



ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE AGREGADO RECICLADO DE RCD EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO

**Siqueira, Mariana S. (1); Alexandre D. Gusmão (1); Béda Barkokébas Junior (1);
Fabiana P. Carneiro (1); Cristiane F. Nascimento (1)**

(1) AMBITEC - Grupo de Pesquisa em Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente – Escola Politécnica
– Universidade de Pernambuco: mss@upe.poli.br

RESUMO

Proposta: A construção civil é uma grande consumidora de recursos naturais e uma grande geradora de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) nos canteiros de obras. Essa geração, além de comprovar o alto índice de desperdício do setor, pode trazer vários problemas para a sociedade, já que muitas vezes os resíduos são depositados em locais inadequados, ocupando grandes espaços e propiciando o surgimento de doenças, interferindo assim na qualidade de vida da população. O objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade técnica do uso de agregados reciclados de RCD em obras de pavimentação. **Método de pesquisa/Abordagens:** Análise granulométrica com sedimentação, compactação, CBR e cisalhamento direto. **Resultados:** através dos ensaios realizados, constatou-se que os resíduos de construção, devidamente beneficiados, podem ser utilizados como base e sub-base de pavimentação, já que atenderam aos requisitos normativos (NBR 15116/2004), apresentando CBR em torno de 30% e, no ensaio de cisalhamento direto, ângulo ϕ em torno de 30°. **Contribuições/Originalidade:** comprovação da viabilidade técnica do uso de agregado reciclado de RCD em obras de pavimentação.

Palavras-chave: resíduos; construção; pavimentação.

ABSTRACT

Propose: The civil construction is a great consumer of natural resources and a great generating of Construction and Demolition Debris (RCD) in the seedbeds of workmanships. This generation, besides proving the high index of wastefulness of the sector, can bring some problems for the society, since many times the debris are deposited in inadequate places, occupying great spaces and propitiating the sprouting of illnesses, intervening the population's quality of life. The objective of this research was to analyze the viability technique of the recycled aggregate use of RCD in pavement workmanships. **Methods:** Grain sized analysis with sedimentation, compacting, CBR and direct shear. **Findings:** through the carried through assays, one evidenced that the construction debris, duly benefited, can be used as base and sub-base of pavement, since they had taken care of to the normative requirements (NBR 15116/2004), presenting CBR around 30% e, in the assay of direct shear, angle ϕ around 30°. **Originality/value:** evidence of the viability technique of the recycled aggregate use of RCD in pavement workmanships.

Keywords: debris, construction, pavement.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Resíduos de Construção Civil

Segundo a Resolução nº 307 do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente), resíduos da construção civil são 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.

Os resíduos são classificados, pela supracitada resolução, da seguinte forma:

Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados. Ex: solos provenientes de terraplanagem, componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, etc.), argamassa e concreto;

Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações. Ex: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, etc;

Classe C: resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação. Ex: Gesso;

Classe D: resíduos perigosos oriundos do processo de construção. Ex: tintas, solventes, óleos, etc.

Com relação ao gesso, por se tratar de um resíduo de classe C, representa um dos maiores problemas enfrentados pela construção civil. Como se trata de um resíduo para o qual ainda não existe tecnologia viável (técnica, ambiental e econômica) para sua reciclagem, ao entrar em contato com resíduos de outra classe, pode ocasionar a contaminação dos mesmos impossibilitando dessa forma sua reciclagem. Por conta disso, resíduos de materiais provenientes do gesso e/ou contaminados por ele devem ser destinados a locais apropriados, de acordo com normas específicas.

1.2 Beneficiamento do RCC

A geração de Resíduos da Construção Civil (RCC), na cidade do Recife, atinge uma média de 16 mil toneladas/mês (EMLURB, 2004). Por conta do seu grande volume, estes resíduos são depositados em locais inadequados (terrenos baldios, margens de rios, ruas, etc.) onde fica evidente a poluição ambiental e visual dos centros urbanos, sua presença propicia também o surgimento de vetores causadores de doenças, entre diversos outros inconvenientes. Por conta disso, em 2002, entrou em vigor a Resolução nº 307 do CONAMA, visando o gerenciamento adequado dos RCC.

A segregação dos resíduos é de suma importância, uma vez que separando os resíduos de acordo com seu tipo e classe, o potencial de reaproveitamento de cada um dos materiais será significativamente superior ao dos resíduos misturados. Em alguns casos, a contaminação de um resíduo por outro de características diferentes inviabiliza o reaproveitamento do material; é o caso do gesso, considerado um dos grandes vilões dos resíduos da construção civil, já que não apresenta tecnologias economicamente viáveis para sua reciclagem.

Para que isso não ocorra, são implantados dispositivos nos canteiros de obras, que facilitam a segregação dos resíduos pelos trabalhadores no próprio local de geração. Inicialmente, os resíduos classe B, ainda nos pavimentos, são depositados em bombonas plásticas com sacos de ráfia (Figura 1). No armazenamento final, interno ao canteiro, são construídas baías de coleta seletiva (Figura 2) que devem apresentar capacidade suficiente para atender ao volume de resíduos gerado no canteiro. Com relação aos resíduos classe A, para sua separação no pavimento, são feitas marcações no piso (Figura 1), garantindo assim maior organização, e seu armazenamento final no canteiro, deve ser feito nas caçambas estacionárias.

A redução da geração de resíduos nos canteiros se dá através do treinamento dos funcionários da empresa, assim como da adoção de medidas, procedimentos e materiais mais racionais. Porém, mesmo com a adoção de medidas de racionalização e redução da geração de resíduos, estes continuam sendo gerados, mas em escala menor. É nessa realidade que surge a necessidade de reaproveitamento dos RCC, seja através da reutilização ou da reciclagem. A reutilização, segundo o CONAMA, é o processo de reaplicação do resíduo sem transformação do mesmo. Isso é feito, por exemplo, em ajardinamento, aterros, isso porque o RCC se trata de um material altamente arenoso. No que diz respeito à reciclagem, o CONAMA a define como o processo de reaproveitamento de um resíduo após ter sido submetido a uma transformação. A produção de agregados para concreto produzidos a partir do RCC é um bom exemplo dessa aplicação.



Figura 1 Bombonas com sacos de rafia e marcação no piso para resíduos classe A



Figura 2 Baías de coleta seletiva



Figura 3 Estação de Reciclagem Pampulha, em Belo Horizonte



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4 Usina de beneficiamento de RCC Irmãos Preto, em São Paulo. (a) RCC armazenado; (b) britador dos resíduos; (c) resíduo britado; (d) blocos de agregado reciclado

O beneficiamento dos RCC se faz através da Trituração dos mesmos utilizando equipamentos específicos. As usinas de reciclagem fazem isso utilizando trituradores (de martelo, de mandíbulas, de bola, de impacto, entre outros), que diminuem a granulometria dos RCC. Essa redução dos grãos facilita o manuseio dos resíduos possibilitando sua utilização em diversos setores da construção civil, como por exemplo, na produção de blocos de concreto para a produção de unidades de habitação popular. Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas a Estação de Reciclagem Pampulha, de Belo Horizonte, assim como as etapas da reciclagem de RCC, respectivamente.

Em algumas situações, o produto produzido com o material reciclado chega a apresentar maior qualidade que aqueles produzidos com materiais convencionais. Segundo Carneiro (2005), dependendo das condições de moldagem dos blocos, eles apresentam maior resistência que o próprio tijolo além de terem um custo menor e apresentar a vantagem de diminuir os pactos ambientais.

2. OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo foi realizar uma análise da viabilidade técnica da utilização de agregados reciclados de RCC em obras de pavimentação.

2.1 Amostragem

As amostras dos resíduos utilizados neste estudo foram coletadas em dois canteiros de obras: um galpão na fase de demolição (obra 1), e um edifício residencial em construção na fase de alvenaria (obra 2). Elas foram submetidas a ensaios de granulometria por sedimentação, compactação, CBR e cisalhamento direto, determinando assim sua resistência. Esse estudo analisou os resultados obtidos de modo a verificar sua viabilidade técnica em obras de pavimentação.

Inicialmente as amostras foram devidamente beneficiadas, ou seja, passaram por uma seleção tática visual, desprezando os resíduos orgânicos, e em seguida pesadas. As Figuras 5 e 6 mostram a caracterização desses resíduos.



Figura 5 Caracterização da amostra da obra 1



Figura 6 Caracterização da amostra da obra 2

2.2 Granulometria por sedimentação

A análise granulométrica é usada para o reconhecimento do tamanho de grãos de um solo e consiste em 2 fases: o peneiramento e a sedimentação.

O peneiramento é feito passando 2 kg da amostra pela peneira nº 10 lavando em água corrente o material que ficou retido (o mais grosso). Do que passou, 10% da massa total (200 g) passam na peneira nº 200 e em seguida lavando a parte fina da amostra que ficou retida 100 g para a determinação da umidade, 100 g do que passou na peneira nº 10 são levados à estufa, onde permanecem durante 24 h, assim como os materiais que foram lavados.

Após as 24 h, calculada a umidade, são realizados outros peneiramentos. O material mais grosso passa pelas peneiras 2", 1½", 1", ¾", ¾", Nº 4 e Nº 10, obedecendo essa ordem. Já o mais fino, pelas seguintes peneiras e na seguinte ordem: Nº 16, Nº 30, Nº 40, Nº 50, Nº 100 e Nº 200. Os pesos retidos em cada peneira são pesados e anotados em uma planilha.

Para realizar a sedimentação são necessários 120 g de material que passou pela peneira nº 10 e deverá ser colocado em um becker de 250ml, onde é adicionado o defloculante (silicato de sódio). A mistura água destilada, solo e defloculante deve formar uma solução de 125ml, onde a concentração é de 18,8g

de sal por litro de solução, agita-se a mistura até que o material fique totalmente molhado, deixando-o em repouso por no mínimo 12h. (AZEVEDO et al, 2004). A mistura é colocada no aparelho dispersor (Figura 7), removendo-se com água destilada todo o material que tenha aderido ao becker e adiciona-se mais água. Dependendo do índice de plasticidade do solo (IP), o tempo de dispersão poderá ser de 5 (IP<5%), 10 (IP<20%) ou 15 minutos (IP>20%). Como o material trabalhado é muito arenoso não há plasticidade, logo seu tempo foi de 5 minutos. Depois de disperso transfere-se o material do becker para a proveta de 1000 ml, completando-a com água destilada até a marca de 1000ml (AZEVEDO et al, 2004).

A proveta é agitada durante um minuto, e sua boca é tampada com uma das mãos, para evitar que se perca o material em análise. Após o término da agitação, anota-se a hora exata do início da sedimentação, coloca-se a proveta na bancada e mergulha-se cuidadosamente o densímetro na suspensão e faz-se a leitura para 30seg, 1 min, 2min, 4min, 8min, 15min, 30min, 1h, 2h, 4h, 8h e 25h (AZEVEDO et al, 2004). A Figura 8 mostra o densímetro submerso em água destilada assim como material sendo sedimentado.



Figura 7 Aparelho dispersor



Figura 8 Proveta com densímetro

2.3 Ensaio de compactação

A compactação reduz os vazios existentes no solo através de esforços mecânicos ou manuais. Para realização deste ensaio, foram separados 6.000 g de material que passou na peneira nº 10, para cada ponto calculado, ou seja, cinco. Cada ponto possui uma umidade diferente de solo. No primeiro foram acrescentados 3% de água, mas como o material não compactou, foram acrescentados 6%. Nos pontos seguintes, foram acrescentados mais 3% de água, ou seja, 9%, 12%, 15% e 18%.

O molde é fixado à base metálica e ajusta-se o cilindro complementar apoiando o conjunto em uma base plana e firme. Foi utilizado um cilindro de 2 L, de peso 2.086 g e volume 5.405 cm³, já que o material é pedregulhoso, e acima dele é colocado um cilindro complementar. O material é colocado até 1/5 da altura do cilindro, onde é compactado utilizando um soquete de 4,5 kg e altura de queda 45,7 cm. Isso é feito em 5 camadas, com 12 golpes de soquete em cada uma. Cerca de 70 g de material é retirado para determinar a umidade. São 3 amostras para cada umidade utilizada; como são 5 pontos, ou seja, 5 umidades utilizadas, são 15 cápsulas.

Após a compactação, o cilindro complementar é retirado e a superfície superior da amostra compactada, no cilindro padrão, é rasada com uma régua biselada. O conjunto (solo úmido compactado + molde) é pesado e o valor anotado numa planilha. Esse procedimento se repete para cada ponto.

O ensaio de compactação tem por finalidade encontrar a umidade ótima que o material estudado deve ser submetido para realização dos ensaio de CBR e cisalhamento direto. Como o resíduo se trata de um material bastante arenoso, não há coesão, portanto, não há compactação. Na pesquisa utilizou-se a umidade de 12%, que se trata de uma umidade próxima da ótima e molda os corpos de prova de modo satisfatório. Por conta disso, essa estimativa não interfere nos resultados da pesquisa.

2.4 CBR

O CBR é a relação percentual entre a pressão necessária para fazer penetrar um pistão numa amostra de solo e a pressão para fazer penetrar o mesmo pistão, à mesma profundidade, numa amostra padrão de pedra britada. Ele determina uma relação carga-penetração de seção transversal circular de área igual a $19,35 \text{ cm}^2$ que atua em amostra de solo, compactada à umidade ótima e densidade máxima, com uma velocidade de carga de 0,05 polegadas por minuto, ou seja, 1,27 mm por minuto (BAPTISTA, 1976). Este ensaio é realizado para definir a resistência dos materiais granulares empregados nos serviços de pavimentação (SENÇO, 1997).



Figura 9 Cilindro com o extensômetro submerso

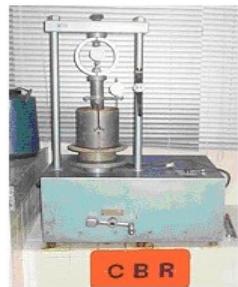


Figura 10 Prensa Califórnia

Para iniciá-lo é necessário um corpo de prova moldado com sua umidade ótima de acordo com o ensaio de compactação, explicado anteriormente. Do mesmo material, obtém-se a umidade do solo coletando duas amostras de aproximadamente 50 g. Estas são colocadas em cápsulas e levadas à estufa onde ficarão durante 24 horas. Um extensômetro é colocado sobre a haste ajustável do disco que está em cima do cilindro com resíduo compactado. O extensômetro é ajustado a leitura 0 (zero).

O cilindro com a amostra, o disco e o extensômetro são colocados dentro de um tanque com água cujo nível esteja aproximadamente na altura do bordo superior do molde segundo a Figura 9. Deixa-se o conjunto imerso durante 72 horas fazendo-se leituras do extensômetro a cada 24 horas. Como o resíduo trata-se de um material arenoso, as leituras continuaram zero, pois a areia não se expande como a argila.

Recomenda-se que o material da sub-base e base não deva ter uma expansão maior que 1%. A expansão do subleito não deve ser maior que 3% (BAPTISTA, 1976). Como não houve expansão nos ensaios, os resíduos que foram estudados nessa pesquisa seriam bons candidatos para serem usados em bases, sub-bases e subleitos.

Após as 72 horas, retira-se o cilindro e drena sua água durante 15 minutos. Em seguida, o cilindro é levado para a prensa Califórnia (Figura 10). Coloca-se uma carga de 10 libras (4,5 kgf) ou várias cargas cujo peso soma-se os 4,5 kgf. Estas cargas são circulares, com uma abertura circular no centro, onde penetra o pistão de seção circular, de área igual a 3 polegadas quadradas ($19,35 \text{ cm}^2$). Durante a penetração, a velocidade é de 0,05 polegadas por minuto ou 1,27 mm/min. Para controlar, um cronômetro fica em poder de um dos operadores (são necessários dois). O extensômetro, no início, é ajustado em zero e mede a penetração, sendo controlado pelo mesmo operador do cronômetro. O segundo operador maneja a prensa Califórnia, controlando as pressões em kgf/cm² ou lb/pol² correspondentes à penetração de 0,1", 0,2", 0,3", 0,4", 0,5" por intermédio do manômetro da prensa (BAPTISTA, 1976).

O Boletim do *Highway Research Board* sobre *Soil mechanics and soil stabilization* apresenta um gráfico (Figuras 11 e 12) em que as abscissas correspondem às penetrações em polegadas e as ordenadas aos valores da pressão em libras por polegadas quadradas, fornecendo os valores típicos do CBR para cada camada do pavimento (BAPTISTA, 1976).

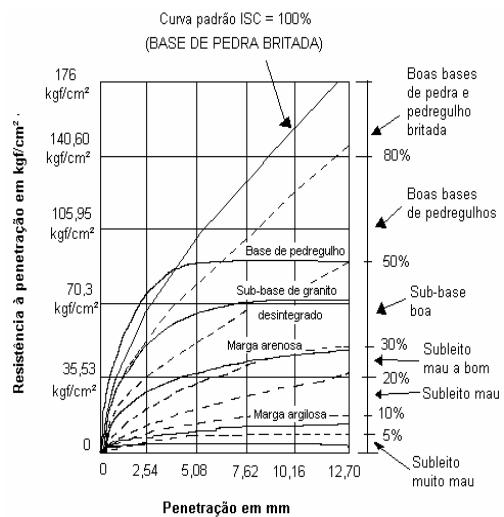


Figura 11 Valores típicos de CBR para cada camada de pavimento (subleito, sub-base, base) (BAPTISTA, 1976).

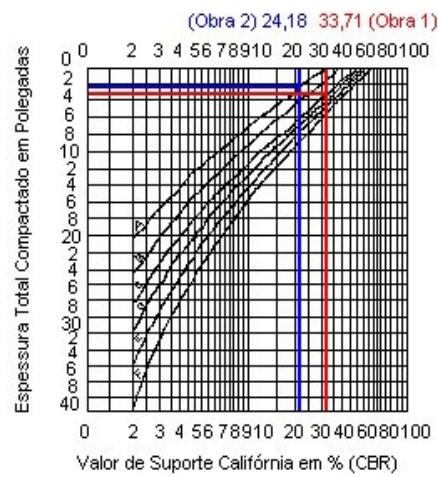


Figura 12 Gráfico empregado pelo Virginia Highway Department para determinação da espessura (BAPTISTA, 1974).

2.5 Cisalhamento direto

Este ensaio determina a resistência ao cisalhamento do solo que se deseja estudar. Através da equação de Coulomb ($\tau = c + \sigma' * \tan(\phi)$) observa-se que a resistência ao cisalhamento de um solo é diretamente proporcional e influenciada pela tensão efetiva aplicada à massa deste solo. Ela também é influenciada pela coesão do solo, ou seja, pelo coeficiente linear da equação de Coulomb, e pela tangente do ângulo de atrito interno do solo, ou seja, o coeficiente angular da equação de Coulomb (OLIVEIRA, 2003).

Ele consiste em determinar sob uma tensão normal σ , qual a tensão de cisalhamento $\tau = \tau_r$ capaz de provocar a ruptura de uma amostra de solo colocada dentro de uma caixa composta por duas partes deslocáveis entre si. Repetindo-se o ensaio para outros corpos de prova, obtém-se pares de valores (σ, τ), que marcados em um sistema cartesiano $\sigma \times \tau$ permitem determinar c e ϕ .

Para isso, passa o material pela peneira 3/4" e o umedece com a quantidade de água correspondente à umidade ótima (calculada no ensaio de compactação). Feito isso, compacta-se o material num cilindro de 1 L (Proctor Normal). Ela é feita em 5 camadas com 26 golpes em cada. Depois o cilindro é levado ao extrator de amostra.

Em seguida, são feitos corpos de prova utilizando um anel quadrangular de medidas 4" x 4". Após a montagem dos corpos de prova, monta-se cuidadosamente a caixa de cisalhamento (manter tanto os parafusos de separação, como de fixação, rosqueados até o fim). Coloca-se o solo na caixa de cisalhamento até o topo, pesa-se o conjunto amostra + caixa e coloca-se o conjunto na máquina.

Depois se coloca o bloco de carga sobre a amostra e fixa o extensômetro de deslocamento vertical (anotar a leitura). Aplica a carga normal desejada (incluir nela o peso do bloco de carga e do pendural), anota novamente. Os parafusos de fixação são removidos e separam-se as duas partes da caixa, através dos parafusos de separação; a abertura deve ser pouco maior (visualmente) que o maior grão de solo da amostra.

O extensômetro de medição de deslocamento vertical é colocado sobre o pendural e deve-se fazer a leitura; fixa-se o extensômetro de medição do deslocamento horizontal e fazer a leitura.

Inicia-se o carregamento horizontal (cisalhante), fazendo leituras no anel de carga e nos extensômetros dos deslocamentos vertical e horizontal. As leituras do extensômetro vertical e da deformação específica são feitas quando o extensômetro horizontal indicar as seguintes leituras: 0 mm; 0,20 mm;

0,40 mm; 0,60mm ; 0,80 mm; 1,00 mm; 1,50 mm; 2,00 mm; 2,50 mm; 3,00 mm; 3,50 mm; 4,00 mm; 4,50 mm; 5,00 mm; 6,00 mm; 7,00 mm; 8,00 mm; 9,00 mm; 10 mm.

Depois de serem feitas as leituras no extensômetro vertical, horizontal e da deformação específica, são determinados seus gráficos.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

O ensaio de granulometria por sedimentação constatou que em ambos os casos (obra 1 e obra 2), as partículas sedimentaram com uma alta velocidade. Isso confirma a natureza arenosa e pedregulhosa dos RCC. Os gráficos das Figuras 13 e 14 indicam que, em média, 50% do material classifica-se como pedregulho. Com relação à uniformidade dos grãos, o coeficiente de uniformidade (C_u) é obtido pela relação entre as porcentagens que passam nas peneiras nº 60 e nº 10. Na obra 1, obteve-se um C_u de aproximadamente 23%, já na obra 2, 20%. Em ambos os casos, foram atendidos os requisitos estabelecidos pela NBR15115: 2004 para materiais a serem usados para execução de reforço de subleito, sub-base e base de agregado reciclado, uma vez que os coeficientes de uniformidade obtidos foram maiores que 10 e a porcentagem passante na peneira nº 40 foram de 14, 75% e 13,55% respectivamente, ou seja, entre 10% e 40%.

Vale ressaltar que os valores estabelecidos são aproximados, pois durante o ensaio de granulometria por sedimentação não foi utilizada a peneira nº 60, e por conta disso se estima a porcentagem que passa na peneira nº 60 (aproximadamente 7%). Também foi verificado que as dimensões máximas características das amostras 1 e 2 foram de 19,1 mm, ou seja, inferior ao estabelecido pela NBR15115: 2004, que é de 63,5 mm.

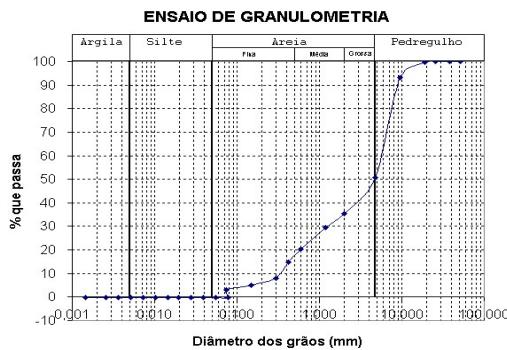


Figura 13 Curva granulométrica da Obra 1

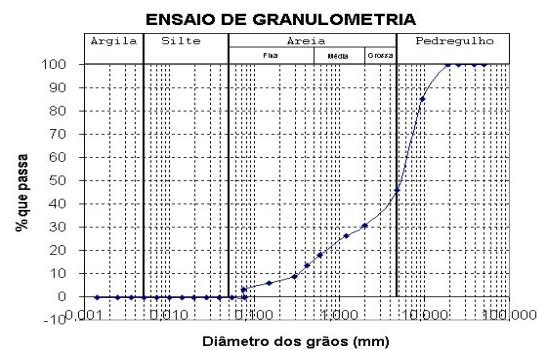


Figura 14 Curva granulométrica da Obra 2

No ensaio de CBR, as Figuras 15 e 16 apresentam os resultados encontrados. De acordo com os cálculos, para a amostra da obra 1 o CBR encontrado foi de 33,71%; na obra 2, de 24,18%. É importante salientar que em ambos os casos, de acordo com as normas da ABNT NBR 15115: 2004 e NBR 15116: 2004, estes resíduos podem ser utilizados como material para execução de:

- Reforço de subleito – exigido $CBR \geq 12\%$ e expansão $\leq 1,0\%$, devendo ser executado com energia de compactação normal;
- Revestimento primário e sub-base – exigido $CBR \geq 20\%$ e expansão $\leq 1,0\%$, devendo ser executados com energia de compactação intermediária.

De acordo com a Figura 12, para os valores de CBR encontrados de 33,71% e 24,18 %, levariam a uma espessura mínima para uma via com uma carga por roda de 6 000 lb, de 5,08 cm (2") e 7,62 cm (3") respectivamente. Porém, pela norma da ABNT NBR 15115: 2004, a espessura mínima de qualquer camada de base, sub-base ou reforço de subleito deve ser de no mínimo 10 cm e no máximo 20 cm. Assim, a espessura deverá ser de 10 cm.

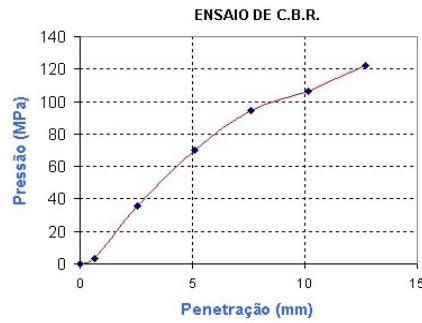


Figura 15 CBR da amostra da Obra 1

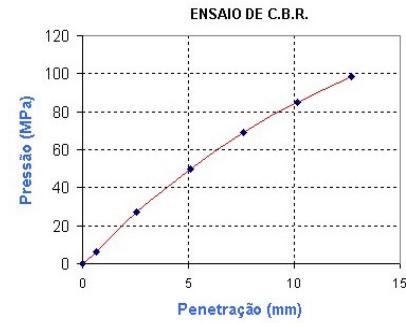


Figura 16 CBR da amostra da Obra 2

As Figuras 17 e 18 mostram as curvas de três corpos de prova submetidos à tensão normal de 50, 100 e 200 kPa, no ensaio de cisalhamento direto. Com os pontos mais altos dessas curvas, construíram-se mais dois gráficos (Figuras 19 e 20). Como pode ser visto, a equação da amostra da obra 1 é: $y = 0,659x$, ou seja, $\phi = 33,38^\circ$. Já a da obra 2 é: $y = 0,7124x$, ou seja, $\phi = 35,46^\circ$.

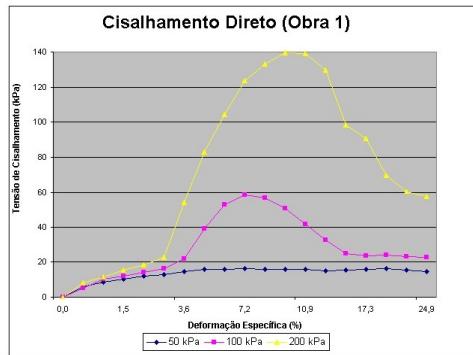


Figura 17 Gráfico da amostra da obra 1 dos três corpos de prova submetidos a diferentes pressões

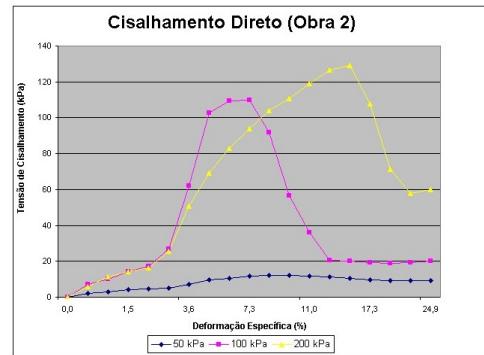


Figura 18 Gráfico da amostra da obra 2 dos três corpos de prova submetidos a diferentes pressões

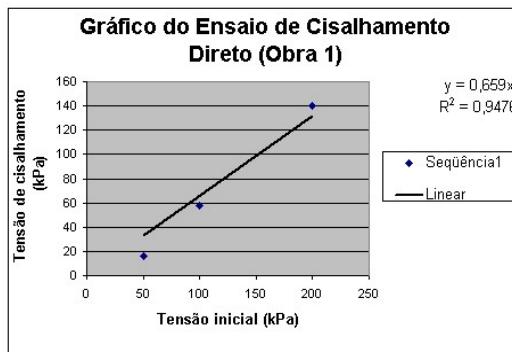


Figura 19 Gráfico representando a equação do ensaio da amostra da Obra 1

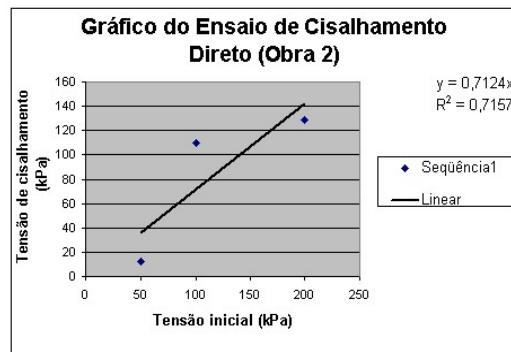


Figura 20 Gráfico representando a equação do ensaio da amostra da Obra 2

Segundo Pinto (2000), os fatores de maior influência na resistência ao cisalhamento das areias são a distribuição granulométrica, o formato dos grãos e a compacidade. Em função desses fatores, valores típicos de ângulos de atrito, para tensões de 100 a 200 kPa, que é a ordem de grandeza das tensões que ocorrem em obras comuns de engenharia.

Com base nos resultados encontrados nos ensaios realizados, verificou-se que o resíduo proveniente das obras de construção civil pode ser reutilizado em pavimentação na execução de reforço de subleito e/ou sub-base. Por exemplo, em uma via com capacidade de carga por roda de 6.000 lb, para execução com utilização de RCC, deve-se usar uma espessura de material de 10 cm, no mínimo.

Assim, diante dos ensaios realizados, é possível afirmar que a reutilização dos RCC é viável tecnicamente, uma vez que se trata de um material resistente e de baixo custo, podendo assim ser utilizado pelas empresas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.115:** agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116:** agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

AZEVEDO, A. A., CUNHA, J. C. & AMORIM, S. F. **Ensaios de Solos: Análise granulométrica de solos por peneiramento e sedimentação – determinação dos limites de plasticidade e liquidez.** Pernambuco, 2004.

BAPTISTA, C. N. **Pavimentação: ensaios fundamentais para a pavimentação dimensionamentos dos pavimentos flexíveis.** Rio Grande do Sul: Editora Globo, 1974, 1^a edição.

CARNEIRO, F. P. **Diagnóstico e Ações da Atual Situação dos Resíduos de Construção e Demolição na Cidade do Recife.** Paraíba, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil.**

EMLURB – Empresa de manutenção e Limpeza Urbana do Recife – Resíduos de Construção, Recife. Disponível em: <<http://www.recife.pe.gov.br/servicospublicos/emlurb/civil.php>> Acesso em 3 nov. 2004.

OLIVEIRA, J. T. R. Apostila de Ensaio de Cisalhamento Direto. Recife. 2003.

PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos solos.** São Paulo: Oficina de Texto, 2000.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** São Paulo: Editora Pini, 1997. 1^a edição.

SENÇO, W. **Pavimentação.** São Paulo: Grêmio Politécnico, 1979, 1^a edição.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), aos laboratórios da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco e da UNICAP (Universidade Católica de Pernambuco) e ao AMBITEC (Grupo de Pesquisa em Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente).

