

ESTUDO DO USO DE AGREGADO RECICLADO MISTO (ARM) EM MISTURAS SOLO-AGREGADO

Monigleicia Alcalde Orioli
Ana Paula Furlan
André Lapa de Moraes Tavares
João Domingos Pereira Filho
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Os resíduos construção e demolição (RCD) podem ser reciclados e reutilizados como material em camadas de bases e sub-bases de pavimentos, apresentando desempenhos mecânico e hidráulico adequados quando comparados aos agregados naturais. Este artigo apresenta um estudo da viabilidade do uso do agregado reciclado misto (ARM) em misturas solo-agregado. Para isso, foram realizadas as caracterizações física do ARM e mecânica de uma mistura composta exclusivamente por ARM e de duas misturas solo-ARM. Com base nos resultados, pode-se concluir que: o ARM apresenta características físicas e comportamento mecânico adequados para uso em camadas de base e sub-base de pavimentos, a substituição parcial ou total da fração fina do ARM por solo aumenta a massa específica seca máxima e a resistência a compressão das misturas solo-ARM, e a resistência da mistura ARM continuam aumentando ao longo do tempo (~35% aos 7 dias), devido à hidratação de cimento anidro proveniente dos materiais cimentícios.

ABSTRACT

Construction and demolition waste (CDW) may be recycled and reused as pavement material, presenting adequate mechanical and hydraulic performances when compared to natural aggregates. This paper presents a feasibility study on recycled mixed aggregate (RMA) in soil-aggregates mixtures. For this, the physical and mechanical characterizations were performed on one mixture composed entirely by RMA and two soil-RMA mixtures. Results demonstrate that: RMA mixture presents satisfactory physical characteristics and mechanical behavior for use in base and sub-base layers of pavements, partial or total replacement of the RMA fine fraction by soil increases the maximum specific density and the compressive strength of soil-RMA mixtures, and compressive strength of RMA mixture continues increasing over time (~35% for 7 days) due to the hydration of anhydrous cement from cementitious materials.

1. INTRODUÇÃO

A estabilização de solos é uma técnica usada em pavimentação com o objetivo de tornar solos e outros materiais aceitáveis para determinado uso. A estabilização granulométrica consiste na combinação entre materiais de diferentes dimensões, onde materiais grossos, finos e solos são misturados em quantidades adequadas, resultando em um produto de melhores características mecânicas e hidráulicas e maior resistência à erosão. Uma mistura estabilizada granulometricamente comumente utilizada em sub-bases e bases de pavimentos são as misturas solo-agregado.

O aproveitamento de materiais e o uso de materiais alternativos vêm crescendo em pavimentação. Um exemplo disso é o uso de agregados reciclados de resíduos sólidos de construção civil e de demolição utilizados para substituir agregados naturais. Estes agregados podem ser empregados em reforço do subleito, base e sub-base de pavimentos de vias urbanas, desde que atendam às especificações da norma NBR 15114 (ABNT, 2004).

Este artigo apresenta um estudo da viabilidade do uso do ARM em misturas do tipo solo-agregado como material geotécnico em camadas de bases e sub-bases de pavimentos. Para isso, foram realizadas a caracterização física do ARM e a caracterização mecânica de uma mistura

composta exclusivamente por ARM e de misturas solo-ARM, em dois diferentes teores de solo. Como os agregados reciclados são materiais menos rígidos que os convencionais, foram também estudadas a degradação do ARM após a compactação e as propriedades autocimentação do material por meio de ensaios mecânicos ao longo do tempo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A construção civil gera grande quantidade de resíduos de diversas naturezas. Os resíduos sólidos de construção são materiais oriundos de obras civis como construções, reformas, reparos e demolições, assim como de preparação e de escavação de terrenos. Esses resíduos contêm materiais de boa qualidade como blocos, concreto em geral, solos e rochas; ou, de não tão adequada qualidade como, por exemplo, tijolos, gessos, telhas, plásticos, tubulação.

A norma brasileira NBR 15114 (2004) especifica procedimentos para construção de camadas de pavimentos com agregados reciclados de construção e demolição. De acordo com essa norma, os agregados reciclados são materiais granulares resultantes do beneficiamento de resíduos de construção ou demolição de obras civis, que apresentam características técnicas para a aplicação em obras de edificação e infraestrutura.

Os agregados reciclados (AR) de resíduos de construção e demolição (RCD) podem ser classificados como: mistos e de concreto. Os agregados reciclados de concreto (ARC) são aqueles obtidos do beneficiamento de resíduo pertencente à classe A, compostos na sua fração gráuda de, no mínimo, 90% em massa de fragmentos à base de cimento Portland e rochas. Os agregados reciclados mistos (ARM) são também obtidos do beneficiamento de resíduo de classe A, mas são compostos na sua fração gráuda de menos de 90% em massa de materiais cimentícios e rochas.

É essencial conhecer as características do agregado reciclado, porque mudanças em sua composição (percentual de concreto e/ou de cerâmica) impactam fortemente em características e propriedades do material. De modo geral, observa-se que a peculiar alta porosidade dos agregados reciclados aumenta a absorção de água e reduz a resistência do material.

A alta absorção de água do agregado reciclado é também uma consequência da natureza dos materiais que o compõe, por exemplo, em agregados cerâmicos, altamente porosos, a absorção de água é maior que em agregados de concreto. Essa característica modifica o comportamento desses materiais quando compactados, elevando a umidade ótima, que no caso dos agregados cerâmicos, deve ser ainda maior que para os agregados de concreto (Motta 2005, Cardoso *et al.*, 2016).

Nos AR, a capacidade de absorção de água está diretamente relacionada à ocorrência de poros e, portanto, menor densidade. A menor densidade do material reflete em reduções na resistência do material e na massa específica seca máxima do material compactado. Nesse sentido, muitos pesquisadores têm encontrado menores valores de abrasão Los Angeles dos agregados reciclados e de massa específica seca máxima (Leite *et al.*, 2011, Barbudo *et al.*, 2012, Cardoso *et al.*, 2016).

O problema da baixa resistência ao atrito dos AR tem motivado o estudo da degradação após a compactação. As pesquisas de Molenaar *et al.*, (2002), Motta (2005) e Grubba (2009), por exemplo, mostraram que a curva granulométrica do AR muda após a compactação; com a

quebra de certas frações do AR, a curva se desloca para a esquerda, ou seja, o material se torna mais fino.

A degradação dos AR também é intrínseca à natureza do material. Leite *et al.*, (2011) mostraram que, após a compactação, os agregados de concreto apresentam predomínio de grão cúbicos, enquanto que os materiais cerâmicos, de grão lamelares.

É preocupante a maior suscetibilidade à quebra dos grãos lamelares, porque é possível que o entrosamento e a resistência sejam prejudicados pela forma do agregado. Por outro lado, a degradação pode ser uma vantagem em AR com predominância de agregados de concreto, porque há exposição de cimento anidro que, com a hidratação, aumenta a resistência ao longo tempo, como demonstrado por Arm (2001), Grubba (2005) e Poon e Chan (2006).

Na especificação para uso de agregados reciclados em camadas de pavimentos de baixo volume de tráfego (ABNT NBR 15114, 2004), o CBR é o principal parâmetro de projeto. Poon e Chan (2006) explicam que o CBR do ARM é menor do que o do agregado reciclado de concreto, que por sua vez é menor que o de agregados naturais.

Motta (2005) pesquisou em laboratório o comportamento mecânico de misturas com ARM *in natura* e com adição de ligantes hidráulicos e encontrou resultados muito promissores. O CBR da mistura ARM foi de 80%. Com o tempo de cura, houve incrementos importantes da propriedade, sendo que o CBR aos 30 dias foi de 95%, aos 90 dias foi de 120%, e aos 180 dias foi de 125%.

Sousa (2011) estudou misturas ARC e solo-ARC e verificou que essas misturas são viáveis, de acordo com as recomendações da NBR 15115. Complementarmente, o autor observou um aumento na resistência a compressão, na resistência a tração e no módulo de resiliência ao longo do tempo. Na mistura com ARM, o ganho de propriedade foi atribuído à cimentação, já na mistura solo-ARC, o bom comportamento mecânico foi atribuído pelos efeitos combinados de cimentação do ARC e pela coesão proporcionada pelo solo.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os corpos de prova deste programa experimental foram produzidos tentando satisfazer uma faixa granulométrica de misturas solo-agregado, com uma mistura composta totalmente por ARM, utilizando-se as frações: Pedra 1, Pedrisco e Areia. Duas outras misturas foram testadas, uma em que a fração fina foi composta parcialmente por solo, e uma outra que teve a fração fina composta totalmente por solo. Ao todo, 3 misturas foram dosadas, a saber:

- (1) mistura com ARM, composta exclusivamente por ARM.
- (2) mistura solo- ARM, composta por 15% de solo e 85% de ARM.
- (3) mistura solo- ARM, composta por 45% de solo e 55% de ARM.

Para a definição dos parâmetros de dosagem e de projeto, foram realizados os ensaios de compactação Proctor e de CBR (com medidas de expansão). Já para a caracterização mecânica e estudo da auto-cimentação, em diferentes tempos de cura foram realizados ensaios de resistência à compressão simples (RCS) com 0, 7 e 28 dias de cura.

3.1. Materiais

O ARM foi fornecido pela Usina de Reciclagem de Construção Civil AMX, localizada na Cidade de São Carlos-SP, em três frações granulométricas: Pedra 1, Pedrisco e Areia.

O solo utilizado nas misturas foi coletado no km 152+500m da Rodovia Luis Augusto de Oliveira (SP-215), em região próxima a cidade de São Carlos-SP.

3.2. Métodos

A caracterização física do agregado reciclado está intimamente relacionada com a resistência que este apresentará quando submetido ao tráfego. Assim, as características físicas do material, tem grande importância para o estudo da sua aplicação em camadas de pavimentos. Nesta pesquisa a caracterização dos agregados foi realizada com base nos ensaios de: a) distribuição granulométrica, NBR 7181 (ABNT, 1984a), b) natureza dos materiais constituintes, c) Densidade aparente e absorção (DNER-ME 081/1998b), d) abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/1998a), e) Forma do agregado, NBR 7809 (ABNT, 2006). Além das especificações recomendadas pela NBR 15114 (ABNT, 2004) para uso do agregado reciclado.

O solo foi classificado de acordo com a classificação tradicional, HRB (Highway Research Board), por meio dos ensaios de análise granulométrica, NBR 7181 (ABNT, 1994a), limite de liquidez, DNER-ME 122 (1994c) e limite de plasticidade, DNER-ME 082 (1994b), e conforme a metodologia MCT.

Para analisar os parâmetros de projeto dos materiais, foram realizados os ensaios de compactação e CBR/expansão.

Uma vez que a norma de agregados reciclados não preconiza faixas granulométricas, na composição de agregados reciclados, as três frações granulométricas do agregado reciclado foram proporcionadas de maneira que a mistura se enquadrasse na faixa C da norma DNER ES 303 (1997).

A composição da primeira mistura solo-agregado reciclado foi feita tentando-se aproveitar ao máximo a mistura ARM e mantendo a mistura dentro de uma faixa granulométrica. A segunda mistura foi dosada visando manter a quantidade de finos da primeira mistura de solo-ARM, sendo toda a fração fina composta por solo.

Os ensaios de compactação do ARM e das misturas solo-ARM, foram realizados de acordo com a norma NBR 7182 (ABNT, 1984b) “Solo-Ensaio de compactação”, a fim, de determinar os valores de massa específica seca máxima e umidade ótima. Foi utilizada a energia intermediária, pois é a recomendada pela norma para uso em camadas de base e sub-base.

O ensaio de CBR foi realizado como recomenda a norma DNER-ME 049 (1994^a), simultaneamente aos ensaios de compactação. Após a compactação, os corpos de prova foram imersos em água por um período de quatro dias, ao longo dos quais foram medidas a expansão dos materiais. A penetração foi realizada por uma prensa de capacidade de 5000 kgf e velocidade de penetração controlada de 1,27 mm/mim.

A fim de entender sobre a degradação do ARM e se há cimentação do material ao longo do tempo de cura, devido à presença e/ou exposição de materiais cimentícios durante a compactação, foram realizados os ensaios de degradação e RCS até 28 dias de cura, sendo moldados três corpos de prova a serem rompidos em cada data.

Para avaliar a degradação do agregado reciclado, realizou-se o peneiramento antes e após a compactação Proctor. As amostras foram produzidas na condição de umidade ótima e massa específica seca máxima, sendo utilizadas duas réplicas no peneiramento após compactação.

Os ensaios de RCS foram realizados de acordo com o prescrito pela norma DNER-ME 201 (1994b), para misturas solo cimento. Os corpos de prova foram rompidos em uma prensa capacidade de 1000 kgf e velocidade de penetração controlada de 1,27 mm/min.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização física e dosagem dos materiais

As três frações granulométricas de ARM: Pedra 1, Pedrisco e Areia, são apresentadas na Figura 1.

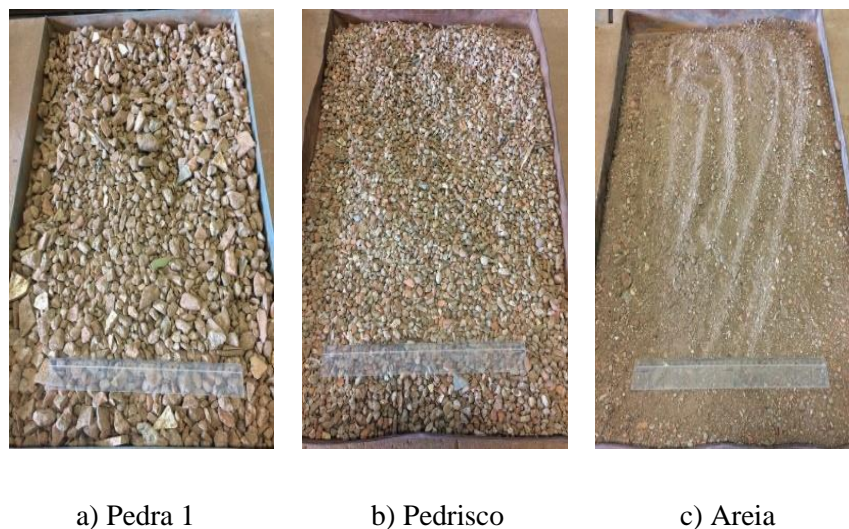


Figura 1: Agregado reciclado em diferentes granulometrias.

A distribuição granulométrica obtida para as três frações de ARM: Pedra 1, Pedrisco e Areia, são apresentadas na Figura 2, onde é possível observar que as frações Pedra 1 e Pedrisco apresentam-se praticamente paralelas e há uma lacuna entre as curvas Pedrisco e Areia. Essas particularidades podem dificultar o processo de proporcionamento e as misturas podem resultar em faixas descontínuas.

A partir das três frações de ARM, a mistura composta exclusivamente por agregado reciclado misto é composta de 1/3 de cada fração granulométrica. Na Figura 3, é apresentada a curva de obtida. Ressalta-se que a descontinuidade da mistura ARM na peneira 9,52 mm. Essa lacuna da fração intermediária das pode dificultar o entrosamento das partículas durante o processo de compactação.

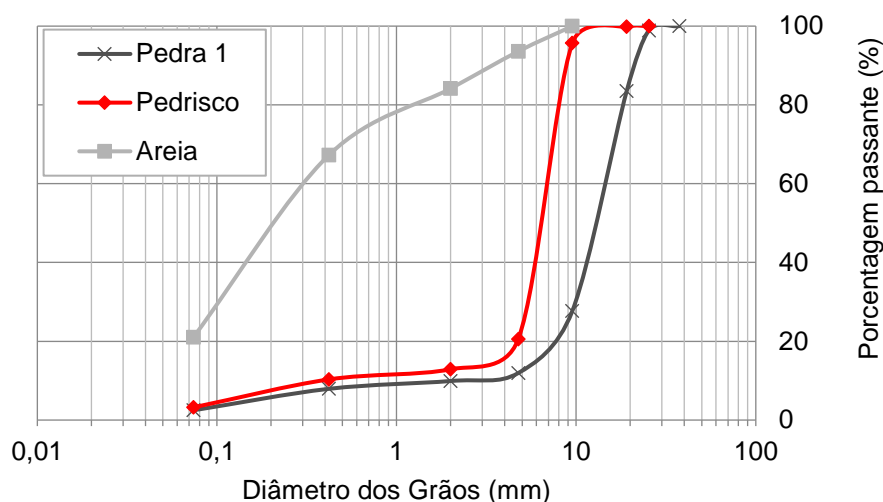


Figura 2: Curva granulométrica das frações do ARM.

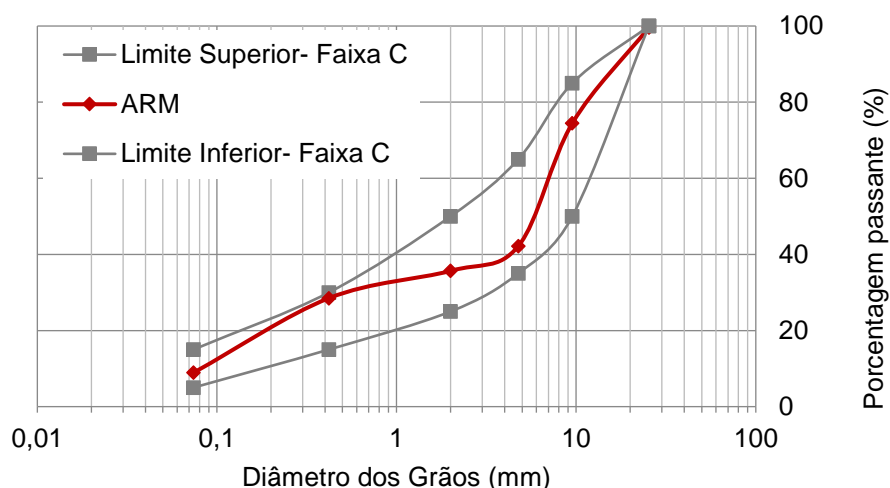


Figura 3: Distribuição granulométrica da mistura ARM.

Os resultados das características recomendadas pela norma ABNT 15115/2004, obtidas a partir da curva de ARM, ensaio de forma dos grãos e da composição dos agregados, são apresentados na Tabela 1. De modo geral, observa-se que o agregado reciclado atente as especificações da norma NBR 15115/2004.

Quanto à composição do ARM, pode-se notar que aproximadamente 70% do agregado reciclado é composto por concreto/argamassa e brita, materiais que no geral, apresentam boa resistência. A porcentagem de concreto (53%) pode contribuir para cimentação do material, devido a exposição de cimento anidro, exposto durante a compactação.

Na Tabela 2, é apresentado um resumo das características físicas do ARM no que se refere à abrasão Los Angeles, e à densidade aparente e à absorção do agregado graúdo. A título de comparação são apresentadas também as características físicas do agregado reciclado de concreto (ARC) e do agregado natural, encontradas por Grubba (2009).

Tabela 1: Características do agregado reciclado.

Composição*	ARM	
Concreto/argamassa (%)	53	
Telhas/tijolos (%)	28	
Cerâmica/azulejo (%)	10	
Rochas (%)	18	
Características	NBR 15115	
Dimensão máxima (mm)	25,4	63,5
Passante na peneira # 0,42 mm (%)	28	10 a 40
Coefficiente de uniformidade	87	>10
Grãos lamelares* (%)	25	<30
Materiais indesejáveis* (%)	1	2 a 3

*Análise da fração graúda do ARM (material retido na peneira com abertura 4,76 mm).

Tabela 2: Resumo da caracterização física do agregado reciclado.

Características	ARM	ARC	AN
Abrasão Los Angeles (%)	51	35	19
Densidade aparente do agregado graúdo (g/cm ³)	2,075	2,403	2,783
Absorção do agregado graúdo (%)	9,7	4,6	2,2

Analisando-se a tabela 2, no que se refere à abrasão Los Angeles, constata-se que o agregado reciclado apresentou um desgaste de 51%, que é um valor elevado se comparados aos encontrados por Grubba (2009) para o ARC e para o agregado natural. Quando analisado pela norma DNER-ES 303 (1997) o material o agregado atende ao limite que é de 55%.

Analisando-se a densidade aparente do agregado graúdo, verifica-se que a densidade do ARM é de 2,075 g/cm³, valor inferior aos geralmente encontrados para o ARC e os agregados naturais, como encontrado na literatura.

No tocante à absorção de água, verifica-se que o valor encontrado para o ARM é de 9,7 %, um valor muito próximo dos encontrados por Motta (2005) e Leite (2007), que obtiveram respectivamente os valores de 7,8 % e 12,2 % para o ARM da cidade de São Paulo. Este valor de absorção é maior do que o encontrado para o ARC de Grubba (2009) e do agregado natural.

O solo utilizado apresentou as características mostradas na tabela 3. A partir desses valores, o solo foi classificado de acordo com a HRB como um solo A-2-6. A caracterização e classificação concordam com as obtidas por Kakuda (2010) e Sousa (2011), permitindo concluir que se trata do mesmo solo, cuja classificação foi LA', ou seja, é um solo arenoso laterítico.

Tabela 3: Resumo da caracterização física do solo.

Características	Resultados
Limite de liquidez	32
Limite de Plasticidade	18
Índice de Plasticidade	14
%Passante na #200	30

A distribuição granulométrica das misturas de solo-AR, estão ilustradas na figura 4. A primeira contém 15% de solo e a segunda mistura 45% de solo. Ambas estão enquadradas na faixa D. Observa-se que as duas misturas possuem curvas granulométrica parecidas, lembrando que a mistura com 15% de solo tem uma parcela de Areia de ARM em sua composição, enquanto a mistura com 45% de solo tem a fração fina composta exclusivamente por solo.

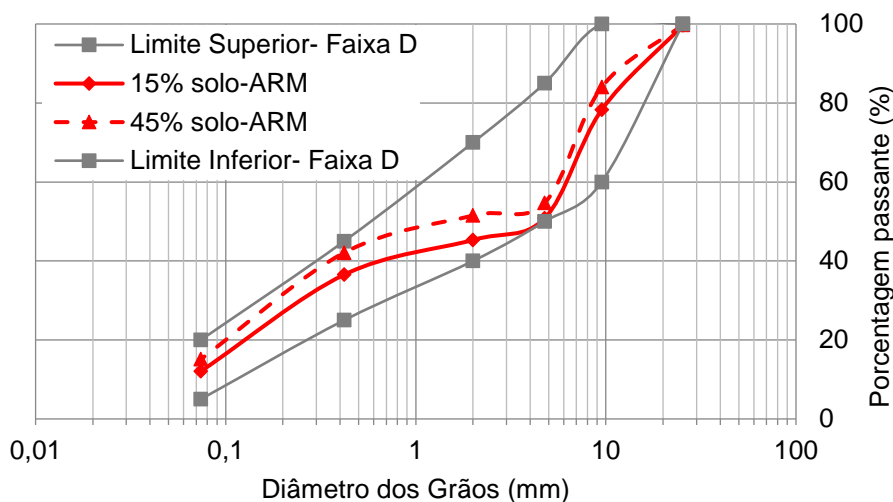


Figura 4: Distribuição granulométrica das misturas solo-AR.

4.2. Ensaios de compactação

Os resultados dos ensaios de compactação do ARM e das misturas solo-ARM são apresentados na Figura 5. Nela se observa que a massa específica aparente seca máxima ($\rho_{d\text{máx}}$) da mistura ARM foi de $1,782 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima ($w_{\text{ótima}}$) de 12,6%.

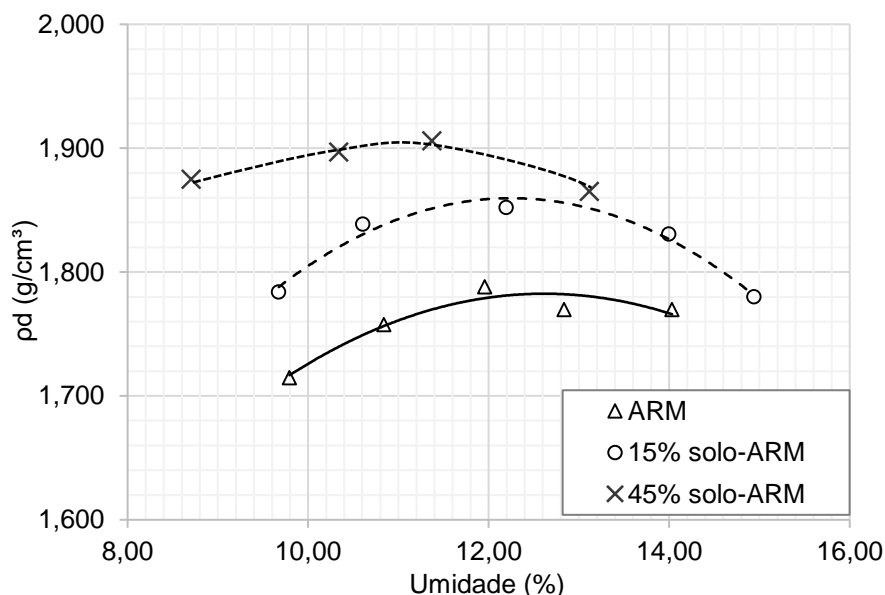


Figura 5: Ensaio de compactação dos materiais.

Com a adição de 15% de solo, foram obtidos nos ensaios de compactação os valores de $1,860 \text{ g/cm}^3$ e 12,6 % para $\rho_{d\text{máx}}$ e $w_{\text{ótima}}$, assim, houve um aumento de $0,078 \text{ g/cm}^3$ na $\rho_{d\text{máx}}$ e uma

redução de 0,4 % (em valor absoluto) na umidade ótima. Já para a mistura 45% solo-ARM, os valores obtidos foram de 1,904 g/cm³ e 11%, sendo o aumento na $p_{d\text{máx}}$ de 0,122 g/cm³ e a redução na $W_{\text{ótima}}$ de 1,6 % (em valor absoluto), em relação a mistura composta exclusivamente por ARM.

Isso mostra que a adição de solo provocou um aumento da $p_{d\text{máx}}$, esse aumento foi atribuído ao preenchimento dos vazios da mistura pelo solo. A redução da $W_{\text{ótima}}$ pode ser explicada pela menor absorção de água pelo solo do que pelo ARM.

4.3. Ensaios de CBR e expansão

Os ensaios de CBR e expansão do agregado reciclado foram realizados de acordo com a norma DNER-ME 049 (1994). Sendo os valores recomendados pela NBR 15115 apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Propriedades mecânicas e de expansão.

	CBR (%)	Expansão (%)
Camada de reforço (Energia Normal ou superior)	≥ 12	$\leq 1,0$
Camada de subbase (Energia Intermediária)	≥ 20	$\leq 1,0$
Camada de base (Energia Intermediária)	≥ 60	$\leq 0,5$

Os resultados obtidos para os valores de CBR do agregado reciclado são apresentados na Figura 6. A linha tracejada indica o CBR mínimo para o material ser utilizado em camadas de base de pavimentos de baixo volume de tráfego.

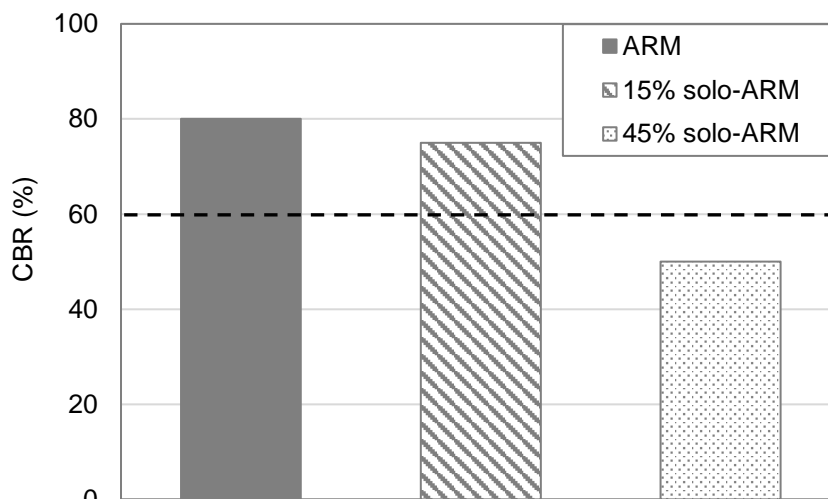


Figura 6: CBR dos materiais.

A partir da Figura 6, pode-se observar que o valor de CBR do ARM é de 80%. Enquanto para a mistura 15% solo-ARM é de 75% e para a mistura 45% solo-ARM é 50%. Isso mostra que a adição de solo, provoca uma redução no valor do CBR. A expansão de todas as misturas foi nula, atendendo ao recomendado pela norma que é, no máximo, de 0,5% para camada de base, e de 1% para camada de sub-base.

Isso mostra a importância da escolha do solo para as misturas solo-agregado. Solos de qualidade ruim podem reduzir muito o CBR das misturas, tornando-as inviáveis. Nesta pesquisa, por se tratar de um solo de boa qualidade, as misturas não sofreram redução drástica nos valores de CBR.

Diante dos valores obtidos de CBR e expansão, verifica-se que o ARM e a mistura 15% solo-ARM têm desempenho adequado para ser utilizado em camadas de base de pavimentos urbanos. Já a mistura 45% solo-ARM pode ser utilizada em camadas de sub-base, acordo com a norma ABNT 15115/2004.

4.4. Ensaios de degradação

A análise da degradação do agregado reciclado consistiu da comparação das curvas granulométricas antes e depois da compactação. As curvas granulométricas são apresentadas na Figura 7, a curva após compactação foi obtida por meio da média do peneiramento de duas amostras.

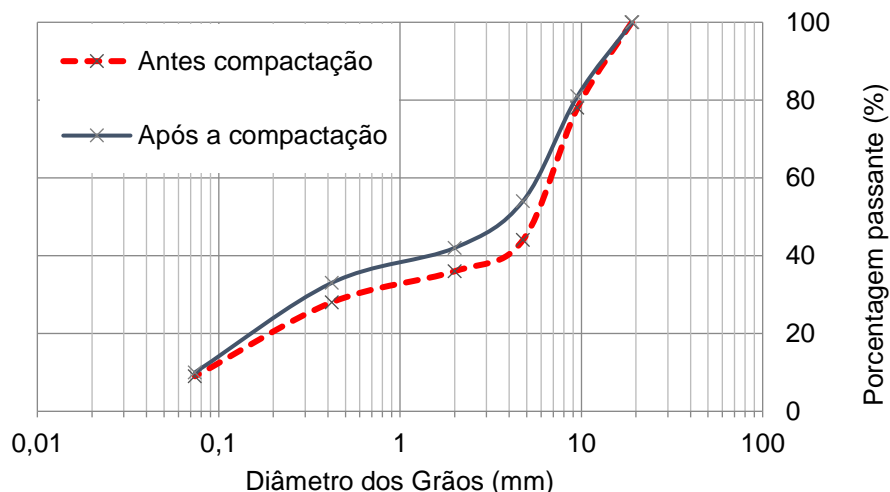


Figura 7: Degradação do ARM.

Os resultados indicam que ocorreu degradação do ARM. Observa-se que a variação da porcentagem passante nas peneiras com abertura de 9,52 mm e de 0,074 mm foi praticamente nula. A maior variação da porcentagem passante ocorreu nas peneiras de 4,76 mm, 2,00 mm e 0,42 mm.

4.5. Cimentação do ARM

Como se verificou degradação do ARM após a compactação, os ensaios de RCS foram realizados para verificar se ocorre cimentação ao longo do tempo. Os resultados obtidos no ensaio de compressão simples ao longo do tempo para a mistura ARM são apresentados na Figura 8. Os valores estão em termos médios, o coeficiente de variação do ensaio foi em torno de 10 a 13%. Os ensaios foram realizados até os 28 dias de cura.

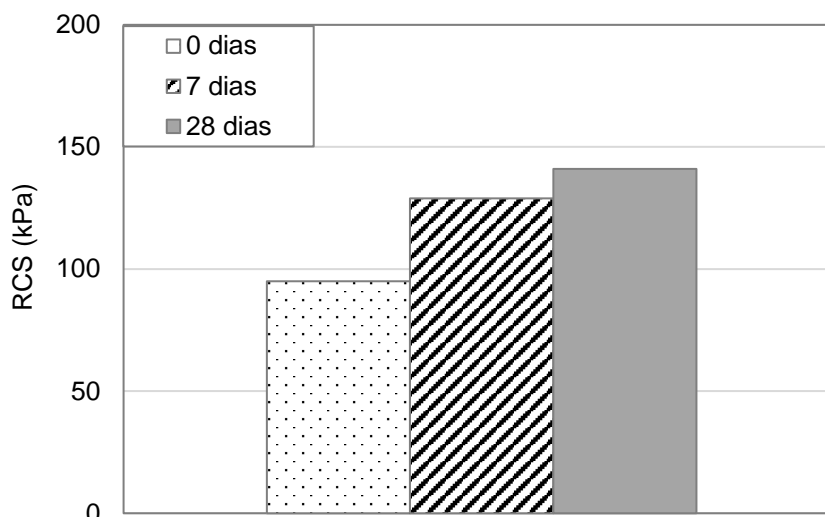


Figura 8: RCS do ARM ao longo do tempo.

Analisando-se os resultados apresentados, observa-se que há uma tendência de aumento de resistência nos primeiros 7 dias de cura, sendo obtidos os valores de 95 kPa para 0 dias e 129 kPa aos 7 dias de cura. O aumento em termos percentuais foi de 36%. Dos 7 aos 28 dias de cura, o ganho de resistência tende a se estabilizar. Este aumento pode estar relacionado à cimentação devida à uma parte de cimento não hidratado exposta pela quebra de grãos de concreto durante a compactação do material.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa mostra mais uma vez que o uso de agregado reciclado na construção de pavimentos é viável, proporcionando melhorias ambientais devido à reutilização dos entulhos da construção civil, por meio de um processo de reaproveitamento dos resíduos de construção e demolição.

Os resultados obtidos mostram que o ARM e a mistura 15% solo-ARM pode ser utilizado em camadas de base e a mistura 45% solo-ARM em sub-base de pavimentos, pois as características físicas e de comportamento mecânico, atendem ao recomendado pela norma da ABNT 15115/2004.

Apesar da redução no valor do CBR, a presença de solo nas misturas solo-ARM apresenta vantagens relacionadas a facilidade de produção e à melhora da trabalhabilidade, proporcionadas pelo solo e o preenchimento dos vazios da mistura pelo solo durante o processo de compactação.

Observa-se ainda que o material apresenta uma degradação significativa, que contribui para a exposição de partículas de cimento não hidratado, que pode gerar aumento de resistência mecânica principalmente até os 7 dias de cura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. (1984a) NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- ABNT. (1984b) NBR 7182: Solo- Ensaio de compactação. Rio de Janeiro.

- ABNT. (2004) NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos de construção civil- Execução de camadas de pavimentação- Procedimentos- Rio de Janeiro.
- ABNT. (2006) NBR 7809: Agregados graúdo- Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro- Método de ensaio- Rio de Janeiro.
- Agrela, F.; Barbudo, A.; Ramírez, A.; Ayuso, J.; Carvajal, M. D.; Jiménez, J. R. (2012) Construction of road sections using mixed recycled aggregates treated with cement in Malaga, Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 58, p. 98– 106.
- Barbudo A.; Agrela F.; Ayuso J.; Jiménez J. R.; Poon C. S. (2012) Statistical analysis of recycled aggregates derived from different sources for sub-base applications. *Construction and Building Materials*, v.28, p. 129–38.
- Cardoso, R.; Silva, R.V., Brito, J., Dhir, R. (2016) Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. *Waste Management*, v.9, p. 131–145.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994a) DNER-ME 049/94. Solos- determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994b) DNER-ME 082/94. Solos- determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994c) DNER-ME 122/94. Solos- determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1997) DNER-ES 303/97. Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1998a) DNER-ME 035/98. Agregados- determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1998b) DNER-ME 081/98. Agregados- determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo. Rio de Janeiro.
- Grubba, D.C.R.P. (2009) Estudo do comportamento mecânico de um agregado reciclado de concreto para utilização em construção rodoviária. 138p. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Kakuda, F.M. (2010) A utilização de um equipamento de grandes dimensões na análise do comportamento mecânico de uma seção de pavimento sob carregamento cíclico. 262p. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Leite, F.C. (2007) Comportamento mecânico de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil em camadas de base e sub-base de pavimentos. 185p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Leite F. C.; Motta R. S.; Vasconcelos K. L, Bernucci. L. (2011) Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. *Construction and Building Materials*, v.25, p. 2972–2979.
- Molenaar, A. A. A.; van Niekerk A. A (2002) Effects of gradation, composition, and degree of compaction on the mechanical characteristics of recycled unbound materials. *Transportation Research Record*, v. 1787, p.338 73–82.
- Motta, R.S. (2005) Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego. 134p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- Poon, C.S.; Chan, D. (2006) Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base. *Construction and Building Materials*, v.20, p. 578–585.
- Sousa, W.F. (2011) Estudo sobre a aplicação de agregado reciclado de concreto em construção de pavimentos. 122p. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.