

# COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MISTURAS DE AGREGADO RECICLADO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO PARA APLICAÇÃO EM OBRAS DESCONTÍNUAS DE PAVIMENTOS

**João Paulo Barbosa Carvalho**  
**Rosângela dos Santos Motta**  
**Liedi Légi Bariani Bernucci**

Universidade de São Paulo  
Escola Politécnica

## RESUMO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são gerados em grandes quantidades no mundo, especialmente em grandes centros urbanos, devido ao crescimento e desenvolvimento destas, sendo muitas vezes descartados sem beneficiamento ou de forma irregular no Brasil. Após serem reciclados, os RCD podem ser aplicados em grandes volumes na pavimentação viária. Cada vez mais são frequentes as intervenções no pavimento com a finalidade de manutenções de redes básicas de serviços, este processo apresenta entraves como alívio de tensões na abertura da vala, não reutilização do solo escavado ou compactação imprópria e esgotamento d'água. Tanto a experiência prática quanto as pesquisas, em geral, indicam melhoria de suas propriedades mecânicas quando o agregado reciclado é combinado com cal ou cimento. Esta pesquisa propõe a utilização de dois novos materiais nas obras descontínuas de pavimentos (reaterro de valas): agregado reciclado de RCD com cimento e com espuma de asfalto. Para tanto, serão avaliados em laboratório o comportamento físico e mecânico de ambos os materiais, de forma a verificar sua viabilidade técnica para aplicação em reaterros de valas.

## 1. PROPOSTA DE PESQUISA

Por meio do crescente desenvolvimento da urbanização, a indústria da construção contribui em grande parte com o impacto ambiental, gerando resíduos, dentre eles estão o resíduo de construção e demolição (RCD). Segundo a Resolução do CONAMA (2002), o RCD consiste em materiais oriundos de construção, demolição e reparos de obras civis, podendo ser constituído por diversos materiais inertes e/ou perigosos.

A geração de RCD está relacionado ao polo gerador, visto que fatores regionais e legislação locais interferem na quantidade e composição (Duan *et al*, 2015). No Brasil, a quantidade total de RCD coletado pelos municípios é de 0,600 kg/hab/dia, sendo que a região sudeste corresponde entorno de 52% da produção de resíduos (ABRELPE, 2016).

Este contexto revela a importância da reciclagem do RCD, visto que também há escassez dos agregados naturais e saturação dos aterros sanitários, bem como outras preocupações ambientais. Em países como Holanda, Reino Unido e Irlanda, por exemplo, a reciclagem de resíduos foi acelerada devido a três fatores principais: (i) escassez de materiais naturais; (ii) dificuldade de deposição de resíduos em aterros (falta de espaço); e (iii) medidas econômicas que promovem a reciclagem. Em contrapartida, países como Portugal, Espanha e Grécia apresentam baixas taxas de reciclagem, uma vez que apresentam abundância de agregados naturais de boa qualidade e falta de regulamentação (Vieira; Pereira, 2015).

As propriedades físico-mecânicas e químicas do RCD estão estritamente dependentes da origem do resíduo, técnicas de demolição e/ou construção e principalmente ao beneficiamento do resíduo nas usinas de reciclagem (Jiménez, 2013). Após ao beneficiamento o resíduo se torna agregado reciclado, geralmente sendo classificado em três tipos: (i) concreto ou cinza; (ii) vermelho (essencialmente cerâmico); e (iii) misto (Angulo, 2005).

Por outro lado, segundo o *ranking* de serviços em obras descontínuas em pavimentos, as

companhias de águas, gás, eletricidade e de trânsito da cidade de São Paulo (SABESP, COMGÁS, ELETROPAULO e CET) foram notificadas várias vezes pela prefeitura municipal por apresentarem serviços com defeitos ou inacabados. Segundo a SABESP (2018), a reposição de pavimento configura a oitava posição no *ranking*. As dificuldades encontradas no reaterro de valas são referentes ao alívio de tensões do solo durante a abertura da vala, esgotamento d'água (Godoy e Vasconcellos, 2013), espaço estreito de execução da compactação e compactação imprópria do material de enchimento (Ghataora *et al*, 2006). No caso do material de preenchimento ser o próprio solo retirado da vala podem frequentemente ocorrer tais problemas de compactação. Isto pode acarretar em irregularidades superficiais após o término da obra, com consequentes impactos aos usuários motorizados da via, além de ter efeito no comportamento mecânico do pavimento.

A fim de abranger as adversidades impostas na manutenção preventiva e corretiva das companhias de serviços básicos, aliada ao aproveitamento de resíduos de RCD, com melhoria de suas propriedades de resistência, o objetivo geral deste projeto de pesquisa é propor novos materiais de preenchimento para a aplicação em obras descontínuas de pavimentos, no caso misturas de agregado reciclado de RCD com cimento e com espuma de asfalto. Para tanto, serão analisados aspectos laboratoriais de caracterização física e mecânica dos materiais.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os RCDs são compostos por diversos materiais, principalmente por concreto e materiais cerâmicos. Tal heterogeneidade faz com que suas propriedades do agregado reciclado possam ser afetadas, apresentando baixa resistência mecânica e tenacidade, além de alta porosidade e absorção de água (Tam, 2009).

A variabilidade do RCD, no que tange à composição, está em função da qualidade dos materiais, tipologia das obras, fases da obra em que se tornam resíduos e na aplicação do gerenciamento de resíduos na construção (Viana Neto, 2018). O agregado reciclado puro, por si próprio, apresenta materiais residuais como o cimento anidro e portlandita, que aumentam a rigidez do material por meio de reações pozolânicas. A ativação dos finos do agregado reciclado é proveniente da cominuição e britagem do material, aumentando a superfície específica e acarretando a hidratação do aglomerante hidráulico (Silva, 2014).

As principais razões para a estabilização de materiais com cimento é atribuir melhor trabalhabilidade e aumentar a resistência, durabilidade e capacidade de distribuição de carga, sendo estes materiais considerados CTAMs -*Cement treated aggregate materials* (Xuan *et al*, 2012). Por outro lado, os materiais estabilizados com espuma de asfalto, também conhecidos como BSMs – *Bitumen Stabilized Mixtures*, proporcionam uma maior coesão entre as partículas e minimizam a susceptibilidade à umidade (Asphalt Academy, 2009), sendo considerados materiais ligados não continuamente. O mecanismo de cura dos materiais acarretam em melhor desempenho mecânico, devido ao fenômeno de auto cimentação (cimento) e evaporação da água (espuma de asfalto).

Diferentes tipos de materiais estabilizados têm sido estudados e aplicados como material de preenchimento em obras descontínuas de pavimentos. Dentre eles pode-se citar os granulares (Carrera *et al*, 2010), cinzas de carvão (Le *et al*, 2017), *Controlled Low-Strength Materials*<sup>1</sup>–

---

<sup>1</sup> CLSMs são materiais de construção fluidos e auto adensáveis que são utilizados em uma variedade de aplicações na engenharia civil.

CLSMs (Weidlich; Grajcar, 2017; Ling *et al*, 2018) e pneu triturado-areia (Terzi *et al*, 2015). No Brasil, os materiais de enchimento mais utilizados são solo escavado, brita graduada simples (BGS), concreto e areia (PMSP, 2004; SABESP, 2014). O agregado reciclado de RCD também já vem sendo usado (PMSP, 2004; SHW, 2016).

### **3. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS E MÉTODOS EMPREGADOS**

#### **3.1 Materiais**

Como mencionado anteriormente, nesta pesquisa serão propostos e estudados dois tipos de materiais para aplicação em reaterro de valas: (i) agregado reciclado de RCD com cimento; e (ii) agregado reciclado com espuma de asfalto.

O RCD empregado nessa pesquisa é oriundo da demolição do muro de concreto da raia olímpica da Universidade de São Paulo (USP), Campus Butantã. O resíduo foi beneficiado originando o agregado reciclado, que pode ser classificado como sendo de concreto (ou cinza).

Possivelmente o cimento a ser empregado deve ser do tipo CP-II, comumente utilizado no Brasil, na proporção de 3% em massa de agregado reciclado (com base em trabalhos realizados por Motta, 2005 e Beja, 2014). Já a espuma de asfalto deverá ser produzida com ligante asfáltico tipo CAP 50/70.

#### **3.2 Métodos**

O estudo inclui ensaios laboratoriais para caracterização física e mecânica dos materiais em questão. A caracterização física engloba os ensaios de granulometria, forma e porcentagem de finos. Os ensaios de caracterização mecânica consistem em módulo de resiliência e deformação permanente. Devido às dimensões do agregado reciclado (diâmetro máximo de 50 mm) e por se tratar de uma obra em que há dificuldade de compactação em campo, os ensaios laboratoriais serão realizados em corpos de prova de 40 x 80 cm. A compactação será feita por vibração.

Adicionalmente será feita uma análise do efeito da cura – aumento de resistência com o tempo – nas propriedades mecânicas dos materiais. Entretanto, estes testes serão realizados em corpo de prova de menores dimensões (15 x 30 cm), visando economia de materiais (cada corpo de prova de 40 cm x 80 cm consome cerca de 200 kg de material). A análise de ganho de resistência com o tempo será em quatro idades diferentes: 0, 7, 30 e 60 dias.

### **4. RESULTADOS ESPERADOS**

Esta pesquisa está associada a uma proposta que está sendo elaborada para uma concessionária de serviços da cidade de São Paulo. Pretende-se analisar, neste primeiro momento, as questões relativas aos materiais em si, inicialmente em âmbito laboratorial, verificando seu comportamento perante ensaios e especificações tradicionalmente usados em pavimentação. Em uma segunda fase, tais materiais serão indicados para aplicação em campo, onde serão acompanhadas e levantadas as questões relativas à obra, ao acabamento dos serviços e à condição do pavimento após abertura ao tráfego. Em suma, a partir do resultado da pesquisa aqui apresentada, almeja-se verificar a viabilidade técnica de materiais alternativos provenientes de agregado reciclado de RCD para aplicação em obras descontínuas de pavimentação.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a doação do material pela Prefeitura do Campus USP da Capital para a realização desta

pesquisa e ao CNPQ pelo financiamento da bolsa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO S. C. (2005) *Caracterização de agregados de resíduo de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concreto*. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 167 p.
- ASPHALT ACADEMY (2009) *Technical Guideline: Bitumen Stabilized Materials*, A guideline for design and construction of bitumen emulsion and foamed bitumen stabilized materials. Pretoria, South Africa.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (2016) *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo, 51 p.
- BEJA, I. A. (2014) *Agregado reciclado de construção e demolição com adição de aglomerantes hidráulicos como sub-base de pavimentos*. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 219 p.
- CARRERA, A. GRENFELL, J.; DAWSON, A.; PROCTOR, J. (2010). On site recycling of trench arisings for pavement reinstatement. *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. 11 p.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (2014) *PO SO0088: reaterro compactado e reposição de pavimento*. São Paulo, 8 p.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (2018) *Termo de referência*. São Paulo, 5 p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2002) *Resolução CONAMA n° 307*, de 5 de julho de 2002.
- DUAN, H.; WANG, J.; HUANG, Q. (2015) Encouraging the environmentally sound management of C&D waste in China: An integrative review and research agenda. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 43, p. 611-620.
- GHATAORA, G. S.; ALOBAIDI, I.; FARAGHER, E.; GRANT, S. (2006). Use of recycled aggregates for cementitious backfill. *Waste and Resource Management*. v. 159, p. 2
- GODOY E VASCONCELLOS, J. L. (2013). *Valas: abertura, escoramento provisório e esgotamento d'água*. Ed. Baraúna. São Paulo, 103 p.
- JIMÉNEZ, J. R. (2013) Recycled aggregates (RAs) for roads. In: TORRALBA, F. P.; TAM, V. W. T.; LABRINCHA, J. A.; DING, Y.; BRITO, J. (Org.). *Handbook of recycled concrete and demolition*. Philadelphia: Woodhead Publishing, p. 349-377.
- LE, H. M.; PARK, D. W. SEO, J. W.; SEO, W. J. (2017) Trench backfill material using plant coal ash. *World Conference*. 7 p.
- LING, T. C.; KALIYAVARADHAN, S. K.; POON, C. S. (2018) Global perspective on application of controlled low strength material (CLSM) for trench backfilling – an overview. *Construction and Building Materials*. v. 158. P. 535-548.
- MOTTA, R. S. (2005) *Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego*. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 135 p.
- VIANA NETO, L. A.; SALES, A. T.; SALES, L.C. (2018) Efeito da variabilidade de agregados de RCD sobre o desempenho mecânico do concreto de cimento Portland. *Matéria*. Rio de Janeiro, v. 23. n. 1.
- PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (2004) *PMSP IR 01: instrução de reparação de pavimentos flexíveis danificados por abertura de valas*. São Paulo, 14 p.
- SILVA, P. B. (2014) *Estabilização de misturas de resíduos sólidos de demolição e da indústria cerâmica para uso em camadas de pavimentos de vias*. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 172 p.
- SPECIFICATION FOR HIGHWAY WORKS (2016) *Series 800: road pavements – unbound, cement and other hydraulically bound mixtures*. England, 51 p.
- TAM, V. W. Y. (2009) Comparing the implementation of concrete recycling in the Australian and Japanese construction industries. *Journal of Cleaner Production*. vol. 17, p. 688-702.
- TERZI, N. U.; ERENSEN, C.; SELÇÜK, M. E. (2015) Geotechnical properties of tire sand mixtures as backfill for buried pipe installations. *Geomechanics and Engineering*. v. 9. n. 4. 19 p.
- VIEIRA, C. S.; PEREIRA, P. M. (2015) Use of recycled construction and demolition materials in geotechnical applications: A review. *Resources, Conservation and Recycling*. vol. 103, p. 192-204.
- XUAN, D. X.; HOUBEN, L. J. M.; MOLENAAR, A. A. A. SHUI, Z. H. (2012). Mechanical properties of cement-treated aggregate material – A review. *Materials and Design*. v. 33. p. 496-502.
- WEIDLICH, I.; GRAJCAR, M. (2017) Expected potential of bound and recycled backfill material in low temperature district heating networks. *International Scientific Conference Environment and Climate Technologies*. 7 p.