



DOSAGEM DE CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE UTILIZANDO RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) EM PAVIMENTO FLEXÍVEL

Carlos Eduardo de Lima ⁽¹⁾; Enio Fernandes Amorim ⁽²⁾;
Hudson da Silva Oliveira ⁽³⁾; Lucas Fernandes de Moura ⁽⁴⁾;
Valéria Gomes Álvares Pereira ⁽⁵⁾

(1,2,3,4) IFRN – ⁽¹⁾ carloselima@outlook.com; ⁽²⁾ enio.amorim@ifrn.edu.br; ⁽³⁾ Hudson_ja@hotmail.com;
⁽⁴⁾ lucasfernandes1981@hotmail.com; Estácio – ⁽⁵⁾ valeriagapereira@gmail.com;

RESUMO

A utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) em misturas para construção de pavimentos rodoviários é uma alternativa à redução do consumo de agregados naturais, destinando adequadamente esses substratos. Partindo desta premissa, nesta pesquisa foi analisado o emprego de RCD, nas frações de brita 1 e areia, em substituição aos seus pares naturais, na composição de um concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ), para aplicação na capa de rolamento de pavimento flexível em rodovias. Foram produzidos dois traços do concreto (um convencional e outro com RCD), em quatro teores de ligante, entre 4,5% e 6,0%, comparando-se os parâmetros físicos e mecânicos entre ambos. Aplicaram-se os ensaios de rotina para os materiais e para as amostras das dosagens, utilizando-se o método Marshall. Os insumos reciclados mostraram menor densidade aparente, absorção expressivamente maior, resistência ao desgaste abrasivo próximo ao do natural, entre outros parâmetros atendeu aos limites exigidos para aplicação na destinação pretendida. Das análises dos traços produzidos, obtiveram-se resultados satisfatórios, atestando-se positivo o seu emprego na composição de CAUQ, resultando-se na execução de um trecho experimental em área urbana do município de Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, porém a análise do comportamento do trecho não é contemplada neste trabalho.

Palavras-chave: Agregado reciclado. RCD. Pavimentação. Concreto asfáltico. CAUQ.

DOSAGE OF ASPHALT CONCRETE USING CIVIL CONSTRUCTION WASTES IN ROAD PAVEMENT

ABSTRACT

The utilization of construction and demolition wastes (CDW) in mixtures for construction of road pavements is an alternative to reduce the consumption of natural aggregates destining correctly those substrates. Sharing of these concerns, in this research was analyzed the usage of CDW, in fractions of gravel 1 and sand, in replacement to their natural similar, in the composition of an asphalt concrete, for application in the bearing layer of flexible pavement on roads. Were produced two concrete's mixtures (one conventional and another containing CDW), in four percentage of binder, between 4.5% and 6.0%, comparing the fisical and mechanical parameters between both. Were applied the tests of routine to the materials and to the dosages' samples, employing the performing Marshall. The recycleds input showed less apparent density, expressively over absorption, abrasion's test near the natural one, beyond others parameters, respecting the limits required to application on the intended destination. From reviews about the produced mixtures it was obtained satisfactory results, attesting positive the use of the recycled aggregates analyzed in the composition of asphalt concrete, resulting on the execution of an experimental highway stretch in urban area from Natal county, Rio Grande do Norte, Brazil, however the analyze about the stretch is not contemplated in this work.

Key-words: Recycled aggregate. CDW. Pavement. Asphalt concrete. Asphalt mixture.



1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil promove a qualidade de vida das pessoas e incentiva o mercado movimentando sua economia. Este setor tem grande representatividade no processo de crescimento econômico e redução do desemprego, devido a sua capacidade de rapidamente gerar ocupações diretas e indiretas no mercado de trabalho e produz 50% dos resíduos sólidos urbanos no país (NETO, 2005)⁽¹⁾ e (ARAÚJO *et al.*, 2006)⁽²⁾.

No Brasil, os dados mais recentes sobre a geração de RCD, publicados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018)⁽³⁾ apontam nos seus últimos dez boletins (de 2008 à 2017) que a coleta de RCD cresceu de 29 milhões de toneladas para 45 milhões, enquanto que só na região Nordeste as coletas saltaram de 5,0 milhões de toneladas para 9,0 mi. A mesma associação relata que, dentre a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), a parcela de RCD é a única com registros confiáveis.

Um dos setores de engenharia que pode promover o uso de agregados reciclados (AR) que requerem menos investimento são os pavimentos urbanos e rodoviários (REZENDE *et al.*, 2015)⁽⁴⁾. Esse produto é usado em sua grande parte como material de base em estradas (TABSH; ABDELFAH, 2009)⁽⁵⁾. Contudo, os parâmetros físicos e a composição desses agregados reciclados variam de acordo com sua localização e este fator implica na qualidade do subproduto, no qual certamente influenciará em suas propriedades mecânicas.

Consubstanciado nestes aspectos, este trabalho apresenta uma proposta de aplicação de RCD como agregados reciclados na fabricação de revestimento de pavimento asfáltico, em alternativa ao aproveitamento destes materiais e substituindo os rochosos naturais, do qual o setor da pavimentação é responsável por 18,37% do consumo de rocha britada no país, segundo estatísticas do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2009)⁽⁶⁾.

A princípio, foram realizados estudos de caracterização dos materiais, em seguida se procedeu a confecção de dois traços do concreto, sendo um com agregados naturais e outro contendo brita 1 e areia reciclados em substituição dos seus similares. Cujas análises das propriedades físicas e mecânicas, resultaram na execução de um trecho experimental liberado para o tráfego de veículos em área urbana do município de Natal, no estado do Rio Grande do Norte, Brasil.



2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo consiste na análise da viabilidade do uso de agregados reciclados provenientes de obras civis de construção e demolição do município de Natal-RN, em alternativa ao emprego de agregados convencionais para produção de CAUQ utilizado em serviços de pavimentação rodoviária na camada de rolamento. Por tanto, procedeu-se inicialmente a caracterização dos insumos e posteriormente a dosagem de dois traços de concreto asfáltico, sendo um com agregados naturais e outro empregando RCD. Foram moldados doze corpos de prova em quatro percentuais diferentes de CAP 50/70 (três determinações por teor de ligante), empregando-se o método de compactação Marshall, e realizadas análises comparativas do comportamento físico e mecânico entre estes, submetendo-os às mesmas condições ambientais, de operação e de infraestrutura. Ao final, os estudos proporcionaram a execução de um trecho experimental, com o traço contendo RCD, porém não fazendo parte desta pesquisa as análises sobre o comportamento do pavimento executado. Os materiais objetos de estudo nesta campanha são mencionados no tópico a seguir. As dosagens foram trabalhadas por meio do método Marshall.

2.1. Materiais

Utilizaram-se agregados naturais comercialmente denominados de brita 1 (um) e 0 (zero) ou pedrisco, com diâmetros característicos entre 19,0mm e 9,5mm e entre 9,5mm e 4,8mm, respectivamente; pó de brita (pdb) com diâmetro menor que 4,8mm, todos de rocha granítica, oriundos de jazida da região metropolitana da grande Natal-RN; areia lavada de rio e Cimento Portland utilizado como filer (material de preenchimento) não importando sua função estrutural, uma vez que este atua como material inerte na composição.

Os agregados reciclados de concreto (ARC), por conterem em sua composição mais de 90% de resíduos de concreto, argamassa e materiais pétreos, são considerados mais nobres e homogêneo, em detrimento aos agregados reciclados mistos (ARM) (GRUBBA; PARREIRA, 2009)⁽⁷⁾. O agregado graúdo reciclado, na fração de brita 1 foi do tipo ARM e também se utilizou areia reciclada, ambos fornecidos por uma usina de processamento, do Grupo Duarte, localizada na região da grande Natal-RN, que atua na coleta e usinagem de resíduos de obras civis.

O ligante utilizado neste projeto de pesquisa foi o cimento asfáltico de petróleo (CAP) 50/70, proveniente de refinarias do estado do Ceará, Brasil, fornecido pela empresa TCPav (Tecnologia em Construções e Pavimentação) localizada próximo a Natal-RN, e cuja foi posteriormente executora do



trecho experimental. O referido tipo de asfalto é carro-chefe empregado na região em que se desenvolveu este estudo, nas obras de pavimento flexível com CAUQ.

O concreto asfáltico usinado a quente é a mistura asfáltica mais empregada no Brasil, em termos de execução de pavimentos de rodovias, conhecido pela sigla CAUQ, ou CBUQ (concreto betuminoso), tratando-se de uma mistura usinada, convenientemente proporcionada de agregados de vários tamanhos (gráudo, miúdo e material de enchimento) e cimento asfáltico de petróleo, ambos aquecidos em temperatura pré-determinada, decorrente do ensaio de viscosidade-temperatura do ligante (BERNUCCI *et al.*, 2010)⁽⁸⁾. Quanto a granulometria dos agregados, as dosagens foram enquadrada na faixa “C” padrão DNIT, dosada para aplicação na camada de rolamento do trecho experimental, em atenção a norma técnica DNIT 031-ES (DNIT, 2006)⁽⁹⁾. A seguir é apresentada a relação das normas aplicadas na etapa de caracterização (Tabela 1), às quais os métodos e as especificações estão submetidos.

Tabela 1 - Quadro de normas aplicadas aos ensaios de caracterização.

Material	Ensaio	Norma
Agregados graúdo e miúdo (natural e reciclado) e fíler	Classificação de resíduos	Resolução nº 307 (CONAMA, 2002) ⁽¹⁰⁾
	Coleta dos agregados (procedimentos)	DNER-PRO 120 (DNIT, 1997) ⁽¹¹⁾
	Granulometria por peneiramento	DNER-TER 403 (DNIT, 2000) ⁽¹²⁾
		DNER-ME 083 (DNIT, 1998) ⁽¹³⁾
	Índice de Forma (método crivo)	DNER-ME 086 (DNIT, 1994) ⁽¹⁴⁾
	Densidade e absorção por água	DNER-ME 081 (DNIT, 1998) ⁽¹⁵⁾
	Abrasão Los Angeles	DNER-ME 035 (DNER, 1998) ⁽¹⁶⁾
	Massa específica da areia (frasco de <i>Chapman</i>)	DNER-ME 194 (DNIT, 1998) ⁽¹⁷⁾
	Massa específica do Cimento Portland (frasco de <i>Le Chatelier</i>)	DNER-ME 085 (DNIT, 1994) ⁽¹⁸⁾
	Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) 50/70	Especificação de material
Densidade de materiais betuminosos		DNER-ME 193 (DNIT, 1996) ⁽²¹⁾
Ponto de fulgor		DNER-ME 148 (DNIT, 1994) ⁽²²⁾
Ponto de amolecimento – Anel e bola		DNIT 131-ME (DNIT, 2010) ⁽²³⁾
Viscosidade <i>Saybolt-Furol</i>		DNER-ME 004 (DNIT, 1994) ⁽²⁴⁾
Determinação da Penetração		DNIT 155-ME (DNIT, 2010) ⁽²⁵⁾



2.2. Métodos

Os agregados graúdos e miúdos foram coletados, do pátio da TCPav, em três sacos de nylon, com aproximadamente 20,0 Kg de cada tipo de material, cuidando-se para não haver perda de finos possivelmente presente nas amostras. Do Cimento Portland foi coletado cerca e 5,0 Kg e o CAP 50/70 foi recolhido e transportado em um galão metálico pesando aproximadamente 18 Kg. As quantidades descritas acima se mostraram suficientes para a realização das análises e eventual repetição de um ou mais ensaios.

Planejou-se a sequência dos ensaios de caracterização, das frações graúdas, iniciando-se pelos não destrutivos e finalizando com os quais previam-se perda e descarte de material. Procedeu-se à análise da composição gravimétrica do RCD pelo método da seleção manual do tipo de material constituinte em três amostras de 500g cada, obtidas por meio de equipamento repartidor para redução de amostra. Este ensaio se deu de modo descritivo pelo método quantitativo, consistindo-se em separar manualmente os materiais percebidos em cada porção, sendo classificados em resíduos de concreto (contendo fragmentos de argamassa de Cimento Portland e rocha granítica), materiais cerâmicos (os provenientes de telhas e blocos de cerâmica vermelha), resíduos de pisos (compostos por fragmentos de placas de revestimento cerâmico) e materiais indesejáveis (aqueles não enquadrados nas classificações anteriores); seguindo-se da análise granulométrica por peneiramento manual, tanto para as frações graúdas quanto miúdas, empregando-se o conjunto de peneiras da série normal, conforme as normas para este processo descritas na Tabela 1.

Na sequência, realizou-se a verificação do índice de forma pelo método crivo na graduação “C”, determinada após o ensaio de granulometria, conforme tabela anexa na norma para este ensaio; aferiu-se a densidade aparente e absorção por água dos agregados graúdos e finalizando as caracterizações, dessa parcela, pelo ensaio de Abrasão *Los Angeles*, aplicando a graduação “B” da tabela 1 da sua norma. Os ensaios acima citados foram repetidos para duas amostras, com exceção da primeira caracterização relatada, onde analisaram-se três determinações. Quanto a observação da densidade das areias e o pdb, aplicou-se o método do frasco de *Chapman* com água destilada. Para o filer, foi utilizado o frasco de *Le Chatelier* com querosene, conforme as normas relacionadas na tabela 1.

Para o CAP 50/70, a verificação da densidade foi procedida em duas amostras, utilizando dois frascos de vidro com capacidade para 50 ml (mililitros) cada, água destilada e balança eletrônica com precisão de 0,01g. Também se procedeu a verificação ponto de fulgor. Analisou-se ainda o ponto de



amolecimento do ligante, pelo método do “Anel e Bola”. No ensaio de verificação da viscosidade, empregou-se o método segundo *Saybolt-Furol*, utilizando parelho viscosímetro calibrado nas temperaturas de 135°C, 150°C e 177°C, respectivamente. E, por último, realizou-se a determinação da penetração do asfalto na condição semissólida. Todos os ensaios deram-se em temperatura ambiente de 25°C, controlados por termômetros analógicos e cronômetro digital.

O engenheiro norte-americano, Bruce Marshall, desenvolveu na década de 1930 a metodologia que leva o seu nome e cuja foi a utilizada no procedimento de dosagem das misturas nos traços de CAUQ desta pesquisa, por ser o método executivo mais empregado atualmente no Brasil, quando se fala em produção de pavimentação flexível, se tratando de um recurso prático e simplista. “Diante disso, a caracterização das misturas requer um balanço apropriado entre rigor e praticidade, uma vez que nem todas as variáveis podem ser consideradas simultaneamente, pelo menos não no estágio atual de conhecimento” (BERNUCCI *et al.*, 2010)⁽²⁶⁾.

Para efeito de análise dos resultados, foram estabelecidos dois traços de concreto asfáltico, conforme já citado ao longo do artigo, sendo um traço convencional – TAN (traço com agregados naturais) e outro substituindo a brita 1 e a areia naturais por agregados reciclados de RCD – TAR (traço com agregados reciclados). A Tabela 2 a seguir relaciona as normas trabalhadas na etapa das dosagens.

Tabela 2 - Quadro de normas empregadas no estudo das dosagens.

Processo	Norma	Descrição
Dosagem Marshall	DNER-ME 043 (DNIT, 1995) ⁽²⁷⁾	Método de Ensaio
Enquadramento de faixa e análise dos parâmetros	DNIT 031-ES (DNIT, 2006) ⁽⁹⁾	Especificação de serviço

As dosagens trabalhadas visaram atender as especificações da norma técnica pertinente, para constituir uma camada de rolamento em pavimento flexível de rodovia em trecho urbano. Para tanto, procedeu-se ao enquadramento na faixa “C” em ambos os traços, trabalhando-se com as porcentagens de ligante em 4,50%, 5,0%, 5,50% e 6,0% (intervalo habitual empregado na região deste trabalho), confeccionando-se três corpos de prova (CPs) para cada teor de CAP, aplicando-lhes 75 golpes por face, utilizando um soquete de 5,0 Kg como energia de compactação, em simulação de alto volume de tráfego. Na sequência, executaram-se os ensaios de caracterização das 12 (doze) peças moldadas, verificando a densidade, estabilidade, volume de vazios e a relação de vazios dos agregados preenchidos pelo ligante.

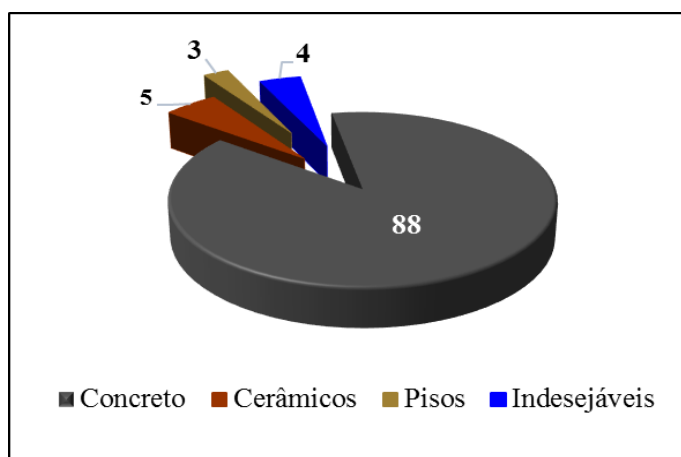


3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. Caracterização dos agregados

Quanto a composição gravimétrica das três amostras observadas, os dados apontaram se tratar de ARM, conforme as classificações da Resolução nº 307 (CONAMA, 2002)⁽¹⁰⁾, na categoria A.. Contudo, apresentou 88,25% de material cimentício e pétreo, valor bem próximo ao limite inferior de 90% da classificação como ARC. O que indica um material de boa qualidade na resistência à compressão, conforme é representado na Figura 1 a seguir.

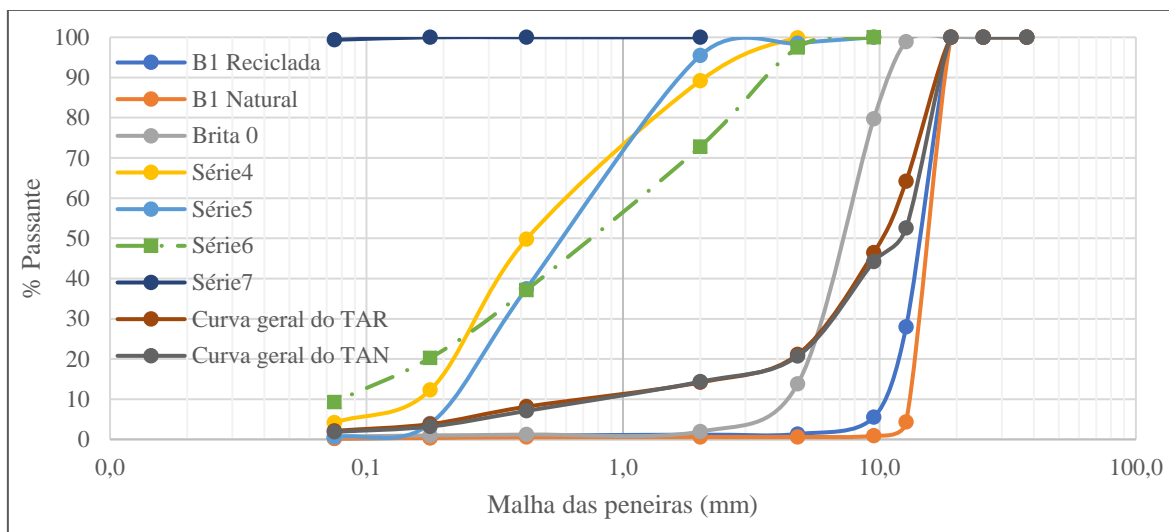
Figura 1 - Composição gravimétrica das amostras: concreto; cerâmico; pisos; e indesejáveis.



Da análise granulométrica, constatou-se a quase ausência de filer nos agregados graúdos de RCD e natural, ao passo que a areia reciclada registrou quantidade em massa significativa de material fino nas amostras, o que pode levar a um aumento na quantidade necessária de CAP. As britas 1 (19,0 mm) e a brita 0 (9,5 mm) expressaram curvas de graduação aberta. As areias natural e reciclada, revelaram graduação densa ou bem-graduada, com distribuição de granulometria contínua, sendo a mesma classificação para o pó de brita, no entanto, se observando grande quantidade de material pulverulento neste. Quanto ao cimento Portland, obteve-se quantidade irrelevante de material retido na peneira 0,075mm e, devido as características apresentadas pelos agregados miúdos citadas acima, o uso do filer foi compensado pela quantidade de finos presentes na areia reciclada e no pdb. Por fim, também se encontram plotadas, entre o conjunto, as curvas com a granulometria geral de ambos os traços, onde se observa pequena variação na peneira de 12,7mm de 11% entre elas, sendo o traço com agregados reciclados mostrando 11,8% a mais de material retido nesta malha, entretanto, mantiveram-se praticamente sobrepostas. A Figura 2 a seguir contempla as informações acima descritas.



Figura 2 - Curvas da análise granulométrica dos agregados.



Nas análises da densidade aparente dos materiais, de modo esperado, pode-se aferir um menor valor para os materiais reciclados em relação aos naturais correspondentes, uma vez que as britas e o pdb são oriundos de rocha granítica, ao passo que os agregados reciclados apresentaram composição heterogênea. Na verificação da absorção por água da brita 1, se obteve um valor de 0,6% no agregado natural e um valor dez vezes superior (6,2%) para o reciclado, constatando-se tratar de um material mais poroso e menos consolidado que o primeiro, além do fato que as amostras apresentaram frações de cerâmica vermelha (que contem argila) e pequena quantidade de gesso, o que faz reduzir a densidade e pode levar a um pequeno aumento no consumo de CAP. Os parâmetros do índice de forma e do desgaste abrasivo do RCD graúdo apontaram valores ligeiramente abaixo da brita 1 natural, contudo, sendo classificados como de boa qualidade, atendendo aos requisitos das respectivas normas DNIT-ES 031 (DNIT, 2006)⁽⁹⁾ e DNER-ME 035 (DNER, 1998)⁽¹⁶⁾, cujos resultados estão resumidos na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Caracterização quanto a densidade e absorção dos agregados.

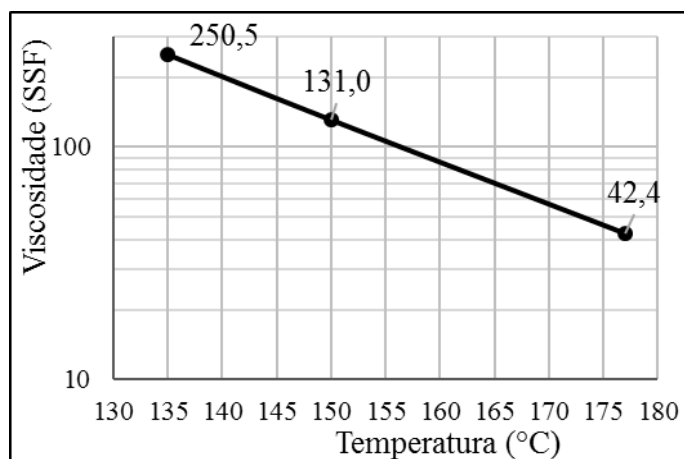
Material	Densidade	Absorção	Índice de forma	Los Angeles
Brita 1 natural	2,59	0,6 %	0,92	31 %
Brita 1 de RCD	2,19	6,2 %	0,87	35 %
Brita 0	2,56	-	-	-
Pó de brita (pdb)	2,63	-	-	-
Areia natural	2,61	-	-	-
Areia de RCD	2,54	-	-	-
Cimento Portland	2,86	-	-	-



3.2. Caracterização do cimento asfáltico

Das análises do CAP 50/70 ensaiado aferiu-se uma densidade igual a 1,01; o ponto de fulgor, em função da segurança dos operadores e do equipamento empregado no estudo, a operação foi interrompida ao atingir a temperatura de 225 °C, uma vez que esta já atende ao limite de operação do material na confecção do CAUQ (devido ocorrer a quebra das moléculas do ligante aos 177 °C) não se tendo atingido os pontos de fulgor nem de combustão na ocasião. Na verificação da viscosidade segundo o método *Saybolt-Furol*, obteve-se como resultado o gráfico ilustrado na Figura 3 abaixo, cujo instrumento revelou como temperaturas de trabalho do CAP em 160 °C e de aquecimento dos agregados de 170 °C a 175°C.

Figura 3 - Curva de viscosidade segundo Saybolt-Furol.



O mesmo material apresentou ponto de amolecimento à temperatura média de 44,5 °C e do ensaio de penetração se obteve um resultado de 53, bem próximo ao limite inferior da sua especificação (50/70 – valores da penetração mínima e máxima, respectivamente, do CAP em questão). Tendo em vista que todos os parâmetros verificados mantiveram-se enquadrados entre os limites de aprovação solicitados pela norma DNIT 095-EM (DNIT, 2006)⁽²⁰⁾, o cimento asfáltico também se mostrou aprovado para uso e aplicação.

3.3. Caracterização das dosagens

Mediante análise granulométrica e o enquadramento na faixa “C” padrão DNIT, conforme DNIT 031-ES (DNIT, 2006)⁽⁹⁾, a Tabela 4 a seguir apresenta a composição para um traço, denominado por TAN, com agregados convencionais e outro, denominado por TAR, contendo os agregados reciclados.



Tabela 4 - Percentuais de agregados utilizados nas dosagens de CAUQ.

Agregados	TAN	Agregados	TAR
Brita 1 natural	10,0%	Brita 1 RCD	13,0%
Brita 0	40,0%	Brita 0	40,0%
Pó de brita	29,0%	Pó de brita	25,0%
Areia de natural	18,0%	Areia de RCD	20,0%
Cimento Portland	3,0%	Cimento Portland	2,0%

Nos estudos dos parâmetros volumétricos e mecânicos entre os doze corpos de prova confeccionados, analisaram-se os dados da massa específica aparente média (Gmb), sendo adotado o percentual de CAP para o maior valor observado neste critério, tendo o TAN apontado seu melhor desempenho aos 5,5% de ligante, ao passo que o TAR expressou curva ascendente, indicando o teor de 6,0% (Figura 4, abaixo) e a posição das curvas era esperada em função dos resultados da massa específica dos materiais. Quanto a análise do volume de vazios (Vv - %), é feita a relação entre a densidade máxima teórica – DMT e o Gmb, tomando-se os valores entre 3,0% e 5,0%. Para o Vv, nota-se que a mistura convencional apontou na composição com 4,5% de asfalto valor de apenas 3,43% de vazios, diminuindo a medida em que aumentou a quantidade de CAP, ao passo que o composto contendo RCD obteve a taxa de 4,7% de ligante, enquadrada na faixa limitada pela norma de referência, conforme se observa na Figura 5. Nesta análise, é perceptível que a mistura TAR apresenta naturalmente maior porosidade, possivelmente em decorrência da diversidade de materiais contidos no RCD, conforme apontado nos resultados da composição gravimétrica.

Figura 4 - Relação Gmb - CAP.

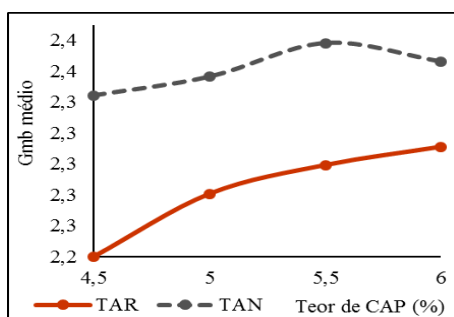
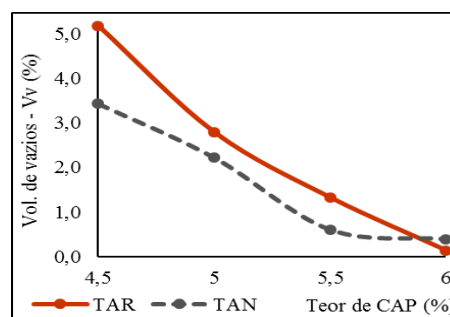


Figura 5 - Relação Vv - CAP.



Também se observou a relação da quantidade de betume com o percentual de vazios (RBV - %), indicando o quanto de vazios dos agregados é preenchida por CAP. Neste fator, é obtido o teor de cimento asfáltico da mistura que estiver entre os limites de 75% a 82%. Dos traços estudados na pesquisa, foi estabelecido o percentual de 4,5% de ligante no traço natural, visto que este obteve um RBV de 75,11% enquanto que a dosagem com 5,0% de CAP ficou acima do limite superior (RBV igual



a 83,88%). Para o traço com RCD, o melhor RBV (80,02%) se deu no segundo teor de ligante, estando o anterior e os posteriores fora da faixa normatizada, assim como é apresentado na Figura 6.

E, por último, verificou-se o critério da estabilidade Marshall ($E - Kgf$) versus ligante, que determina a carga máxima a qual a massa asfáltica pode suportar, quando submetida à compressão radial semi confinada, e desta observação retira-se o percentual de asfalto que apresenta maior valor, sendo o mínimo aceito por norma de 500 Kgf , para 75 golpes. Na Figura 7 abaixo, que traz os gráficos deste parâmetro, se percebeu com grande surpresa o resultado das análises, devido a curva do TAR expressar valores com praticamente o dobro dos obtidos com o TAN. Acredita-se que, mesmo com os materiais naturais e o traço somente desses agregados apontando massa específica maior em detrimento dos seus pares reciclados, a dosagem com RCD, além de ter na sua composição materiais pétreos (graníticos), também contém material oriundo de concreto já consolidado (com o devido ganho de resistência inicial) envolvendo as britas constituintes. Este fator pode ter conferido ganho de estabilidade quando submetido ao ensaio de compressão por meio de prensa Marshall e esta é uma premissa possível de ser observada nos resultados do desgaste à abrasão Los Angeles que mostrou valor próximo ao da brita natural.

Figura 6 - Relação RBV - CAP.

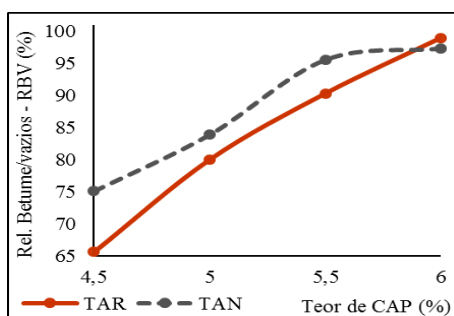
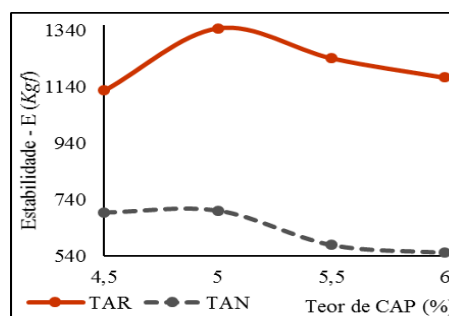


Figura 7 - Relação Estabilidade - CAP.



Motter (2013)⁽²⁸⁾, que estudou as propriedades de um concreto betuminosos usinado a quente, aplicando agregado graúdo reciclado de concreto em várias misturas, também obteve valores da estabilidade semelhantes para 6,0% de CAP. Nestas análises, verifica-se que o melhor ganho de resistência se deu na dosagem de 5,0% de ligante em ambos os traços. No TAN se anotou estabilidade de 700,11 Kgf e no TAR foi percebido o valor de 1.347,88 Kgf , salientando-se que todas as amostras se mantiveram acima do limite aceitável.

Diante das análises dos quatro parâmetros acima relacionados, se obteve as porcentagens de 4,9% $\pm 0,3$ de ligante para o traço com agregados convencionais e 5,2% $\pm 0,3$, para a confecção do traço



de CAUQ empregando RCD, mostrando uma dosagem praticamente equivalente entre os dois, considerando-se as aproximações. A Tabela 5 abaixo traz, em resumo, esses apontamentos.

Tabela 5 - Resumo de cálculo do teor ideal de asfalto.

Tipo do traço	Parâmetros considerados				Teor ótimo ± 0,3
	Gmb	Vv (%)	RBV (%)	Estabil. (Kgf)	
TAN	5,5	4,5	4,5	5,0	4,9
TAR	6,0	4,7	5,0	5,0	5,2

Conforme já foi antecipado no início deste artigo, esta pesquisa ultrapassou os limites do campo acadêmico, ganhando aplicação prática do CAUQ com RCD na composição, ao ser executado um trecho experimental real de pavimentação asfáltica. Tendo sido contemplada a rua José Miranda da Silva, no bairro Brasil Novo, localizado na zona norte do município do Natal-RN, com aproximadamente 100 metros de extensão de pavimento aplicado. No entanto, não é contemplado neste trabalho o acompanhamento e análises sobre o seu desempenho in loco, cabendo esta tarefa a outra equipe de estudos.

4. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve o objetivo primário de propor a aplicação de resíduos advindos de obras civis de construção e demolição, aqui denominados por RCD, nas frações de brita 1 e areia na composição de um concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ), empregado na camada de rolamento em pavimento flexível de rodovias, em alternativa ao uso de insumos naturais e destinação adequada dos mesmos, contribuindo para a sustentabilidade ambiental. Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização física e mecânica dos materiais na busca de verificar seu potencial uso nesta aplicação e, uma vez que esses agregados reciclados obtiveram resultados próximos aos dos seus pares naturais comparados, se mostrou plenas condições para composição da mistura asfáltica usinada a quente.

Das quatro variáveis analisadas para obtenção do melhor teor de ligante de projeto (Gmb, Vv, RBV e Estabilidade), todos tiveram valores adequados aos limites normatizados, sendo extraído o teor de CAP 50/70 calculado para determinação da melhor mistura em ambos os traços praticamente equivalentes, reforçando a viabilidade de aplicação de RCD em concreto asfáltico nos moldes da pesquisa.



Considera-se que os resíduos da construção civil são sazonais, dependendo dos tipos de edificações erguidas ou demolidas. É diversificado quanto à localidade de sua produção, ao passo que a qualidade dos materiais utilizados nas obras muda conforme as tecnologias disponíveis e as peculiaridades dos insumos de cada região.

É válido concluir que, ao compartilhar das preocupações com a sustentabilidade do planeta, é possível buscar alternativas palpáveis e sumariamente aplicáveis que visem diminuir a degradação indiscriminada dos recursos naturais não renováveis, fazendo-se o reuso de materiais. A engenharia civil deve continuar construindo suas obras de arte, não destruindo o planeta, mas o tendo como um aliado.

5. REFERÊNCIAS

1. NETO, J. DA C. M. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. p. 162, 2005.
2. ARAÚJO, N. M. C. de; NÓBREGA, C. C.; MEIRA, A. R.; MEIRA, G. R.; **Gestão para os Resíduos de Construção e Demolição (RCDs): uma proposta para a grande João Pessoa (Paraíba – Brasil)**. XII Silubesa, n. 1, p. 11, 2006.
3. ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. ABRELPE, São Paulo, 2018. Disponível em: <www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2018.pdf>
4. REZENDE, L. R.; MARQUES, M. O.; OLIVEIRA, J. C.; CARVALHO, J. C.; GUIMARÃES, R. C.; RESPLANDES, H. M. S.; COSTA, L. C. S. **Field Investigation of Mechanic Properties of Recycled CDW for Asphalt Pavement Layers**. J. Mater. Civ. Eng. 2016.
5. TABSH, S. W.; ABDELFAH, A. S. **Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete**. *Construction and Building Materials*, v. 23, n. 2, p. 1163–1167, 2009.
6. DNPM. - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Economia Mineral Do Brasil**. DNPM, v. 70.041.903, p. 32. Brasília, 2009.
7. GRUBBA, D. C. R. P.; PARREIRA, A. B. **Emprego de agregado reciclado de concreto em camadas de base e sub-base de pavimentos**. EESC-USP, 2009.
8. BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B.; **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros - 3: Agregados**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010.
9. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT 031 - ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2006. 14 p.
10. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - Ministério do Meio Ambiente, Governo Federal, Brasil. **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002**. Brasília – DF, 2002.
11. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-PRO 120: Coleta de amostras de agregados**. Rio de Janeiro, 1997. 05 p.



12. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-TER 403: Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento - terminologia.** Rio de Janeiro, 2000. 07 p.
13. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-ME 083: Agregados - Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 1998. 05 p.
14. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-ME 086: Agregado - Determinação do índice de forma - Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, 1994. 05 p.
15. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-ME 081: Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo.** Rio de Janeiro, 1998. 06p.
16. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-ME 035: Agregados - Determinação da abrasão "Los Angeles".** Rio de Janeiro, 2006. 14 p.
17. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-ME 194: Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.** Rio de Janeiro, 1998. 04 p.
18. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-ME 085: Material finamente pulverizado - determinação da massa específica real.** Rio de Janeiro, 1994. 04 p.
19. ANP - Agência Nacional do Petróleo. **Resolução Ranp nº 19 - 2005: Especificações do Cimento Asfáltico de Petróleo.** Rio de Janeiro, 2005.
20. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT 095 - EM: Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material.** Rio de Janeiro, 2006. 06 p.
21. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-ME 193: Materiais betuminosos líquidos e semi-sólidos - determinação da densidade e massa específica.** Rio de Janeiro, 1996. 06 p.
22. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-ME 148: Material betuminoso - determinação dos pontos de fulgor e de combustão (vaso aberto Cleveland).** Rio de Janeiro, 1994. 02 p.
23. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT 131 - ME: Materiais asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2010. 06 p.
24. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-ME 004: Material betuminoso - determinação da viscosidade Saybolt-Furol a alta temperatura.** Rio de Janeiro, 1994. 02 p.
25. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT 155 - ME: Material asfáltico – Determinação da penetração.** Rio de Janeiro, 2010. 07 p
26. BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B.; Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros - 6: Propriedades mecânicas das misturas asfálticas. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010.
27. DNIT. - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNER-ME 043: Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall.** Rio de Janeiro, 1995. 11 p.
28. MOTTER, J. S. **Propriedades de concretos betuminosos usinados a quente com o uso de agregado graúdo reciclado de concreto.** Dissertação (mestrado em engenharia de construção civil) – Universidade Federal do Paraná, Paraná/PR, 2013. 260 p.