



PAVIMENTOS INTERTRAVADOS “PAVER” DE SOLO-CIMENTO COM USO DE RESÍDUO DE CONCRETO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO SOLO

Sandra Regina Bertocini¹, Alex Meneses da Silva², Caio Ricardo Bastos Prado³

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campus Universitário s/n° Campo Grande – MS, Brasil.

(1) Tel.: (5567) 3345.7479 e-mail bertocini@nin.ufms.br

(2) Tel.: (5567) 3361 3417 e-mail alexufms@hotmail.com

(3) Tel.: (5567) 3331 0846 e-mail caiorbprado@gmail.com

Palavras-chave - solo-cimento, resíduo de concreto, *paver*

RESUMO

O intuito de diminuir a sobrecarga da rede de escoamento pluvial, diminuir a impermeabilização do solo; a necessidade de redução dos custos de produtividade, e a constante preocupação com a sustentabilidade nos meios de produção exigem novos materiais e elementos construtivos que assegurem segurança e eficácia das vias com o mínimo de impacto ambiental. O presente artigo se destina a estudar o piso maciço de solo-cimento com substituição parcial de solo por resíduo de construção e demolição (RCD) nos teores de 6% e 15 %, sendo produzido ao final o elemento construtivo “paver” através de prensagem eletro-hidráulica. Para tal, foi realizado estudo de dosagem através do ensaio de compactação de Proctor e aplicação dos ensaios de compressão simples e de absorção de água nos corpos-de-prova “paver” de solo-cimento-RCD. Como conclusão, pode-se verificar que o resíduo RCD apresentou potencialidade de substituição ao solo, visto que houve o aumento significativo da resistência mecânica da mistura solo-cimento-RCD, o que remete a considerável atividade pozolânica existente neste resíduo. No que concerne à questão ambiental, o piso pode representar a redução do uso do solo e o aproveitamento de grande quantidade residual de materiais desperdiçados na construção civil, o que pode minimizar a extração de recursos naturais, bem como a promoção do ato da reciclagem desse volume desperdiçado.

1. INTRODUÇÃO

Nas atuais circunstâncias do mundo, em que as questões de proteção ao meio tomam conta de inúmeros simpósios e congressos internacionais, as soluções alternativas que freiam principalmente as indústrias poluidoras surgem ao passo da urgência em que elas envolvem.

Segundo dados do SNIC, em 2005, o Brasil esteve no 10° lugar do planeta em produção do agregado com 39,2 milhões de toneladas e um dos grandes problemas estão relacionados com a emissão de gases na queima para fabricação do cimento, uma vez que o clínquer – matéria-prima do pó – emite por tonelada 600 kg de CO₂ na atmosfera. O assunto relacionado atinge na deficiência ambiental que ele provoca e, o estudo que aproveita o uso da terra crua e devidamente preparada em conjunto ao cimento mostra a versatilidade que representa o bloco nas questões técnicas e arquitetônicas.

Grande parte do Resíduo de Construção e Demolição (RCD) tem sua origem a partir do descarte de resíduos materiais de uma obra ou blocos de concreto que foram confeccionados em empresas de artefatos e que não apresentaram suficiente resistência para manipulação. Portanto, no presente artigo, pode-se observar o comportamento deste resíduo em substituição do solo natural na composição de “paver” de solo-cimento com o intuito de verificar a potencialidade, físico-mecânico, do produto final para esta aplicação como pavimento intertravado.

2. O SOLO-CIMENTO E O RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO

2.1 O solo-cimento

O uso recente do solo-cimento, embora de antigo conhecimento, e suas peculiares características que batem de frente à construção civil tradicional e cética, vem provocando uma grande mobilidade por parte de engenheiros e arquitetos que essencialmente buscam através da inovação alertar os nocivos efeitos da poluição ao meio ambiente para a população num todo.

A ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) regulamentou e aplicou o uso do solo-cimento em 1936 com uma construção do aeroporto de Petrolina-PE, assim abrindo o leque de estudos sobre o mesmo.

O solo-cimento é fabricado de forma simples e de menor poluição ao meio ambiente, já que não precisa de mão de obra especializada para a operação das prensas, nem da convencional queima do bloco, como o caso do composto originado da argila. Ele possui amplas vantagens no aspecto visual, não há necessidade do emboço e rebocos; de resistência mecânica, geralmente de valor maior ou superior; de desperdício, pode-se reutilizar do bloco perdido na prensagem; e também há a garantia um canteiro de obras mais limpo e menos acumulo de entulhos (Souza, 2006).

A estabilização do solo com o agente aglomerante cimento varia entre os teores de 5% a 13% da massa de solo (Pitta, 1986), e se obtém através de uma mistura de solo+cimento+água, com umidade ótima obtida em ensaio de compactação de Proctor. Também é determinado à umidade ótima empiricamente através de teste táctil onde se retira parte do material com a mão, comprime e divide-se ao meio sem esforço e em seguida soltando a meia parte à cerca de 1m de altura do chão, conhecido como “teste do bolo”.

2.2 O resíduo de construção e demolição

O Art. 2º Resolução CONAMA 307, adota como resíduos da construção civil aqueles “provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e 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”

E ainda os classifica pela capacidade de reciclagem, sendo nomeados de Classe A, tais como aqueles:

- ”a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, 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;”

Os resíduos gerados pela construção civil (Pinto, 1999) mostram que dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados diariamente na cidade de Santo André-SP no ano de 1996, 32,57% dele era proveniente do lixo domiciliar e 57,59% de RCD. E que nos EUA (Donovan, 1991), por exemplo, um estudo mostrou que das 320 mil toneladas anuais de RSU, 300 mil toneladas saíam dos RCDs.

Em relação aos blocos de solo-cimento-RCD, Souza (2006) constatou que a incorporação de resíduos de concreto, nos tijolos de solo-cimento, apresentou melhorias nas propriedades de resistência e absorção do solo-cimento, obtendo-se resultados melhores que os estipulados nas normas brasileiras, ocasionando a redução do consumo de cimento na confecção dos tijolos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se, para esse experimento, um solo localizado no terreno da própria Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, onde se caracterizou pelos ensaios conforme as normas: NBR 7181; NBR 7180; NBR 7220; e NBR 7182.

Para dosagem do piso de solo-cimento utilizou-se um traço referência de 1:10 (cimento: solo). Portanto, foi adotado para a estabilização do solo o teor de 10% de cimento (CPII F32 marca Cauê), em massa.

Quanto ao estudo de dosagem do composto solo-cimento-RCD, realizou-se a substituição parcial da massa de solo pelos teores de 6% e 15% de RCD.

3.1 Preparação do solo

Retirado da jazida, o solo foi peneirado em peneira com abertura 2,8 mm e seco ao ar livre em formas metálicas. Depois de preparado, o solo foi armazenado em tonel de aço forrado com um saco plástico e tampado para evitar contato com a umidade.

3.2 Preparação do RCD

O material advém da empresa de artefatos La J Lucas, sendo proveniente da moagem de peças danificadas na empresa como manilhas, blocos de concreto, “pavers” entre outros. O RCD é processado dentro da própria indústria, num moedor tipo martelo e estocado ao ar livre em contato com o solo e exposto a chuva (figura 1). Durante a coleta foi retirada apenas a camada seca no amontoado de RCD e armazenado num saco plástico fechado no laboratório.



Figura 1 – Máquina para moer o RCD

Para caracterização do RCD, o material foi disposto em forma metálica na estufa elétrica por 24h para secagem, depois armazenado na mesma forma coberta para evitar umidade. Foram realizados os seguintes ensaios: NBR 7217, NBR 9776; NBR 7215; NBR 7219

3.3 Preparação / dosagem do solo-cimento-RCD

A prensa da empresa Eco-Máquinas (figura 2) foi adaptada da confecção de blocos para pisos de solo-cimento (250 mm x125 mm x76 mm) com os traços apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Composição dos três traços realizados

		Compostos		
		Solo-cimento	Solo-cimento- 6% RCD	Solo-cimento-15%RCD
Massa dos materiais (kg)	Solo	60	56,4	51
	Cimento	6	6	6
	RCD	-	3,6	9



Figura 2 – Prensa eletro-hidráulica

Depois de prensados, os pisos foram retirados da máquina, colocados sobre uma mesa forrada com plástico e o excesso de material foi retirado com ajuda de um pincel macio para não danificá-los.

A cura foi realizada em presença constante de água até dois dias após a moldagem para os “pavers” ganhasse resistência para transporte. Os mesmos foram embalados na própria fábrica com plástico-bolha e colocado em caixas forradas com partículas de isopor para evitar choques.

No Laboratório de Materiais de Construção Civil – UFMS, foi realizado o ensaio de compressão simples NBR 8492, com 14 e 35 dias de idade, usando duas placas circulares de aço de diâmetro de 90 mm, sendo capeados com argamassa 1:1 (cimento:areia) a face superior e a inferior para garantir a distribuição uniforme da carga (figura 3). Antes do rompimento, os corpos-de-prova foram imersos em água durante 24 h.



Figura 3 – Ensaio de resistência à compressão

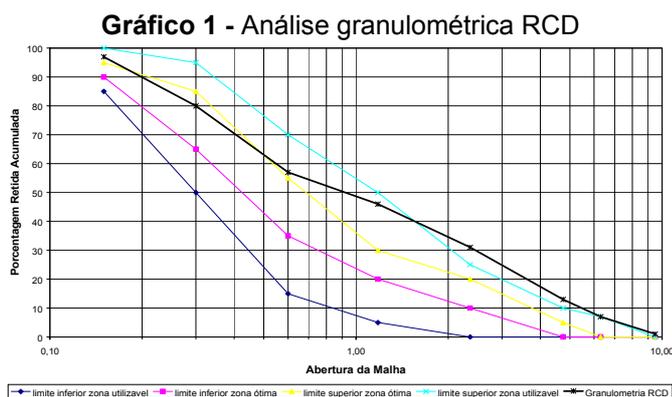
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O solo atende às especificações de uso para o solo-cimento, conforme Pitta (1985), a qual recomenda que 100% dos grãos do solo estejam passando na peneira 4,8 mm e de 10 a 50% passando na peneira 0,075 mm; limite de liquidez menor ou igual a 45% e índice de plasticidade menor ou igual a 18%. Através do ensaio de plasticidade, observou-se que o solo não apresenta tal característica, pois a amostra reteve muita água e houve a formação de uma pasta de solo coesa e homogênea no centro da cápsula. Porém, apresentou quantidade de argila suficiente para que haja coesão das partículas na confecção do produto final. A partir dos resultados da granulometria (tabela 2) e dos índices de plasticidade, (não-plástico), o solo foi classificado como sendo: arenoso segundo classificação da Bureau of Public Roads.

Tabela 2 – Análise granulométrica do solo

Composição	Teor (%)
Areia grossa	0
Areia média	31
Areia fina	46
Silte	19
Argila	4

Através da análise granulométrica do RCD verificou-se que o resíduo possui características de um solo não fino, e que se enquadra nas entre o limite superior da zona ótima e limite superior da zona utilizável (gráfico 1).



Para o ensaio de compactação Proctor, onde as umidades ótimas para a confecção dos “pavers” e ensaios de compressão foram determinados (tabela 3), encontraram-se os valores:

Tabela 3 – Resultados de ensaio de compactação Proctor

Material / Mistura	Massa específica aparente seca máxima (g/cm ³)	Umidade ótima (%)
Solo natural	2,000	8,5
Solo-cimento	2,041	7,5
Solo-cimento - 6%RCD	2,007	10,0
Solo-cimento - 15%RCD	2,008	10,0

As tabelas 4 e 5 apresentam os resultados dos ensaios realizados com RCD.

Tabela 4 - Índices Físicos de RCD

Massa unitária (g/cm ³)	2,70
Massa específica (g/cm ³)	1,57

Tabela 5 – Substâncias nocivas no RCD

Teor de materiais pulverulentos (%)	5,2 ⁽¹⁾
Impurezas orgânicas	Mais clara

Limites máximos – segundo a NBR 7211/2005.

⁽¹⁾ concreto submetido a desgastes superficial $\leq 3,0\%$ e protegidos ao desgaste $\leq 5,0\%$;

⁽²⁾ A solução obtida no ensaio deve ser mais clara que a cor padrão.

Durante a confecção dos pavimentos observou-se que aqueles confeccionados com RCD eram visivelmente mais claros que “pavers” de solo-cimento, sendo que os mesmos clareavam conforme o aumento do teor de RCD incorporados nos tratamentos (figura 4). Tal

observação pode ser explicada pelo fato dos grãos do resíduo apresentarem, em sua maioria, componentes cimentantes.



Figura 4 – Aspecto dos pisos com RCD

As tabelas 6 e 7 representam a absorção para 35 dias e a resistência a compressão simples dos pisos de solo-cimento, solo-cimento-RCD de proporção de 6% e 15%, respectivamente:

Tabela 6 – Absorção de água

Matérias/misturas	Absorção (%)
Cimento-solo	8,35
Solo-cimento - 6%RCD	10,32
Solo-cimento - 15%RCD	10,58

Tabela 7 – Resistência à compressão

14 DIAS		35 DIAS	
Cimento-solo			
	Resistência à compressão (MPa)		Resistência à compressão (MPa)
Média	1,30	Média	2,20
Desvio Padrão	0,06	Desvio Padrão	0,23
Coef. de Variação	0,08	Coef. de Variação	0,32
Cimento-solo-RCD(6%)			
Média	1,63	Média	2,23
Desvio Padrão	0	Desvio Padrão	0,17
Coef. de Variação	0,40	Coef. de Variação	0,79
Cimento-solo-RCD (15%)			
Média	2,34	Média	2,95
Desvio Padrão	0,25	Desvio Padrão	0
Coef. de Variação	0,36	Coef. de Variação	0,47

Comparando o tratamento dos pisos com a idade de 14 dias, observa-se que houve um aumento gradativo da resistência conforme o aumento do teor de RCD. Já no tratamento de 35 dias, todos os traços apresentaram um aumento de resistência mecânica, porém um aumento significativo foi observado nos pisos de solo-cimento e solo-cimento-15% RCD.

Acredita-se que para o piso com teor de 15% de resíduo, o material esteja em processo de estabilização e que apresenta pozolanicidade, ou seja, como o teor de massa é maior nesta mistura, existe uma tendência de reação do RCD ao cimento maior com o aumento do teor de substituição.

5. CONCLUSÕES

O resíduo de concreto apresenta características pozolânicas, pois os traços de cimento-solo com o resíduo em maiores proporções apresentam maior resistência à compressão aos 14 dias de cura em comparação com o traço de referência. Logo, houve diferença na composição dos traços.

O ensaio de compactação Proctor mostrou um valor de umidade ótima para o composto cimento-solo abaixo do valor do solo natural, o que mostra um comportamento de que a mistura não correspondeu com o agregado provocando essa variação, quando que normalmente o valor da umidade ótima se eleva com o acréscimo do cimento, pois este apresenta uma peculiaridade de exigir da mistura maiores valores para adição de água.

Pode-se verificar que o resíduo RCD apresentou potencialidade de substituição ao solo, visto que houve o aumento significativo da resistência mecânica da mistura solo-cimento-RCD, o que remete a considerável atividade pozolânica existente neste resíduo.

No que concerne à questão ambiental, o “paver” pode representar a redução do uso do solo e o aproveitamento de grande quantidade residual de materiais desperdiçados na construção civil, o que pode minimizar a extração de recursos naturais, bem como a promoção do ato da reciclagem desse volume desperdiçado.

A metodologia de ensaio recomendada pela NBR 9780 (ABNT 1987), que determina uma resistência à compressão simples de 35 MPa não foi atendida, porém o intuito dos “pavers” é para pisos de calçadas para pedestres (praças), onde não é necessário um valor que, por norma, é recomendado a cargas veiculares.

Mesmo com essas circunstâncias, o valor da resistência aumentou, isso propicia um estudo mais detalhado podendo reduzir a proporção cimento-solo, com a finalidade de avaliar as condições de resistências e a que níveis estes podem chegar em comparação aos blocos de concreto.

BIBLIOGRAFIA

CONAMA - RESOLUÇÃO Nº 307, de cinco de Julho de 2002.

DONOVAN, C.T. Construction and demolition waste processing: new solutions to an old problem. Resource Recycling. Portland, p.146-55, aug. 1991.

NBR 7180 – Solo – Determinação do limite de plasticidade. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; Rio de Janeiro, 1984.

NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; Rio de Janeiro, 1984.

NBR 7182 - Solo - Ensaio de compactação. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; Rio de Janeiro, 1986.

NBR 7217 - Determinação da Composição Granulométrica . Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; Rio de Janeiro, 1987.

NBR 7219 - Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos . Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; Rio de Janeiro, 1983.

NBR 7220 – Agregados - Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo – Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; Rio de Janeiro, 1987d.

NBR 7251 - Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; Rio de Janeiro, 1982.

NBR 8492 - Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; Rio de Janeiro, 1984.

NBR 9776 – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; Rio de Janeiro, 1987

NBR 9780 - Peças de Concreto para Pavimentação: Determinação da Resistência à Compressão. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; Rio de Janeiro, 1987.

PINTO, T de P Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

PITTA, Márcio Rocha Controle e fiscalização de obras de solo melhorado com cimento. São Paulo: ABCP, 1985

PITTA, Márcio Rocha Dosagem das misturas de solo-cimento. Normas de dosagem e métodos de ensaio. São Paulo: ABCP, 1986)

SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, 2007)

de SOUZA, M. I. B. Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento; 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Ilha Solteira, 2006, 116p.

AUTORES

Sandra Regina Bertocini, graduada em Tecnologia em Construção Civil pela Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal, mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina e técnica do laboratório de materiais de construção civil da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Atua principalmente nos seguintes temas: concreto, resistência, areia artificial, resíduos sólidos, concretos coloridos e solo-cimento.

Alex Meneses da Silva, graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Caio Ricardo Bastos Prado, graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.