



USO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM MISTURAS ASFÁLTICAS

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.VII-001>

Joel Carlos Moizinho*, Gabriel Fernandes Moura Silva

*Universidade Federal de Roraima, joel.moizinho@ufrr.br

RESUMO

O artigo apresenta a caracterização física e mecânica de resíduos da demolição da construção civil (RDC) oriundo do estado de Roraima e verifica o comportamento de tais agregados quando aplicados em misturas asfálticas usinadas à quente, tipo densa (CAUQ). Foram realizados ensaios de massa específica aparente, massa específica real, absorção, Abrasão “Los Angeles”, índice de degradação Marshall com e sem ligante, adesividade, equivalente de areia. Os agregados foram enquadrados na faixa C do DNIT para compor as misturas asfálticas com teores de ligante variando de 4,0% a 6,0%. Para confecção dos corpos de provas foi seguida a metodologia Marshall. Para as misturas foram determinados os parâmetros volumétricos, além da estabilidade, fluência, resistência à tração e desgaste cântabro. Observou-se alta absorção do agregado RDC (11%), elevado desgaste por abrasão (65%) e boa adesividade ao ligante asfáltico. Verificou-se a necessidade de teor de CAP superior a 6,0% para obtenção de todos os parâmetros atendendo as especificações da ES 031:2006 DNIT. Os bons resultados de fluência, Estabilidade, resistência ao desgaste e resistência à tração mostraram que o RDC apresenta potencial de uso em concreto asfáltico para tráfego leve.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo da construção, RDC Roraima, CAUQ com RDC.

ABSTRACT

The article presents the physical and mechanical characterization of construction demolition waste (RDC) from the state of Roraima and verifies the behavior of such aggregates when applied in hot-machined asphalt mixes, dense type (CAUQ). Apparent specific mass, real specific mass, absorption, “Los Angeles” Abrasion, Marshall decline index with and without binder, adhesiveness, sand equivalent tests were carried out. The aggregates were framed in the DNIT C range to compose asphalt mixtures with binder contents ranging from 4.0% to 6.0%. The Marshall methodology was used to prepare the specimens. For the mixtures, volumetric parameters were determined, in addition to stability, creep, tensile strength and Cântabro wear. There is high absorption of the RDC aggregate (11%), high wear due to abrasion (65%) and good adherence to the asphalt binder. It was verified the need for a CAP content greater than 6.0% for the delivery of all care according to the specifications of ES 031:2006 DNIT. The good results of creep, stability, wear resistance and resistance to attraction corresponded that the RDC has potential for use in asphalt concrete for light traffic.

KEY WORDS: Construction waste, RDC Roraima, CAUQ with RDC

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta extensa malha rodoviária a pavimentar. Os agregados representam em torno de 95% do volume das massas asfálticas, por outro lado a carência de agregados é grande, principalmente em algumas localidades da região Norte do País, seja pela inexistência de agregados com qualidades desejáveis, distância elevada de transportes e pela dificuldade de exploração dos mesmos, devido sobretudo as jazidas ocorrerem em áreas de preservação ambiental.

Por outro lado, a intensa geração de resíduos sólidos do setor da construção civil em cidades de grande e médio porte vem sendo motivo de preocupação em diversos países, uma vez que o setor envolve questões de ordem ambiental, social e financeira. Portanto, em função disto, pesquisadores em todo o mundo vêm tentando encontrar alternativas para que os problemas atrelados ao processo da construção sejam reduzidos, ou até mesmo sanados. A construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento de qualquer país, no entanto, é um setor gerador de grande impacto ambiental devido ao intenso consumo de matéria-prima, à modificação da paisagem e à grande geração de resíduos. Segundo a Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo (2012), estima-se que a geração de resíduos de construção e demolição (RCD) está entre 0,4 a 0,7 t/hab.ano e representa 51 a 70% dos resíduos sólidos urbanos. Acredita-se que desses resíduos, 90% possam ser reciclados, contribuindo para mitigação de danos ambientais e geração de renda. Os resíduos de construção civil quando transformados em agregados reciclados podem ser empregados, dentre outras coisas, em construção de pavimentos. Portanto, pesquisas com



resíduos da construção tem grande relevância para a sociedade, pois a obtenção de materiais alternativos e aplicação na engenharia tem influência em dois aspectos do setor, o primeiro de caráter ambiental no qual visa resolver o problema de escassez de matéria prima e da disposição irregular de resíduos sólidos. O segundo é quanto ao caráter econômico, uma vez que o material reciclado é mais barato e seu uso reduz os gastos municipais com despejos irregulares de rejeito.

OBJETIVO DA PESQUISA

Avaliar o potencial de uso de restos de demolição de construção, em misturas asfálticas tipo concreto asfáltico usinado à quente (CAUQ).

MATERIAIS E MÉTODOS

O resíduo de demolição de construção aplicado nesta pesquisa, denominado RDC, foi doado por uma empresa privada de Boa Vista, Roraima, consistindo de restos de material cerâmico, telhas, argamassas, concretos etc. Foi realizada uma triagem para a eliminação de materiais indesejáveis como metais, madeira, plásticos dentre outros. As Figura 1 a,b e c, apresentam, respectivamente, o agregado RDC, a areia, e o cimento asfáltico de petróleo, usados na pesquisa. A areia foi proveniente de jazida localizada as margens do Rio Branco, o material de enchimento (filer) foi o Cimento Portland CP-II adquirido do mercado local e o como ligante asfáltico, o CAP 50/70.



1(a)- RDC



1(b)- areia



1(c)- CAP

Figura 1: Materiais usados na pesquisa

A metodologia utilizada foi embasada na caracterização física dos agregados, na composição das misturas asfálticas, assim como na caracterização mecânica e volumétrica dos corpos de prova de CAUQ, objetivando-se verificar o potencial do uso do RDC em obras de pavimentação, por meio da análise de suas características físicas e mecânicas avaliadas em ensaios específicos de laboratório.

Os ensaios foram majoritariamente realizados no laboratório do NUPENGE-UFRR, excetuando-se a Dosagem Marshall, ensaio Cântabro e ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral que foram realizados no 6° Batalhão de Engenharia de Construção “Batalhão Simon Bolivar”, do Exército, localizado em Boa Vista Roraima. A Tabela 1 apresenta a metodologia e o número de amostras ensaiadas para caracterização dos agregados.

Tabela 1. Ensaios de caracterização física e mecânica dos agregados graúdos e miúdos

ENSAIO	NORMA TÉCNICA	Nº DE AMOSTRAS
Massa Específica, Densidade Relativa e Absorção de Agregado Graúdo	DNIT-ME 413/2021	3
Abrasão “Los Angeles”	DNER-ME 035/98	3
Adesividade Agregados Graúdos	DNER-ME 078/94	3
Determinação do Índice de Degradação de Rochas após Compactação Marshall, ID_{ML} e ID_M	DNER-ME 401/99	6
Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado miúdo	DNIT 411/2021 - ME	3
Equivalente de Areia	DNER-ME 054/97	3



Para dosagem da mistura asfálticas foi confeccionado 45 corpos de provas, sendo nove para cada teor de CAP adotado. A Tabela 2 apresenta a massa de cada corpo de prova em função do teor de ligante asfáltico. A mistura constituída por 1250g apresentou agregados graúdos, miúdos e filer, enquadrados na média da faixa C proposta pela ES 031/2006 DNIT. Essa faixa é a mais usada na dosagem de misturas asfálticas, uma vez que produzem misturas densas, ou seja, com menos vazios e maiores massas específicas.

Tabela 2. Dosagem dos materiais para mistura asfáltica, em massa (g)

Teor de CAP	4,00%	4,50%	5,00%	5,50%	6,00%
(%) Peneira (mm)					
19,1	-	-	-	-	-
12,7	120,000	119,375	118,750	118,125	117,500
9,5	120,000	119,375	118,750	118,125	117,500
4,8	264,000	262,625	261,250	259,875	258,500
2	264,000	262,625	261,250	259,875	258,500
0,42	228,000	226,813	225,625	224,438	223,250
0,18	84,000	83,563	83,125	82,688	82,250
0,075	60,000	59,688	59,375	59,063	58,750
< 0,075	60,000	59,688	59,375	59,063	58,750
CAP	50,000	56,250	62,500	68,750	75,000
Total	1250	1250	1250	1250	1250

Seguindo a metodologia Marshall, após aquecimento do ligante (145°C) e dos agregados (165°C), os corpos de provas foram compactados na temperatura de 150°C, aplicando 50 golpes de cada lado da amostra. Ao final da compactação, o corpo-de-prova ainda dentro do cilindro Marshall foi disposto em superfície lisa e plana, mantido em repouso por no mínimo 12 horas em temperatura ambiente. Transcorrido o tempo de 12 horas, desmoldou-se os corpos-de-prova. A Figura 2 mostra o procedimento da mistura asfáltica sendo aquecida para a posterior compactação.



Figura 2: Mistura e aquecimento dos materiais para compactação dos corpos de provas

O teor ótimo de cimento asfáltico das misturas foi obtido por meio da análise de alguns parâmetros dos concretos asfálticos e de acordo com a ES 031/2006 DNIT, como: estabilidade; fluência; relação betume/vazios (RBV); percentagem de vazios (VV); vazios do agregado mineral (VAM) e massa específica aparente dos corpos de prova moldados. A Figura 3 apresenta os corpos de prova de concreto asfáltico usinado a quente resultantes.



Figura 3: Corpos-de-prova de CAUQ obtidos

Para todos os corpos de provas foram medidos o diâmetro e a altura média, além de sua massa ao ar e submersa, necessárias para o cálculo da densidade aparente, volume de vazios, relação betume vazios e resistência à tração do CAUQ. A Tabela 3 mostra os ensaios realizados e a quantidade de corpos de provas confeccionados, a partir dos corpos de provas moldados pela metodologia Marshall.

Tabela 3. Ensaios mecânicos para caracterização de misturas asfálticas

Ensaio	Norma Técnica	Número de amostras
Ensaio Marshall	DNER-ME 043/95	15
Resistência à Tração por Compressão Diametral	DNIT-ME 136/2018	15
Desgaste Cântabro	DNER-ME 383/99	15

Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

O ensaio de resistência a tração por compressão diametral (RT) foi desenvolvido por Lobo Carneiro e Barcellos no Brasil, para determinação da resistência à tração de corpos de prova de concreto-cimento, por solicitações estáticas. É um ensaio de ruptura, onde o corpo de prova é posicionado horizontalmente e a carga é aplicada progressivamente, com uma velocidade de deformação de $(0,8 \pm 0,1)$ mm/s.

As misturas asfálticas devem possuir flexibilidade suficiente para suportar as solicitações do tráfego e resistência à tração adequada para evitar rupturas precoces. A resistência a tração foi determinada por meio da equação 1.

$$RT = \frac{2F}{100\pi DH} \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

RT = Resistência a tração (MPa)

F= Força de rompimento do corpo de prova (N);

D= Diâmetro médio do corpo de prova (cm);

H = Altura média do corpo de prova (cm).

Ensaio Cântabro

Esse ensaio é preconizado pelo DNIT-ME 383/99 e foi desenvolvido originalmente para verificar o desgaste a abrasão de corpos de prova de misturas asfálticas porosas. Esse ensaio dá a ideia de coesão da mistura, quanto menos coesa maior o desgaste. Cada corpo de prova individualmente foi colocado no tambor Los Angeles e submetido a 300 revoluções da máquina. O desgaste Cântabro foi determinado com o uso da equação 2.



$$DC = \frac{P1}{P2} \times 100$$

equação (2)

Em que:

DC = Desgaste Cântabro (%)

P1 = peso do corpo de prova ao ar;

P2 = peso do corpo de prova após trezentas revoluções na máquina “Los Angeles”.

As figuras 4 a, b e c mostram, respectivamente, aspectos da realização dos ensaios de estabilidade Marshall, Resistência à tração e desgaste Cântabro das misturas pesquisadas.



(a) Estabilidade



(b) Resistência à tração



(c) Desgaste Cântabro

Figura 4: Ensaio de estabilidade, resistência à tração e desgaste Cântabro

RESULTADOS

A Tabela 4 apresenta o resumo dos resultados obtidos para caracterização física e mecânica dos agregados graúdos (RDC) e miúdos (areia).

Tabela 4. Resultados dos Ensaios de caracterização física e mecânica dos agregados graúdos e miúdos

ENSAIO	RESULTADO
Massa específica real do agregado Graúdo (kN/m^3),	2,48
Massa específica aparente do agregado Graúdo (kN/m^3)	1,93
Absorção de Agregado Graúdo (%)	11,5
Abrasão “Los Angeles” (%)	65,24
Adesividade Agregados Graúdos	Satisfatória
Determinação do Índice de Degradação de Rochas após Compactação Marshall, ID_M	9,57
Determinação do Índice de Degradação de Rochas após Compactação Marshall, ID_{ML}	9,13
Absorção do agregado miúdo	0,42
Massa específica do agregado miúdo	2,65
Densidade relativa do agregado miúdo	2,62
Equivalente de Areia	97,0

Analisando-se os valores obtidos por outros pesquisadores com resíduos de construção (Tabela 5), os resultados obtidos para o agregado graúdo estudado encontram-se dentro das referências. A massa específica real de $2,48 \text{ g/cm}^3$, apresenta-se compatível para agregados porosos, fato refletido na alta absorção dos agregados pesquisados, em torno de 11,5%,



tendo em vista a grande diferença obtida entre as massas específicas real e aparente, indicando a alta porosidade do agregado tipo RDC.

Tabela 5. Resultados de massa específica real e aparente obtido por outras pesquisas

Composição do agregado reciclado	ME _{Real} (g/cm ³)	ME _{Apar} (g/cm ³)	Autor
Misto	2,50	2,06	Lourenço (2015)
Misto – Brita “1”	2,56	2,12	Silva (2009)
Misto – Brita “1”	-	2,19	Queiroz Neto (2019)
ARC C/ CONCRETO DE 20 MPa – Brita “1”	2,69	2,39	Motter (2013)
ARC C/ CONCRETO DE 30 MPa – Brita “1”	2,70	2,42	
ARC C/ CONCRETO DE 40 MPa – Brita “1”	2,74	2,39	
ARC – Graúdo, brita 25	2,35	-	Marinho (2011) apud Motter (2013)
Misto	2,56	2,28	Brasileiro (2013)

Confrontando-se os dados obtidos para massa específica desta pesquisa com a tabela 5, percebe-se que o valor mais próximo de massa específica são os obtidos por Lourenço (2015). Salienta-se ainda que os resultados obtidos para agregados reciclados mistos são menores do que quando comparados com os agregados reciclados de concreto, que pode estar relacionado à presença de cerâmicas na amostra e a presença de cimento nos agregados que de certa forma obstrui os vazios nos agregados, diminuindo a absorção de água e gerando impacto nos valores das massas específicas, já que estas são relacionadas com o volume de vazios nos agregados.

A porosidade de um agregado frequentemente é indicada pela capacidade de absorção de água quando imerso. Ressalta-se a importância da avaliação das características de absorção, visto que um agregado poroso apresenta capacidade de absorção de ligante asfáltico, consumindo parte do ligante necessário para dar coesão a uma mistura asfáltica.

Com relação a absorção, para a presente pesquisa, justifica-se o valor de absorção de 11,47% devido ao elevado teor de materiais cerâmicos presente na amostra, que são materiais de alta porosidade, o que causa impacto diretamente na sua capacidade de absorção a água.

O ensaio “Los Angeles” indica a resistência ao desgaste dos grãos quando submetidos ao atrito, frente às ações do tráfego, bem como dos efeitos do processo de compactação. O RDC utilizado nessa pesquisa apresentou um desgaste de 65%. Segundo o DNIT-ES 031 (2006), os agregados graúdos utilizados em misturas asfálticas usinadas à quente devem apresentar desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50%. Por comparação do resultado obtido para o RDC e as especificações exigidas pela norma referenciada, observa-se o não enquadramento do material. No entanto, a mesma norma admite que, excepcionalmente, agregados com valores maiores de abrasão Los Angeles podem ser utilizados caso apresentem desempenho satisfatório em utilização anterior. A Tabela 6 apresenta resultados de outros autores para esse parâmetro.

A interpretação do resultado do ensaio Los Angeles está atrelada a composição mineralógica, estrutura da rocha e a respectiva aplicação do agregado. Na presente pesquisa o agregado utilizado foi caracterizado como um material heterogêneo, o que reflete diretamente nas características deste, assim como na interpretação do resultado. A tabela 6 apresenta valores obtidos por outros autores da abrasão “Los Angeles” de agregados RCD.

O RDC apresentou adesividade satisfatória, porém percebeu-se que os 17,5 g de ligante preconizado pela norma para realização do ensaio é insuficiente para recobrir todo agregado, devido sobretudo a alta porosidade deste tipo de material.

A massa específica real da areia foi de 2,65 g/cm³, valor semelhante ao encontrado em outras literaturas que ensaiaram amostras da mesma jazida que a utilizada nesta pesquisa. Por exemplo Léo (2018), Santos (2018) e Mesquita (2018) determinaram a massa específica real iguais a 2,61 g/cm³, 2,62 g/cm³ e 2,56 g/cm³, respectivamente. O resultado médio obtido no ensaio de equivalente de areia a partir das três amostras ensaiadas foi de 97%, apontando uma areia com baixa impureza devido à presença de pouca argila, podendo classificá-la como areia pura sob essa ótica. A norma DNIT-ES



031 (2006) estabelece limites de equivalente de areia para utilização em misturas asfálticas de CAUQ igual ou superior a 55%. Portanto, a areia utilizada nas amostras de misturas asfálticas de CAUQ, desta pesquisa, mostrou-se adequada.

Tabela 6. Resultados de Abrasão Los Angeles de pesquisas com agregados reciclados no Brasil e no mundo

Procedência do agregado reciclado	Gradação	Abrasão Los Angeles (%)	Pesquisador
Manaus/AM	Graúdo	44	Frota et al. (2004) apud Marinho (2011)
Michigan, USA	Graúdo	43	Mills-beale; You (2010)
Wuhan, China	Graúdo	37,8	Zhu et al. (2011)
Rasht, Irã	Graúdo	25,5	Arabani; Azarhoosh (2012)
Flórida, USA	Graúdo	33,9	Chini et al. (2001)
VALOR MÁXIMO		52,00	-
VALOR MÉDIO		40,51	-
VALOR MÍNIMO		25,50	-

Fonte: Adaptação de Motter (2013)

A partir da experiência de alguns agregados naturais apresentarem elevados valores de abrasão Los Angeles, no entanto apresentarem satisfatório desempenho prático ao longo dos anos quanto a esse parâmetro, o DNIT passou a recomendar a realização de outros ensaios para agregados que apresentassem o valor de abrasão Los Angeles acima do especificado. Um desses ensaios é o índice de degradação de rochas após compactação Marshall com ligante e sem ligante. A norma DNIT-031 (2006), preconiza que caso o agregado apresente índice de desgaste Los Angeles superior a 50%, poderá ser utilizado o Método DNER-ME 401, cujos valores tentativos de degradação para julgamento da qualidade de rochas destinadas ao uso do Concreto Asfáltico Usinado a Quente são: $ID_{ML} \leq 5\%$ e $ID_M \leq 8\%$.

Percebe-se que tanto o ID_{ML} como o ID_M encontram-se fora dos limites de aceitação especificados pela norma citada. Observa-se que o índice de degradação Marshall com ligante apresentou índice de degradação da ordem de 9,13%, portanto uma acentuada diferença com o que solicita a norma DNIT-031 (2006), isto é, 5%. Pode-se associar tal fato à quantidade de ligante utilizada para execução do ensaio, ou seja, 5% em peso de ligante, não sendo suficiente para completo envolvimento dos agregados pelo ligante asfáltico. É importante ressaltar que o ensaio é realizado para materiais pétreos naturais, sendo oportuno salientar que deve haver adaptações quando da utilização de RDC para uma melhor adequação do ensaio aos agregados reciclados, e que a quebra inicial que apresenta o RDC é uma característica que não necessariamente está relacionada com baixo desempenho do mesmo em serviço.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos de peso específico aparente, peso específico real, volume de vazios, relação betume vazios, estabilidade e fluência em função do teor de ligante asfáltico, obtido para misturas asfálticas, enquadrada na faixa C do DNT, com emprego de resíduo de construção seguindo-se a metodologia Marshall.

Tabela 7. Resultados do ensaio Marshall para misturas CAUQ com RDC

CAP (%)	Peso específico aparente (kN/m ³)	Peso específico teórico (kN/m ³)	Vv (%)	RBV (%)	Estabilidade (kN)	Fluência (mm)
4,00	20,15	24,93	19,16	29,20	6,77	3,30
4,50	20,16	24,85	18,90	32,00	8,55	3,84
5,00	20,19	24,78	18,54	34,81	7,24	4,28
5,50	20,20	24,71	18,24	37,39	8,98	4,08
6,00	20,31	24,64	17,56	40,50	9,70	4,07



De forma geral, destaca-se na Tabela 7 que com o aumento de teor de ligante asfáltico na mistura promove um aumento no peso específico aparente, relação betume vazios, estabilidade e fluência. Em contrapartida, há uma redução no valor do peso específico teórico e volume de vazios. Como o CAP tem massa específica inferior à dos demais agregados, já era de se esperar a diminuição da massa específica aparente. Com o aumento do CAP na mistura esse vai envolvendo melhor os agregados e contribui para diminuição do volume de vazios, tornando a mistura mais flexível e mais estável, se usado acima de um determinado teor ótimo impactará na redução da estabilidade e aumento significativo de flexibilidade (fluência), assim como tendência na redução da resistência à tração das misturas asfálticas.

Do comportamento da estabilidade, percebe-se a elevação desta com o aumento de CAP, sendo que a maior estabilidade ocorreu para o teor de CAP de 6,00%, sendo igual a 9,7 kN. É oportuno destacar que esse valor atende aos requisitos da norma DNIT-ES 031 (2006), que estabelece para camada de rolamento de pavimentos asfálticos estabilidade mínima de 500 kgf (5KN).

Destaca-se ainda que todos os resultados de estabilidade obtidos nesta pesquisa atendem às especificações da norma supracitada. Autores como Motter (2013) obteve uma maior estabilidade entre 1.200 e 1.310 kgf quando aplicado 6% de material betuminoso. Já Lourenço et al. (2015), também utilizando agregados reciclados em revestimento asfáltico, obteve resultados de estabilidade da ordem de 1.468,7 kgf. Quiñones (2014) também encontrou resultados semelhantes que ultrapassaram os 1.400 kgf, os resultados apontam para coerência dos obtidos neste trabalho. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para a resistência à tração dos corpos de provas em função do teor de CAP usado.

Tabela 8. Resultado de resistência à tração para misturas com resíduo de construção

CAP (%)	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Carga de ruptura (N)	Resistência à tração (MPa)	σ_R Média (MPa)
4,00	79,65	102,66	7343,51	0,57	0,58
	80,61	101,66	7444,10	0,58	
	82,62	101,77	7846,49	0,59	
4,50	81,97	101,96	7444,10	0,57	0,61
	82,02	101,74	7544,70	0,58	
	78,52	102,99	8852,45	0,70	
5,00	78,44	102,82	8248,87	0,65	0,67
	79,96	101,68	8248,87	0,65	
	79,80	101,49	8953,04	0,70	
5,50	77,35	102,63	9456,02	0,76	0,70
	79,42	102,03	8450,06	0,66	
	80,38	102,20	8812,21	0,68	
6,00	78,69	102,18	10059,6	0,80	0,81
	78,42	102,33	9858,41	0,78	
	77,27	102,92	10663,18	0,85	

A resistência à tração por compressão diametral RT já faz parte de algumas especificações de misturas asfálticas. A norma DNIT-ES 031 (2006) especifica o valor mínimo de RT igual a 0,65 MPa para concretos asfálticos. Analisando-se os dados da tabela 8 percebe-se que apenas a mistura asfáltica com 4,00% de CAP está fora das especificações da norma supracitada, isto é, 0,58 MPa < 0,65 MPa. Por inspeção da tabela supracitada, observa-se o aumento da resistência à tração de acordo com o aumento do teor de ligante asfáltico na mistura.

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos na pesquisa para o ensaio Cântabro com corpos de provas de CAUQ fabricados com diferentes teores de CAP.

Tabela 9. Resultado do ensaio Cântabro em misturas asfálticas com resíduos de construção e demolição

Teor de CAP (%)	Média		Desgaste (%)
	Massa inicial (g)	Massa final (g)	
4,00	1223,17	936,98	23,39
4,50	1209,15	979,09	19,06
5,00	1223,76	1052,11	14,02
5,50	1221,94	1105,72	9,51
6,00	1226,13	1140,91	6,95



O desgaste Cântabro avalia a resistência ao arrancamento de agregados da camada de rolamento sob efeito do atrito entre pneu e o pavimento. Analisando-se os dados obtidos, percebe-se que o desgaste Cântabro decresce à medida que aumenta o teor de ligante asfáltico das misturas. Tal fato deve-se ao melhor envolvimento dos agregados com o aumento do teor de ligante, conferindo-lhe maior flexibilidade às misturas absorvendo de forma mais atenuada ações atuantes.

A norma DNIT-ES 031 (2006) não especifica valores de referência para o ensaio Cântabro, no entanto o ensaio foi originado para analisar a resistência à degradação de misturas asfálticas drenantes ou porosas, para essas misturas o limite tolerável é de 25%. Apesar de o ensaio não ser específico para misturas asfálticas densas, caso desta pesquisa, o ensaio Cântabro sugere a coesão e a estabilidade da mistura.

A partir da análise da Tabela 9 nota-se que o desgaste médio obtido para cada teor de ligante asfáltico atende às especificações da literatura. É oportuno destacar que mesmo para mistura asfáltica com menor teor de CAP (4%) o desgaste está dentro do preconizado.

CONCLUSÃO

O resíduo de demolição de construção (RDC) pesquisado apresentou bom potencial de uso em concreto asfáltico para rodovias de tráfego leve.

A caracterização física do RDC mostrou que este apresentou elevada absorção (11,5%), elevado desgaste por abrasão Los Angeles (65%), Índices de degradação Marshall sem e com ligante, respectivamente de 9,57% e 9,13%, massa específica aparente de 1,93 g/cm³ e massa específica real de 2,48 g/cm³. Valores semelhantes ao encontrado na literatura para esses tipos de agregados.

O agregado RDC pesquisado apresentou boa adesividade ao ligante asfáltico, porém observou-se que a quantidade de ligante (17,5g) era insuficiente para recobrir os agregados, devido sobretudo a alta absorção destes. Sugere-se teores de 6% de CAP em relação a massa de agregado usada.

O teor de CAP recomendado para o ensaio de adesividade e Índice de degradação Marshall são para agregados tradicionais (granito, basalto, seixo), para agregados RDC é insuficiente e impactam negativamente na determinação desses parâmetros.

Os procedimentos de dosagens de misturas asfálticas por amassamento, e não por impacto, pode induzir menor degradação ao agregado, e provavelmente proporcionar melhores resultados mecânicos, demonstrando-se mais adequado à realidade de campo.

A mistura asfáltica densa com o uso do RDC mostrou que era necessário aplicar um teor de CAP superior ao utilizado nesta pesquisa de modo a enquadrar os resultados obtidos para volume de vazios (Vv) e Relação betume vazios (RBV) nas especificações técnicas exigidas pelo DNIT para uso da mistura asfáltica em rodovias de alto volume de tráfego.

Verifica-se claramente, observando o comportamento da estabilidade, que com 6% de CAP na mistura pesquisada ainda apresentava comportamento de ascendente. A estabilidade como sabe-se cresce até um valor máximo e passa a decair quando é usado excesso de CAP, pois em excesso passa a lubrificar as partículas, diminuindo o atrito e, assim sendo, provoca queda da estabilidade e aumento na fluência.

Notou-se para o uso de 6% de CAP Resistência à tração de 0,81MPa, superior a mínima exigida pelo DNIT de 0,65 MPa. Importante parâmetro, que conduz as misturas a ser resistente a desgaste prematura por fadiga (trincamento). Para o teor de CAP 6% critérios como estabilidade, fluência, desgaste e resistência à tração atendem a ES 031:2006 DNIT. Não atende a volume de vazios e RBV, o que pode ser atingidos com teores de CAP maiores, desde que os demais parâmetros continuem a atender as especificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON). MARE – Manual de Aplicação do Agregado Reciclado. São Paulo: ABRECON, 2019.



2. Brasileiro, L. L. Utilização de agregados reciclados provenientes de RCD em substituição ao agregado natural no concreto asfáltico. 2013. Dissertação. (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013
3. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, 17 de março de 2005**. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamentos de efluentes nos corpos receptores e dá outras providências
4. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. **NORMA DNIT 031/2006 – ES**. Pavimentos flexíveis–Concreto asfáltico. Rio de Janeiro, RJ, 2006.
5. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Manual de pavimentação. Publicação IPR – 719. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 2006.
6. Lédo, B. C. Mistura asfáltica tipo AAUQ com uso de pó de pedra basáltica como filer. 2018. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2018
7. Lourenço, V. M. de Q.; Cavalcante, E. H. Dosagem de Misturas Asfálticas do Tipo CAUQ Utilizando Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição. In: 44ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação e 18º Enacor – Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Foz do Iguaçu, 18 a 21 ago. 2015. Anais... Foz do Iguaçu: RAPv, 2015. Disponível em: . Acesso em: 22 out. 2021.
8. Mesquita, A. K. N. Mistura asfáltica tipo areia-asfalto usinada à quente fabricado com areia extraída de uma jazida às margens do Rio Branco, em Boa Vista-Roraima. 2014. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 2014
9. Motter, J. S. Propriedades de concretos betuminosos usinados a quente com o uso de agregado graúdo reciclado de concreto. 2013. 271 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
10. Queiroz Neto, M. L. Aplicação de concreto asfáltico a quente utilizando resíduos da construção e demolição de obras (RCD) em via urbana na cidade de Natal/RN. 2019. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.
11. Santos, A. G. Avaliação do custo de construção de uma estrutura de pavimento empregando agregado reciclado de RCD. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, v. 10, n. 1, 2015. Disponível em: Acesso em: 25 out. 2021.
12. Silva, C. A. R. da. Estudo do agregado reciclado de construção civil em misturas betuminosas para vias urbanas. 2009. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.