

CONCRETO ASFÁLTICO A QUENTE DOSADO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) APLICADO EM PAVIMENTO FLEXÍVEL

C. E. de LIMA¹, E. F. AMORIM², H. da S. OLIVEIRA³, L. F. de MOURA⁴
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3686-2150>¹
carloselima@outlook.com¹

Submetido 02/02/2020 - Aceito 07/02/2021
DOI: 10.15628/holos.2021.9576

RESUMO

A utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) reciclados em misturas asfálticas é uma alternativa que visa reduzir o consumo de agregados naturais e destinar adequadamente esses substratos. Com isto, esta pesquisa analisou o emprego de RCD, nas frações de brita 1 e areia, em substituição aos seus similares naturais, na composição de um concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ), para aplicação em pavimento flexível de rodovias. Foram confeccionados um traço de referência de concreto asfáltico com agregados naturais e outro contendo RCD, em quatro teores de asfalto diferentes, variando entre 4,5% e 6,0%, realizando-se as devidas comparações dos parâmetros físicos e mecânicos entre as misturas. Realizaram-se ensaios de rotina para os materiais e para as amostras das dosagens, conforme as

normas padrão do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), empregando-se o método Marshall. Relativo aos insumos convencionais, os reciclados mostraram menor densidade aparente, absorção expressivamente maior, resistência ao desgaste abrasivo satisfatoriamente próximo ao do natural, entre outros aspectos, respeitando-se os limites exigidos para a aplicação 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 TO APPLICATION IN ROAD PAVEMENT

ABSTRACT

The utilization of construction and demolition wastes routine to the materials and to the dosages' samples, (CDW) in mixtures for construction of road pavements is employing the performing Marshall. The recycled input an alternative to reduce the consumption of natural showed less apparent density, expressively over aggregates destining correctly those substrates. Sharing absorption, abrasion's test near the natural one, beyond of these concerns, in this research was analyzed the others parameters, respecting the limits required to usage of CDW, in fractions of gravel 1 and sand, in application on the intended destination. From reviews replacement to their natural similar, in the composition

about the produced mixtures it was obtained satisfactory of an asphalt concrete, for application in the bearing layer results, attesting positive the use of the recycled of flexible pavement on roads. Were produced two aggregates analyzed in the composition of asphalt concrete's mixtures (one conventional and another concrete, resulting on the execution of an experimental containing CDW), in four percentage of binder, between highway stretch in urban area from Natal county, Rio 4.5% and 6.0%, comparing the fiscal and mechanical Grande do Norte, Brazil, however the analyze about the parameters between both. Were applied the tests of stretch is not contemplated in this work.

KEYWORDS: Recycled aggregate, CDW, Construction wastes, Asphalt concrete, Asphalt mixture.



1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um dos principais atores da economia brasileira, responsável por cerca de 15% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (NAGALLI, 2014), 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, em contra partida, produz 50% dos resíduos sólidos urbanos no país (MARQUES NETO, 2004) e (ARAÚJO *et al.*, 2006).

As atividades desenvolvidas na construção civil solicitam uma notável quantidade de materiais inertes, como o cascalho, que geralmente são fornecidos por meio da extração de sedimentos aluviais. A extração desse material altera o perfil dos rios e também o seu equilíbrio, além de modificar sua estrutura hidrogeológica, acarretando em problemas ambientais (CABRAL *et al.*, 2009). Outra problemática socioambiental indicada em dados representativos referente a produção de resíduos sólidos urbanos, em escala mundial, apontam o total de 1,3 bilhões de toneladas por ano ou 1,2 kg per capita por dia em espaço urbano (RODRIGUES; MAGALHÃES FILHO & PEREIRA, 2016).

No Brasil, dados publicados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017), nos seus últimos dez boletins (entre 2008 e 2017), apontam que, no Brasil, a coleta de resíduo de construção e demolição (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 da engenharia que pode promover o uso de agregados reciclados (AR) que requerem menos investimento são os pavimentos urbanos e rodoviários (REZENDE *et al.*, 2015). Esse produto é usado em sua grande parte como material de base em estradas

(TABSH & ABDELFAH, 2009). 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.

Embasado nesses 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). Foram realizados estudos de caracterização dos insumos, em seguida se procedeu a confecção de dois traços do concreto, sendo um de referência, com agregados convencionais, e outro contendo brita 1 (19mm de diâmetro característico) e areia reciclados em substituição aos seus similares. Cujas análises das propriedades



físicas e mecânicas, resultaram na execução de um trecho experimental em área urbana liberado para o tráfego de veículos no município de Natal, no estado do Rio Grande do Norte, Brasil.

2. REVISÃO TEÓRICA

A Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), define que os resíduos originários de obras civis são advindos de construções, reformas, reparos e demolições, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, cabos elétricos, etc., comumente denominados de entulhos de obras, calça ou metralha (AMORIM, 2013). Os resíduos de construção e demolição, se forem selecionados, classificados e adequadamente limpos, transformam-se em agregados secundários prontos para serem usados em aterros ou concretos de baixa resistência (MARQUES NETO, 2004).

Sena Neto (2018) estudou a viabilidade técnica do reaproveitamento de RCD, produzidos na cidade do Natal-RN, como agregados na composição de revestimento asfáltico pré-misturado a frio (PMF), para aplicação em camada de rolamento de rodovias urbanas. Para tanto, analisaram-se quatro composições de misturas dos agregados, tendo-se aplicado o método Marshall para as dosagens. Nas conclusões da pesquisa, avaliou-se positivamente o potencial de aplicação do RCD na constituição de misturas asfálticas à frio, evidenciando a viabilidade técnica e ambiental do uso desse material reciclado nas obras de pavimentos urbanos. Contudo, seu estudo deteve-se apenas em escala de laboratório.

Souza *et al.* (2012) avaliaram o comportamento mecânico de um Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) confeccionado também com agregados de RCD, oriundos do Distrito Federal, para aplicação em camada de revestimento asfáltico. Nos estudos, obtiveram misturas asfálticas dosadas segundo a metodologia Marshall, enquadradas na faixa “C” no padrão do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT) e empregando-se cimento asfáltico de petróleo (CAP) 50/70 como ligante. Os resultados desse trabalho indicaram bom desempenho, segundo os pesquisadores, demonstrando que a reciclagem do RCD se apresenta como solução sustentável para destinação dos mesmos de forma compensatória ao uso de recursos naturais similares.

O município de Natal-RN, dispõe da lei nº 6.298/2011 que regulamenta as atividades de reciclagem dos resíduos da construção civil no âmbito local. O último estudo sobre o manejo de resíduos sólidos no município foi publicado em 2015 por uma empresa licitada para diagnosticar a situação na ocasião, cujo documento é intitulado de Subproduto 2.2 do Diagnóstico de Serviços de Saneamento Básico, como parte integrante do Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB do Município de Natal. No documento é apontado dados do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da cidade (PIGRS-Natal), na sua tabela 6 que, até o ano de 2027 90% dos resíduos da construção civil devam ser reciclados, (START, 2015).



3. 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, por ser o mais aplicado no Brasil e utilizado pela empresa parceira da pesquisa e executora do trecho experimental.

1.1 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). 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. 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 (graúdo, 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). Quanto a granulometria dos agregados, as dosagens foram enquadrada na faixa “C” padrão DNIT, dosada para aplicação na camada de rolamento, em atenção a norma técnica DNIT 031-ES (DNIT, 2006). 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 na pesquisa.

Material	Ensaio	Norma
Agregados graúdo e miúdo (natural e reciclado) e fíler	Classificação dos resíduos	Resolução nº 307 (CONAMA, 2002)
	Coleta dos agregados (procedimentos)	DNER-PRO 120 (DNIT, 1997)
	Granulometria por peneiramento	DNER-TER 403 (DNIT, 2000)
	Índice de Forma (método crivo)	DNER-ME 083 (DNIT, 1998)
	Densidade e absorção por água	DNER-ME 086 (DNIT, 1994)
	Abrasão Los Angeles	DNER-ME 081 (DNIT, 1998)
	Massa específica da areia (frasco de <i>Chapman</i>)	DNER-ME 035 (DNER, 1998)
Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) 50/70	Massa específica do Cimento Portland (frasco de <i>Le Chatelier</i>)	DNER-ME 194 (DNIT, 1998)
	Especificação de material	Resolução nº 19 (ANP, 2005)
	Densidade de materiais betuminosos	DNIT 095-EM (DNIT, 2006)
	Ponto de fulgor	DNER-ME 193 (DNIT, 1996)
	Ponto de amolecimento – Anel e bola	DNER-ME 148 (DNIT, 1994)
	Viscosidade <i>Saybolt-Furol</i>	DNIT 131-ME (DNIT, 2010)
	Determinação da Penetração	DNER-ME 004 (DNIT, 1994)
		DNIT 155-ME (DNIT, 2010)

1.2 Métodos

Os agregados graúdos e miúdos foram coletados, do pátio da usina de pavimentação, 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



constituente 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 p_{db}, 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 do 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 parêlo 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). A Tabela 2 abaixo relaciona as normas trabalhadas na etapa das dosagens.

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

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

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, aplicandolhes 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.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quanto a composição gravimétrica das três amostras observadas, os dados apontaram se tratar de ARM, conforme as classificações da Resolução nº 307 (CONAMA, 2002), na categoria A. Obtendo-se 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 de resistência à compressão, apesar dos 4% de materiais indesejáveis na amostra, conforme é representado na Figura 1 abaixo.

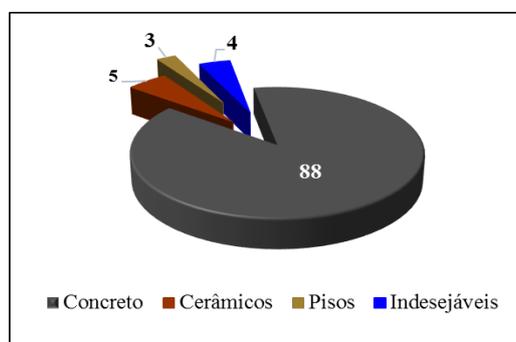


Figura 1: Percentual dos materiais na composição gravimétrica das amostras.

A granulometria, ilustrada através da Figura 2 abaixo, revelou a quase ausência de fíler nos agregados graúdos de RCD e natural com curvas de graduação aberta. Grande quantidade de finos nas amostras de areia reciclada e no pó de brita, podendo causar um aumento no consumo de CAP. Os agregados miúdos revelaram graduação densa ou bem-graduada. Quanto ao cimento Portland, obteve-se quantidade irrelevante de material retido na peneira de 0,075mm e, devido as características apresentadas pelos agregados miúdos citadas acima, o uso do fíler foi compensado pela quantidade de finos presentes na areia reciclada e no pdb. Por fim, foram plotadas, entre o conjunto, as curvas da granulometria geral de ambos os traços, observando-se pequena variação na peneira de 12,7mm de 11,8% entre elas, tendo o traço com RCD mais de material retido nesta malha, entretanto, mantiveram-se praticamente sobrepostas.

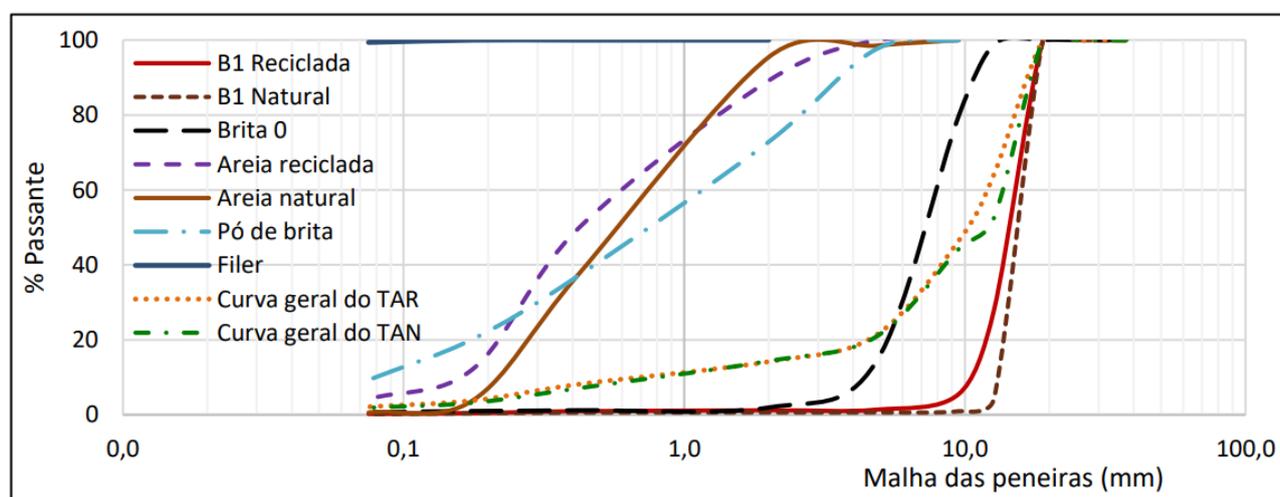


Figura 2: Curvas da análise granulométrica dos agregados e dos traços.

Nas análises da densidade aparente dos materiais aferiu-se um menor valor para os materiais reciclados em relação aos seus pares naturais, uma vez que as britas e o pó de brita são oriundos de rocha granítica (de maior massa específica), ao passo que os agregados reciclados apresentaram composição heterogênea. Na verificação da absorção por água da brita 1, para fins de comparação entre os dois tipos, se obteve um valor de 0,6% no agregado natural e um valor dez vezes superior (6,2%) para o reciclado, sendo uma observação também encontrada nas pesquisas de Motter (2013) e Souza *et al.* (2012), 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 (material argiloso), pasta de cimento envolvendo os grãos de rochas e pequena quantidade de gesso, o que faz reduzir a densidade e pode levar a um pequeno aumento no consumo de ligante. Os dados aqui citados se encontram sintetizados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Resultados da densidade, absorção dos agregados e do desgaste.

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	-	-	-

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 e a mistura foi aquecida aos 148 °C ± 15 °C.

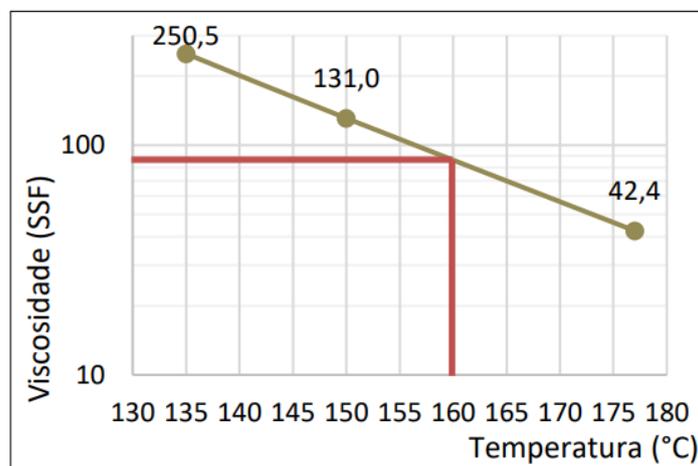


Figura 3: Curva de viscosidade segundo Saybolt-Furol.

Mediante análise granulométrica e o enquadramento na faixa "C" padrão DNIT, conforme DNIT 031-ES (DNIT, 2006), foram determinados os traços para as misturas. A Tabela 4 abaixo apresenta a composição do traço de referência (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 Areia de natural	29,0%	Pó de brita Areia de RCD	25,0%
Cimento Portland	18,0%	Cimento Portland	20,0%
	3,0%		2,0%

Os gráficos ilustrados na Figura 4, abaixo, apresentam-se praticamente idênticos, próximos a linha central da faixa. Destaca-se também o comportamento das curvas das faixas de trabalho que em nenhum ponto ultrapassam os limites inferior ou superior da faixa.

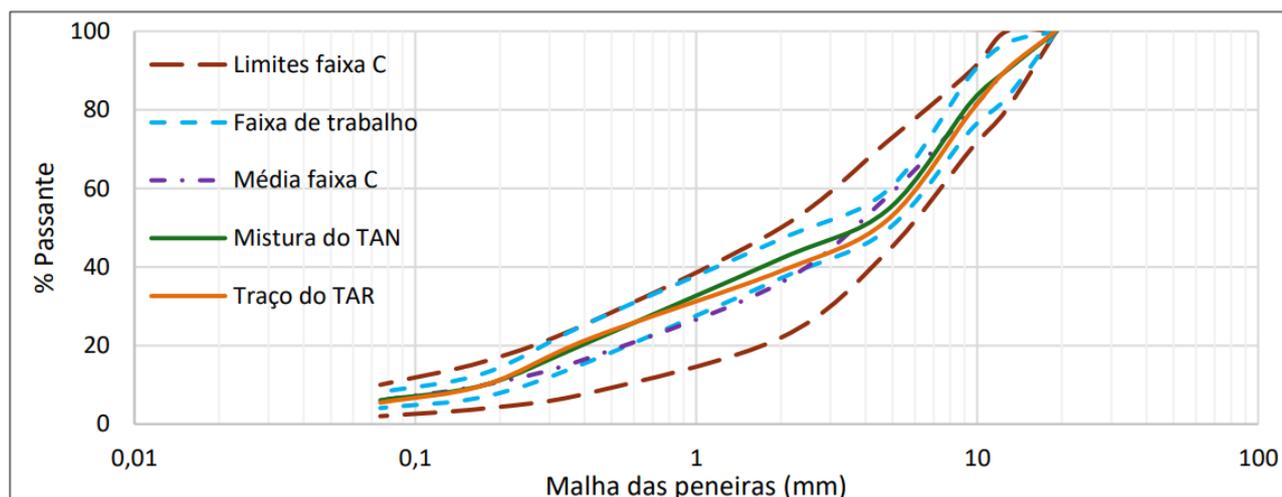


Figura 4: Representação gráfica do enquadramento dos agregados na faixa "C", padrão DNIT.

Buscou-se, por outro lado, aplicar o percentual de agregados graúdos igual ou maior que 50%, uma vez que este material responde pela maior resistência às cargas de compressão aplicadas ao tipo de pavimento. Contudo, quanto mais fração graúda de agregado contiver o traço, melhor será o comportamento flexível do concreto, ao passo que uma dosagem com maior percentual de agregados miúdos fará o concreto tender ao comportamento rígido, tornando-o mais susceptível ao surgimento de trincas e fissuras, diminuindo a vida útil da capa de rolamento.

Em análise aos doze corpos de prova confeccionados, obtiveram-se os dados da massa específica aparente (G_{mb}), adotando-se 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 5 a seguir) e o posicionamento das curvas seguiu a tendência do resultado da massa específica entre os materiais. Do volume de vazios (V_v - %), obtido pela relação entre a densidade máxima teórica – DMT e o G_{mb} , adota-se os valores entre 3,0% e 5,0%. Neste caso, a mistura convencional apontou na composição com 4,5% de asfalto valor de apenas 3,43% de vazios, enquanto o composto contendo RCD obteve a taxa de 4,7% de ligante, dentro da faixa limitada, conforme se observa na Figura 6 abaixo. 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.

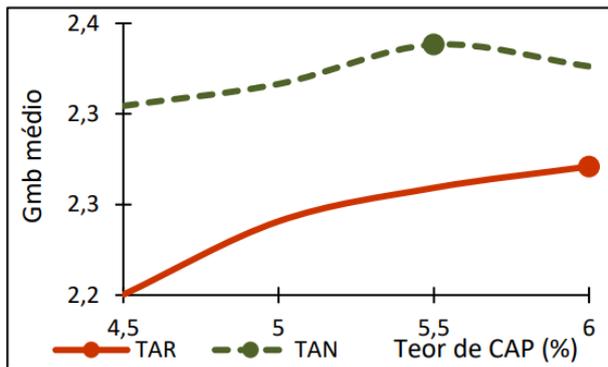


Figura 5: Massa específica da mistura.

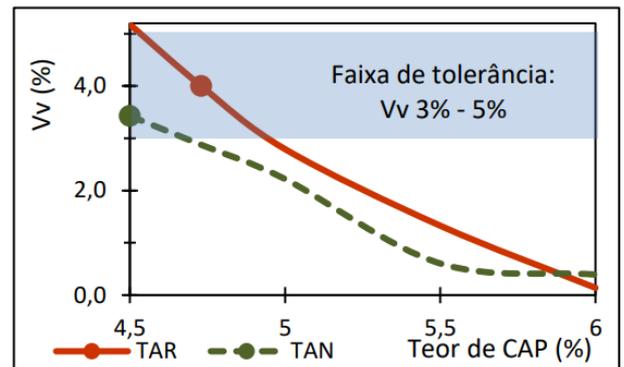


Figura 6: Volume de vazio em relação ao teor de CAP.

O índice seguinte é a relação da quantidade de ligante com o percentual de vazios (RBV - %), indicando o quanto de espaços nos agregados é preenchido por CAP. Neste fator, é obtido o teor de CAP da mistura que estiver entre os limites de 75% a 82%. Dos traços estudados na pesquisa, se obteve o percentual de 4,5% de ligante no traço natural, apontando um RBV de 75,11% e o traço com RCD registrou o melhor RBV (80,02%) aos 5,0% de ligante, estando o anterior e os posteriores fora da faixa normatizada, como consta na Figura 7 a seguir.

Em relação à estabilidade Marshall ($E - Kgf$) versus ligante, que mede a capacidade de suporte da mistura asfáltica ao ser submetida à compressão diametral semiconfinada, onde o menor valor aceito por norma é 500 Kgf para 75 golpes na compactação, a Figura 8 abaixo mostra que a curva do TAR expressa valores com praticamente o dobro da mistura convencional. No traço de referência se obteve estabilidade máxima de 700,11 Kgf e no TAR se atingiu o valor de 1.347,88 Kgf , ambos com 5,0% de ligante.

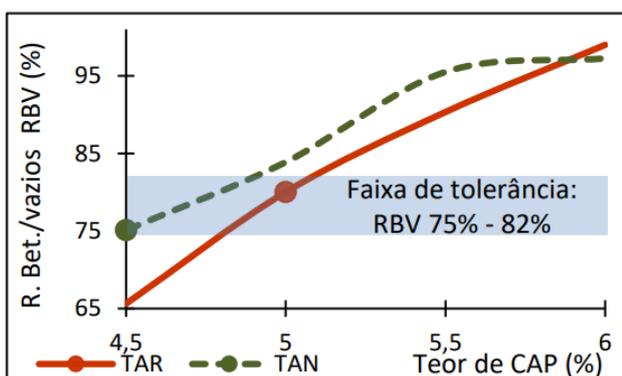


Figura 7: Percentual de vazios preenchidos por CAP.

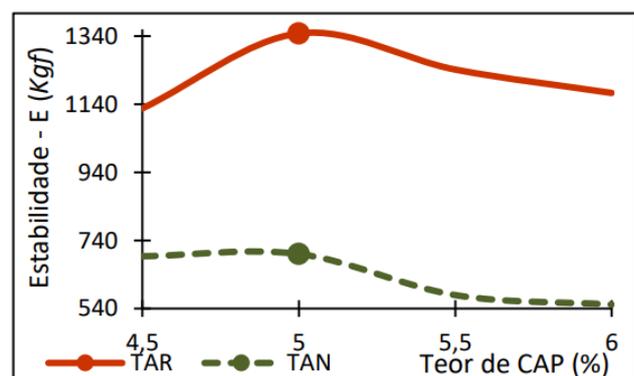


Figura 8: Estabilidade.

Embora os materiais naturais e o traço com os mesmos tendo mostrado massa específica maior em detrimento dos seus pares reciclados, a dosagem com RCD, além de ter na sua composição materiais pétreos (graníticos), também contém resíduos oriundos de concreto já consolidado (com ganho de resistência inicial) envolvendo as britas constituintes, conferindo-lhe ganho de

estabilidade 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.

Motter (2013) estudou as propriedades de um concreto betuminosos usinado a quente, aplicando agregado graúdo reciclado de concreto em várias misturas, onde também obteve valores da estabilidade semelhantes para misturas com 6,0% de CAP. A mesma considerou ser fator positivo para uma estrutura mais porosa preenchida com ligante, o que aumenta a elasticidade da mistura e resulta em ganho de resistência à deformação.

A Tabela 5 que segue abaixo traz, em resumo, os dados dos quatro parâmetros acima relacionados, resultando-se nas porcentagens de $4,9\% \pm 0,3$ de ligante para a dosagem convencional e $5,2\% \pm 0,3$, para o traço de CAUQ empregando RCD, mostrando ambas praticamente equivalentes, considerando-se as aproximações. Com isso, a diferença no teor ótimo de ligante ficou em 5,8%.

Tabela 5: Percentuais de asfalto considerados, segundo os índices analisados.

Tipo do traço	Parâmetros considerados				Teor ótimo $\pm 0,3$
	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

Esta pesquisa culminou na execução de um trecho experimental em via urbana liberada ao tráfego comum de veículos, localizado na Rua José Miranda da Silva, no bairro Brasil Novo, na zona norte da cidade do Natal-RN, conforme demonstrado na Figura 9 abaixo. Servindo-se, também, de embasamento teórico para a tese de mestrado defendida por Queiroz Neto (2019), que ficou incumbido de estudar o comportamento mecânico do referido trecho pavimentado.

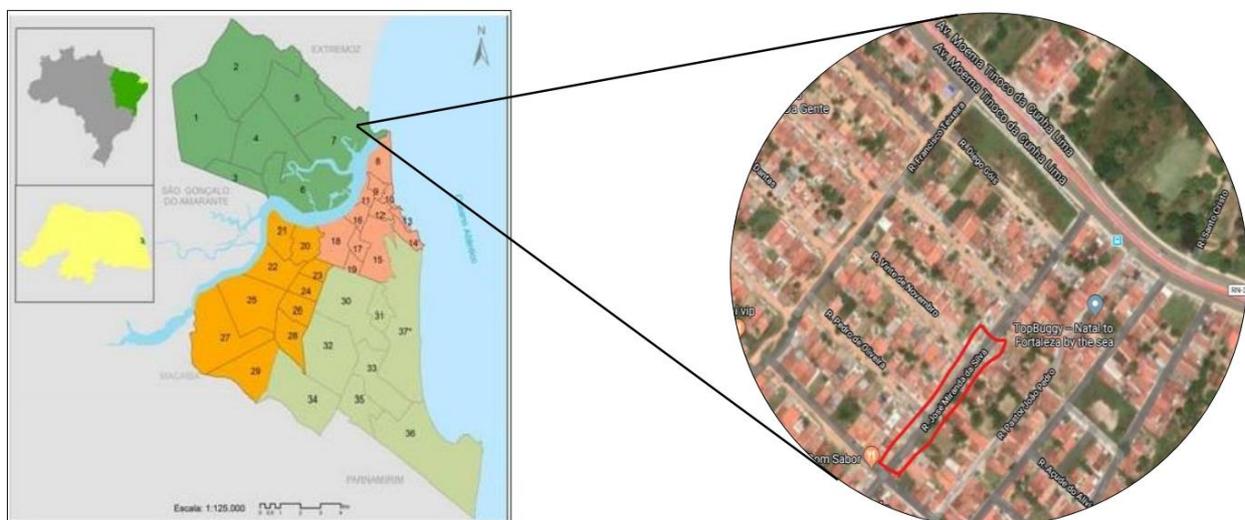


Figura 9: Localização do trecho experimental executado.

Com uma extensão de 46 metros da via, a faixa de rolamento no lado direito, nas figuras abaixo, foi pavimentada com concreto asfáltico convencional, enquanto na faixa esquerda foi aplicado o concreto nos moldes da pesquisa. A Figura 10 mostra o momento da execução da camada de rolamento e a Figura 11, onde utilizou-se uma régua metálica de 12 polegadas (30,5cm) para ter noção de escala, mostra o estado da arte da via 16 meses depois.



Figura 10: Trecho experimental sendo executado.



Figura 11: Estado da arte 16 meses depois.

5. CONCLUSÃO

Os parâmetros analisados neste estudo acerca dos materiais e das dosagens do concreto asfáltico mostraram a viabilidade de aplicação do RCD para composição da mistura nos moldes desta pesquisa. Verificou-se que o percentual de ligante entre os dois traços foi quase equivalente considerando-se as aproximações e que a maior quantidade de CAP requerida pelo RCD, se deve em função da sua maior quantidade de vazios verificada. A maior absorção de ligante na mistura com agregados reciclados pode ter influenciado no ganho de resistência à compressão, aumentando a estabilidade e revelando uma mistura de comportamento elástico.

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

Conforme já foi antecipado no início desse artigo, esta pesquisa ultrapassou os limites do laboratório, ganhando aplicação prática do CAUQ contendo RCD em sua composição, ao ser executado um trecho experimental real de pavimentação asfáltica liberado ao tráfego de veículos, no entanto, este trabalho não abrange o acompanhamento e análises do trecho executado sobre o seu desempenho *in loco*, cabendo esta tarefa a outra equipe de estudos.

Compreende-se que, dentre os materiais constituintes do RCD utilizado, a presença de cerâmica vermelha e de gesso não são benéficas para a produção de revestimento asfáltico, em face da absorção de água e nos resíduos de placas cerâmicas observa-se a falta de adesividade do ligante. Outro fator que não pode ser negligenciado nesta pesquisa foram as observações relatadas pela

empresa de pavimentação, durante o processo de aquecimento dos materiais, quando se percebeu a presença de gases com aspecto amarelo-esverdeado, podendo ser um sinal de emissão de enxofre na atmosfera. Deixa-se como proposição para trabalhos futuros a análise referente a essas emissões, como forma de adaptar os filtros das usinas para melhor filtrar os gases produzidos.

É válido concluir que, ao compartilhar das preocupações com a sustentabilidade do planeta, é possível buscar alternativas tangíveis e plenamente executáveis que visem diminuir a degradação indiscriminada dos recursos naturais não renováveis, fazendo-se o reuso de materiais como os resíduos oriundos de obras de construção e demolição. A engenharia civil não só pode como deve continuar construindo suas obras de arte não destruindo o planeta, mas o tendo como um aliado.

6. REFERÊNCIAS

- ABRELPE. (2018). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017. ABRELPE, São Paulo. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2017.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2019.
- AMORIM, E. F. (2013). Viabilidade Técnica Econômica de Misturas de Solo-RCD em Camadas de Base de Pavimentos Urbanos. Estudo de Caso: Município de Campo Verde - MT.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo. (2005). Resolução RANP nº 19 - 2005: Especificações do Cimento Asfáltico de Petróleo. Rio de Janeiro.
- ARAÚJO, N. M. C. de; NÓBREGA, C. C.; MEIRA, A. R.; MEIRA, G. R. (2006). Gestão para os Resíduos de Construção e Demolição (RCDs): uma proposta para a grande João Pessoa (Paraíba – Brasil). XII Silubesa, Nº 1.
- CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DaI MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; RAVINDRARAJAH, R. S. (2009). Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. Cerâmica, Vol. 55.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - Ministério do Meio Ambiente, Governo Federal, Brasil. (2002). Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Brasília.
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). DNER-ME 004: Material betuminoso - determinação da viscosidade Saybolt-Furol a alta temperatura. Rio de Janeiro.
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (2006). DNER-ME 035: Agregados - Determinação da abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1995). DNER-ME 043: Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall. Rio de Janeiro.
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1998). DNER-ME 081: Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro.



- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1998). DNER-ME 083: Agregados - Análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). DNER-ME 085: Material finamente pulverizado - determinação da massa específica real. Rio de Janeiro.
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). DNER-ME 086: Agregado - Determinação do índice de forma - Método de Ensaio. Rio de Janeiro.
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). DNER-ME 148: Material betuminoso - determinação dos pontos de fulgor e de combustão (vaso aberto Cleveland). Rio de Janeiro.
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1996). DNER-ME 193: Materiais betuminosos líquidos e semissólidos - determinação da densidade e massa específica. Rio de Janeiro.
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1998). DNER-ME 194: Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro.
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1997). DNER-PRO 120: Coleta de amostras de agregados. Rio de Janeiro.
- DENER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (2000). DNER-TER 403: Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento - terminologia. Rio de Janeiro.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. (2006). DNIT 031 - ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. (2006). DNIT 095 - EM: Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material. Rio de Janeiro, 2006.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. (2010). DNIT 131 - ME: Materiais asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. (2010). DNIT 155 - ME: Material asfáltico – Determinação da penetração. Rio de Janeiro.
- DNPM. - Departamento Nacional de Produção Mineral. (2009). Economia Mineral Do Brasil. Vol. 70.041.903. Brasília.
- GRUBBA, D. C. R. P.; PARREIRA, A. B. (2009). Emprego de agregado reciclado de concreto em camadas de base e sub-base de pavimentos. EESC-USP.



- NAGALLI, A. (2014). Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. São Paulo: Oficina e Textos.
- MARQUES NETO, J. C. (2004). Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil. São Carlos: RiMa.
- MOTTER, J. S. (2013). 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.
- QUEIROZ NETO, M. L. (2019). Aplicação de Concreto Asfáltico a Quente Utilizando Resíduos da Construção e Demolição de Obras (RCD) em Via Urbana na Cidade de Natal/RN. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRN, Natal.
- REZENDE, L. R.; MARQUES, M. O.; OLIVEIRA, J. C.; CARVALHO, J. C.; GUIMARÃES, R. C.; RESPLANDES, H. M. S.; COSTA, L. C. S. (2015). Field Investigation of Mechanic Properties of Recycled CDW for Asphalt Pavement Layers. J. Mater. Civ. Eng.
- RODRIGUES, W.; MAGALHÃES FILHO, L. N. L.; PEREIRA, R. DOS S. (2016). Análise dos Determinantes dos custos de resíduos sólidos urbanos nas capitais estaduais brasileiras. Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management), 8(1).
- SENA NETO, P. G. de. (2018). Análise de dosagens de concreto asfáltico do tipo Pré Misturado a Frio (PMF) utilizando resíduos da construção e demolição de obras (RCD). PEC-UFRN.
- SOUZA, M. V. R.; SINISTERRA, F. Q.; FARIAS, M. M.; GÓMEZ, A. (2012). Avaliação mecânica de um concreto betuminoso usinado a quente confeccionado com agregado de resíduo de demolição reciclado. XVI Cobramseg – Porto de Galinhas/PE.
- START, P. E. C. T. L. (2015). Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Natal/RN: Diagnóstico da Situação dos Serviços de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Natal.
- TABSH, S. W.; ABDELFAH, A. S. (2009). Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. Construction and Building Materials, 23(2).

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

Lima, C. E. de, Amorim, E. F., Oliveira, H. da S., Moura, L. F. de (2020). Concreto asfáltico a quente dosado com resíduos de construção e demolição (RCD) aplicado em pavimento flexível. *Holos*, 37 (1). 1-18.

SOBRE OS AUTORES

C. E. DE LIMA

Engenheiro Civil pela Universidade Estácio de Sá (2019); Técnico em Estradas (2019) e Técnico em Edificações (2012), ambas pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).



Atualmente é Aluno Especial na disciplina de Modelagem de Informação de Construção, no Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFRN. Foi representante discente na Comissão Própria de Avaliação - CPA, no Campus Natal Central e monitor no Laboratório de Pavimentação. Foi Encarregado de Produção pela AMM Perfurações, na obra do Shopping Rio Mar Fortaleza do Grupo JCPM Incorporações. Estagiou como Técnico em Edificações na Seta Treinamentos, desenvolvendo de projetos de adequações sanitárias. Trabalhou como Auxiliar Técnico na elaboração de projetos complementares na EM Engenharia. Possui habilidades com desenvolvimento e assessoria em projetos de engenharia com utilização de métodos de Modelagem da Informação da Construção (BIM) e Projetos Geométricos de Rodovias, além de experiência no acompanhamento e assessoria em execução de obras de edificações de pequeno porte, adequações sanitárias, obras de acessibilidade e dosagem de concreto asfáltico usinado a quente. Atua em projetos de pesquisa sobre Aplicação de RCD em Concreto Asfáltico, BIM aplicado a infraestrutura de transportes rodoviários e BIM Aplicado à Colaboração. Participa do Projeto de Extensão de Implantação de BIM no desenvolvimento de projetos (Estação BIM), da Faculdade Estácio de Natal. E-mail: carloselima@outlook.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3686-2150>

E. F. AMORIM

Possui graduação em Engenharia Civil (2003) pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Mestrado (2007) e Doutorado (2013) em Geotecnia pela Universidade de Brasília. Foi Engenheiro Consultor da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) nos anos de 2006 e 2007, trabalhando diretamente com Ações de Saneamento em Áreas Indígenas em todo o Território Nacional. Atuou como Membro Representante do Ministério da Saúde na Câmara Técnica de Águas Subterrâneas (CTAS) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - MMA (Ministério do Meio Ambiente) - Brasília - DF, durante o período de fevereiro a dezembro de 2007. Foi Coordenador Local da Área de Construção Civil do IFRN, Campus Natal-Central, no Programa de Formação de Recursos Humanos (PFRH) firmado em parceria com a PETROBRAS, durante o período de junho de 2013 a janeiro de 2016. É Sócio Afiliado da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos (ABMS) e da Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv), desde abril de 2010. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus - Natal-Central, lotado na Diretoria Acadêmica de Construção Civil, lecionando a disciplina de Mecânica dos Solos no Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios e as disciplinas de Pavimentação de Estradas e Materiais de Construção no Curso Técnico de Estradas. E-mail: enio.amorim@ifrn.edu.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7386-3956>

H. DA S. OLIVEIRA

Possui formação de Técnico em Estradas pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) (2019) e atualmente cursa Graduação em Engenharia de Agrimensura na Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: HUDSON_JA@HOTMAIL.COM

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4393-0780>

L. F. DE MOURA

É Técnico em Estradas (2018) e Técnico em Edificações (2019) pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). E-mail: lucasfernandes1981@HOTMAIL.COM

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9045-9004>

Editor(a) Responsável: Francinaide de Lima Silva Nascimento



