural, desde que algumas características sejam atendidas: distribuição granulométrica, forma e textura superficial adequadas, resistência mecânica, estabilidades das partículas e ausência de impurezas (ALMEIDA, 2005).

Segundo ainda esse mesmo autor, um outro fator que também deve ser atendido é o formato das partículas, que foi obtido pelo uso do britador de impacto vertical. Sabe-se que os finos de pó de pedra tem formato alongado e lamelar, no entanto para a utilização em concreto é requerido o formato cúbico arredondado, o qual é obtido por meio de britagem nesse tipo de equipamento. No estado de S. Paulo, no ano de 2002, 9% do mercado de areia vem da areia artificial ou areia de brita produzida a partir do pó de pedra.

O beneficiamento consiste na britagem do pó de pedra em britador VSI (vertical shaft impact) em circuito fechado com peneira com abertura de 2,4 mm. O produto da britagem é submetido a uma classificação em aro separador para remoção dos finos < 0,074 mm.

4. ESCÓRIAS SIDERÚRGICAS (LOEMCO, 2003; TOURENQ *et al.*, 2000)

A escória siderúrgica é considerada o principal subproduto da fabricação do ferro gusa e da aciaria. É resultante do processo de escorificação da carga no alto forno que reúne, na forma líquida, entre 1400 e 1500°C, o ferro gusa, os elementos de ganga, as adições básicas e ácidas, segundo a reação:

Hematita ou magnetita + coque ou carvão vegetal + fundentes \Rightarrow ferro gusa fundido + escória + pó + gás.

A escória pode ser lentamente resfriada em uma cava ao ar livre, onde o material cristalizado obtido tem a aparência e propriedades de uma rocha magmática. A escória obtida é uma massa de forma mais ou menos fraturada e tem uma estrutura porosa que depende muito das condições de resfriamento. Quanto mais lento for esse resfriamento da escória e na forma de finas camadas, essa será mais cristalizada e compacta. As propriedades físicas e mecânicas dependem, principalmente, da sua porosidade.

A escória após britagem e classificação pode ser usada na indústria de cimento *Portland*, como base e sub-base de estradas, asfalto, lastro de ferrovia, concreto não estrutural, condicionamento de solos, aterro etc. Chamamos a atenção que essas escórias siderúrgicas devem ser previamente caracterizadas, para avaliar a presença de metais pesados ou outros elementos que possam provocar impactos ambientais quando do seu uso.

É inegável que a indústria siderúrgica é um segmento industrial que provoca impactos ambientais, que de certa forma são inerentes aos seus processos de produção. Cada vez mais, as regulamentações ambientais têm incentivado a pesquisa na busca de novas aplicações das escórias produzidas nos alto fornos e aciaria. Neste contexto, a caracterização física, química e de impactos ambientais das escórias se faz necessária, visando uma nova aplicação tecnológica.

No Brasil, no ano de 2003, foram produzidos 10,7 milhões de toneladas de escória de alto forno e de aciaria. Destas, 93% são usadas na indústria de cimento *Portland* e os 7% restantes vão para base e sub-base de estradas, concreto não estrutural, asfalto, agricultura, aterro etc. Nos demais países, o perfil de uso das escórias siderúrgicas é completamente diferente, onde apenas 47% das escórias produzidas são usadas na indústria de cimento *Portland* (www.ct.ufrgs.br/lasid.html)

5. ARGILAS EXPANDIDAS

A argila expandida se obtém pela calcinação, em fornos, a altas temperaturas (1000 a 1250 °C) de argilas previamente moídas e úmidas. São usadas há bastante tempo em concretos leves para vedação e com outras funções não estruturais (FRAZÃO, 2007).

Quando se dá a elevação da temperatura, ocorre a liberação de gases, que varia de acordo com o tipo de argila utilizada. A liberação desses gases provoca o aparecimento de poros milimétricos no interior do material calcinado, com o conseqüente endurecimento da massa. O processo resulta na produção de peças com estruturas porosas, com a superfície semivitrificada e de baixa densidade (FRAZÃO, 2007 & LOEMCO, 2003).

Para que ocorra a expansão, torna-se necessário que as matérias primas usadas atendam às seguintes condições:

- viscosidade favorável, um intervalo de temperatura bastante amplo para que o processo possa ocorrer industrialmente e que a temperatura seja economicamente rentável (em torno dos 1250°C).
- que ocorra a liberação dos gases na mesma faixa de temperatura, visto que tal liberação ocorre a uma temperatura mais baixa, a pressão desenvolvida pelo gás será insuficiente para deslocar uma pasta tão rígida, para a qual a porosidade permanecerá aberta e o gás poderá então escapar.

Há várias teorias atribuídas à expansão das argilas, sendo que a mais aceita, universalmente, considera como causa essencial para a sua expansão, a redução dos óxidos de ferro pela matéria orgânica, sem que possa ser excluída a presença de matéria de outra origem.

É muito difícil definir a composição química de uma argila selecionada para ser expandida. Na Tabela 1 é dado um exemplo de composição química de argila para ser expandida.

Tabela 1 – Limites de composição química para argilas expandidas.

Compostos	Valores mais frequentes (% peso)	Valores extremos (% peso)
SiO ₂	50 - 65	50 - 68
Al ₂ O ₃	16 - 20	13,7 - 24
Fe ₂ O ₃	5 - 9	4,8 - 14
CaO	1 - 4	0,2 - 4
MgO	1,5 - 3,5	-
Na ₂ O + K ₂ O	1,5 - 4,5	?
SO ₃	0 - 1,5	-
S	0 - 1,5	-
Perda ao fogo	6,8 com 1 - 3,5% de matéria orgânica	

Fonte: LOEMCO (2003)

Plástico

Os resíduos da indústria de plástico podem ser usados na fabricação de pré-fabricados leves.

Borracha

Os pneus depois de usados, ou seja, quando inservíveis, poderão ser triturados para serem usados em concreto e pavimentos. A recuperação consiste na simples trituração dos pneus e moagem dos resíduos a uma granulometria de pó fino. A borracha contida nos resíduos, na forma vulcanizada, não sofre modificação e não é separada dos demais compostos. Os pneus recuperados têm dois usos mais comuns:

- na mistura com asfalto para a pavimentação de vias e pátios de estacionamento. Da trituração, as partículas não maiores que 5 mm e com umidade de no máximo 2%, são misturadas ao asfalto na proporção de 1 a 3% em peso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, S. L. M. (2005). Areia artificial: uma alternativa para a construção civil. Comunicação técnica ao Congresso anual da ABM, realizado em Belo Horizonte, julho de 2005, CT2005-065-00-CETEM.
- ÂNGULO, S. C.; CHAVES, A. P.; JOHN, V. M.; ALMEIDA, S. L. M.; LIMA, F. M. R. S.; GOMES, P. C.(2005). Análise Comparativa da Tecnologia de Processamento na Reciclagem da Fração Mineral dos Resíduos de Construção e Demolição. Anais do XXI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Natal-RN, novembro de 2005.
- COSTA, L. S. N.; LIMA, F. M. R. S.; ALMEIDA, S. L. M. ANDRADE, M. C.; ÂNGULO, S. C.; FERREIRA, F. D.; CHAVES, A. P.; JOHN, V. M. (2009). Separação densitária de britas de resíduos de construção e demolição (RCD) por jigue. In: Anais do XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, vol. 2, p. 85-89, Gramado, RS. outubro de 2009.
- FRAZÃO, E. B., (2007). Tecnologia para a produção e utilização de agregados. In: Agregados para a construção civil no Brasil, Capítulo 1, p. 25-74. Marcos Bartasson Tannús e João César Cardoso do Carmo (organizadores), Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – MME, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC.
- LOEMCO - Laboratorio Oficial para Ensayos de Materiales de Construcción (2003). Áridos Especiales, In: Aridos - Manual de Prospeccion, Explotacion y Aplicaciones, Capítulo 19, p. 405-417, Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, 2003.
- TOURENQ, C.; Dupont, P.; Primel, L. (2000). Non conventional aggregates. In: Aggregates, Louis Primel, e Claude Tourenq (editors),p.143-153, 2010. www.ct.ufrgs.br/lasid.html (setembro de 2010).