

ÁREA TEMÁTICA: GESTÃO AMBIENTAL: RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

APLICAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD DA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA EM PAVIMENTOS URBANOS

João Carlos de Oliveira¹, Jordana Portilho Neves², Katya Caroline de Carvalho Moura³, Mailda Eterna de Oliveira⁴, Sara Silvia Batista Leite⁵ e Lucas Jacob Queiroz⁶

1Orientador, Professor Doutor em Geotecnia do Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, joaocarlosifg@gmail.com

2Tecnóloga em Construção de Edifícios e Graduada em Engenharia Civil, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, jordanapn@hotmail.com

3Tecnóloga em Estradas, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, katya.coraline@gmail.com

4Tecnóloga em Estradas, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, mailda.eo@gmail.com

5Tecnóloga em Estradas, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, sarabatista17@hotmail.com

6Tecnólogo em Estradas, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, lucasjacob-q@hotmail.com

RESUMO

A necessidade de atender ao aumento das exigências por parte das entidades governamentais e da sociedade quanto à redução do impacto ambiental e econômico causado pela grande quantidade de resíduos de construção e demolição gerados e descartados inadequadamente no meio ambiente torna-se cada vez mais latente na sociedade moderna. Embora já exista uma legislação rigorosa em vigor, a sua aplicação ainda pode ser considerada incipiente. Visando avaliar uma das alternativas para redução desses impactos no meio ambiente, a presente pesquisa avaliou as potencialidades da aplicação de agregados reciclados de resíduos sólidos de construção e demolição, comumente designados de resíduos de construção e demolição - RCD, em camadas de bases e sub-bases de pavimentos asfálticos, por meio de ensaios de laboratório, em substituição aos agregados naturais. Para tanto, foram obtidas amostras de agregados reciclados produzidos comercialmente na região metropolitana de Goiânia, feita a sua caracterização de acordo com as normas técnicas vigentes, sendo realizados os ensaios de granulometria por peneiramento, massa específica dos grãos, abrasão Los Angeles e índice de forma pelo método do paquímetro. Após a realização da caracterização das amostras, fez-se um estudo de dosagem para mistura das frações e enquadramento em uma das faixas granulométricas especificadas para bases e realizados os ensaios de compactação e índice de suporte Califórnia (ISC ou CBR). Os valores obtidos demonstraram que os agregados reciclados possuem um grande potencial para serem empregados em camadas de base e sub-base estabilizadas granulometricamente, em pavimentos urbanos.

Palavras-chave: Agregados Reciclados de RCD; RCD em pavimentação; Resíduos sólidos de construção e demolição.

APPLICATION OF RECYCLED AGGREGATES OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION SOLID WASTE OF THE METROPOLITAN REGION OF GOIÂNIA IN URBAN PAVEMENTS

ABSTRACT

The need to meet increasing demands by government and society for reducing the environmental and economic impact caused by the large amount of construction and demolition waste generated and disposed of inappropriately in the environment becomes increasingly latent in modern society. Although there is already strict legislation in place, its application can still be considered incipient. Aiming to evaluate one of the alternatives to reduce these impacts on the environment, this research evaluated the potential of the application of recycled aggregates of solid construction and demolition wastes, commonly referred to as building and demolition wastes - RCD, in layers of bases and sub-bases of asphalt pavements by means of laboratory tests, replacing the natural aggregates. For this, samples of recycled aggregates produced commercially in the metropolitan region of Goiânia were made according to the current technical standards, being carried out the particle-size analysis, grain specific mass, Los Angeles abrasion and shape index by the pachymeter method. After the characterization of the samples, the mixture study was done to mix the fractions and to fit into one of the granulometric bands specified for bases and the compaction and California Bearing Ratio tests (ISC or CBR). The obtained values demonstrated that the recycled aggregates have a great potential to be used in base layers and sub-base stabilized granulometrically in urban pavements.

Keywords: Recycled RCD Aggregates; RCD in paving; Solid construction and demolition waste.

1. INTRODUÇÃO

O reaproveitamento e a reciclagem dos resíduos sólidos de construção e demolição - RCD são bastante benéficos tendo em vista que minimizam a quantidade de resíduos depositados em aterros públicos e “bota-foras” clandestinos, solucionando assim esse grande problema dos meios urbanos, bem como diminuindo a demanda por matérias-primas de jazidas naturais finitas. Os agregados reciclados de resíduos sólidos de construção e demolição podem ser utilizados para produção de tijolos, blocos de concreto, argamassas, aplicação em bases e sub-bases de pavimentos, dentre outros.

Os RCD são compostos geralmente por tijolos cerâmicos, restos de concreto, telhas, areia, pedras, madeira, plásticos, papelão, papel e metais, sendo que o entulho de concreto geralmente é a parte mais expressiva deste tipo de resíduo (POON et al, 2002). A resolução nº 307/02, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (CONAMA, 2002), alterada pelas Resoluções nº 469/2015, Resolução nº 448/12, Resolução nº 431/11 e Resolução nº 348/04, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. Segundo a resolução nº 307, os resíduos classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;

b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;

c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras (CONAMA, 2002, p. 2).

A presente pesquisa objetivou caracterizar agregados reciclados de resíduos sólidos da construção e demolição produzidos na região metropolitana de Goiânia de acordo com as normas brasileiras de pavimentação e avaliar as suas propriedades em relação aos materiais granulares usualmente empregados nas camadas de base e sub-base de pavimentos.

2. OBJETIVO

Caracterizar agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil produzidos na região metropolitana de Goiânia de acordo com as normas brasileiras de pavimentação e avaliar as suas propriedades em relação aos materiais granulares usualmente empregados nas camadas de base e sub-base de pavimentos.

3. METODOLOGIA

3.1 Seleção e coleta das amostras de RCD

A coleta das amostras foi realizada de acordo com a NBR NM 26 (ABNT, 2009) em uma empresa de resíduos sólidos situada na região metropolitana de Goiânia, em Aparecida de Goiânia. As amostras foram coletadas nas pilhas em diferentes pontos, retirando-se a camada exterior, que está sujeita a segregação. Na empresa, os resíduos de RCD são transformados, por meio de britagem e denominados, nos seguintes produtos: areia reciclada; pedrisco reciclado; brita reciclada; BGS e rachão.

De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – ABRECON, conforme demonstrado na Tabela 1, os agregados reciclados, em função da granulometria possuem diferentes aplicações na construção civil.

Tabela 1. Principais aplicações dos agregados reciclados de RCD na construção civil.

Produto	Características	Uso Recomendado
Areia reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 4,8 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Argamassas de assentamento de alvenaria de vedação, contrapisos, solo-cimento, blocos e tijolos de vedação.
Pedrisco reciclado	Material com dimensão máxima característica de 6,3 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de artefatos de concreto, como blocos de vedação, pisos intertravados, manilhas de esgoto, entre outros.
Brita reciclada	Material com dimensão máxima característica inferior a 39 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.	Fabricação de concretos não estruturais e obras de drenagens.

Brita graduada simples Material proveniente da reciclagem de resíduos da construção civil, livre de impurezas, com dimensão máxima característica de 63 mm (ou a critério do cliente).

Obras de base e sub-base de pavimentos, reforço e subleito de pavimentos, além de regularização de vias não pavimentadas, aterros e acerto topográfico de terrenos.

Rachão Material com dimensão máxima característica inferior a 150 mm, isento de impurezas, proveniente da reciclagem de concreto e blocos de concreto.

Obras de pavimentação, drenagens e terraplenagem.

Fonte: ABRECON apud UrbemTecnologia Ambiental (2019).

3.2 Preparação e caracterização das amostras de RCD

Após chegar ao laboratório, as amostras denominadas de brita 1 (B1), brita 0 (B0) e areia (A) de RCD, foram homogeneizadas e quarteadas manualmente a fim de se obter partes representativas para a realização dos ensaios de caracterização, seguindo orientações da NBR 6457 (ABNT, 2016). Para o ensaio de granulometria por peneiramento foram pesados 10,5 kg de brita 1, 7,5 kg de brita 0 e 1,2 kg de areia. Após a pesagem as mesmas foram colocadas em estufa a 105 °C durante 24 horas e posteriormente realizados os ensaios, conforme as orientações da norma DNER- ME 083 (DNER, 1998).

Para realizar os ensaios de massa específica dos grãos maiores que 4,8 mm, com as amostras de agregados graúdos de RCD, brita 1 e brita 0, foram pesadas amostras de 2,5 kg de cada, das frações retidas na peneira de 4,8 mm de abertura. Da amostra de areia de RCD, foram pesados 500 g de amostra. Todas as amostras foram levadas para secar em estufa a uma temperatura de 105 °C e os ensaios realizados de acordo com as recomendações da norma NBR 6458 (ABNT, 2017).

O ensaio de abrasão “Los Angeles” foi realizado utilizando a graduação B da norma DNER-ME 035 (DNER, 1998), sendo então composta uma amostra inicial de 5000 ± 10 g, sendo formada pela junção de duas frações de RCD, conforme as recomendações da norma.

O ensaio de índice de forma dos agregados graúdos de RCD foi realizado pelo método do paquímetro, de acordo com a norma NBR 7809 (ABNT, 2019).

3.3 Ensaio de compactação, expansão e CBR

O ensaio de compactação foi realizado conforme a norma NBR 7182 (ABNT, 2016), com objetivo de determinar a umidade ótima e a massa específica aparente seca máxima. Para realização do ensaio, as amostras de RCD (B0, B1, A) foram misturadas e enquadradas na faixa C da norma do DNIT ES 303 (1997) – Base Estabilizada Granulometricamente. Após a compactação foi realizado o ensaio de suporte Califórnia (ISC ou CBR) padronizado pela norma NBR 9895 (ABNT, 2017).

3.4 Índice de Degradação Próctor (IDP)

O Índice de Degradação Próctor (IDP), conforme DNER – ME 398 (DNER, 2016), refere-se à média da diferença da granulometria antes e depois da compactação (nas peneiras padronizadas). Para a determinação do mesmo, duas das amostras preparadas foram levadas à estufa, uma sem

compactar e a outra já compactada, sendo posteriormente realizados ensaios de análise granulométrica com as mesmas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise granulométrica por peneiramento

A Tabela 2 apresenta o resultado dos ensaios de granulometria por peneiramento realizado com as três amostras de agregados reciclados. A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas dos referidos agregados.

Tabela 2. Análise granulométrica dos agregados reciclados de RCD

Peneiras		Brita 1 (B1)				Brita 0 (B0)				Areia (A)			
Nome	Abertura (mm)	M ret	% ret	% ret acumul	% passa	M ret	% ret	% ret acumul	% passa	M ret	% ret	% ret acumul	% passa
1 1/2	38,1												
1	25,4	0	0	0	100								
3/4	19,1	144	1,4	1,4	98,6								
1/2	12,7	4101	39,1	40,4	59,5				100				
3/8	9,52	3308	31,5	71,9	28	115	1,5	1,5	98,5				
1/4	6,63	2443	23,3	95,2	4,7	2190	29,2	30,7	69,3	0	0	0	100
4	4,8	218	2,1	97,3	2,6	2719	36,3	67	33	0,01	0,92	0,9	99,08
10	20	98	0,9	98,2	1,7	2055	27,4	94,4	5,6	0,23	19,5	20,42	79,58
16	1,2			98,2				94,4		0,23	19,25	39,67	60,3
30	0,6			98,2				94,4		0,25	20,92	60,59	39,41
40	0,4			98,2				94,4		0,11	9,25	69,84	30,16
60	0,25			98,2				94,4		0,15	12,25	82,09	17,91
100	0,15			98,2				94,4		0,09	7,33	89,42	10,58
200	0,075			98,2				94,4		0,08	6,33	95,75	4,25
Fundo		144	1,4	99,6		404	5,4	99,8		0,05	4,25	100	
Total		10456	99,6			7483	99,8			1200	100		

Fonte: Autores (2018).

Tabela 4. Desgaste dos agregados reciclados por abrasão “Los Angeles”

Massa seca inicial da amostra (g)	5008
Massa seca final da amostra (g)	3050
Perda por abrasão (%)	39

1. Fonte: Autores (2018).

4.4 Índice de Forma

O índice de forma obtido pelo método de paquímetro, que de acordo com a NBR 7809 (ABNT, 2019), é a média aritmética da relação entre o comprimento e a espessura de 200 grãos do agregado, conforme a quantidade de grãos que cada fração granulométrica possui, apresentou um valor igual a 2,4 que é satisfatório de acordo com a norma específica, cujo valor limite é ≤ 3 , pois quanto mais lamelar o agregado, maior será o valor de índice de forma.

4.5 Constituição dos grãos dos agregados de RCD

A Tabela 5 apresenta os tipos e os percentuais dos grãos que constituem os agregados reciclados estudados. A contagem dos grãos foi feita utilizando a amostra proveniente do ensaio de índice de forma. Observando a tabela, verifica-se a predominância de grãos cimentícios e de pedras britadas. A amostra também apresentou contaminação de grãos que não se enquadram na classe A, embora em pequenas proporções, como gesso e madeira.

Tabela 5. Constituição dos grãos dos agregados de RCD

Material	Quant.	Percentual
Cerâmica	10	5
Cimentício*	78	39
Gesso	2	1
Madeira	1	0,5
Pedra	99	49,5
Tijolo	10	5
Total	200	100

*grãos de argamassa ou agregado envolvido com argamassa.

Fonte: Autores (2018).

4.6 Enquadramento na faixa granulométrica de base estabilizada granulometricamente

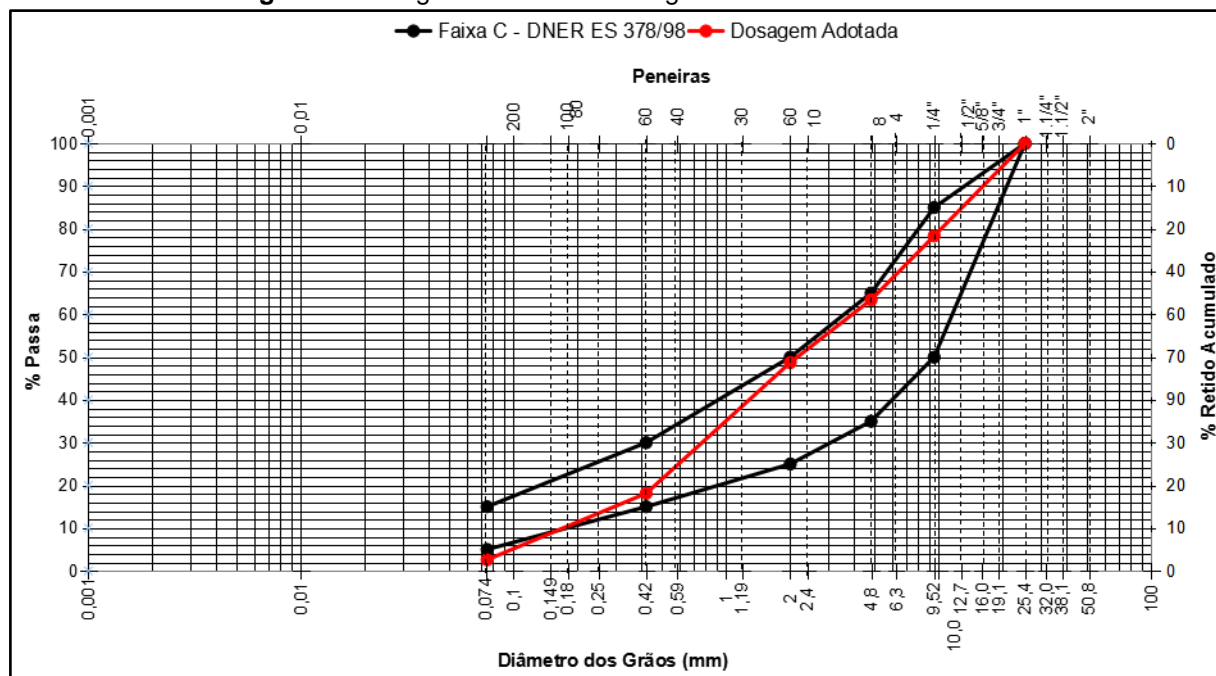
A Tabela 6 e a Figura 2 apresentam a composição dos agregados para enquadramento na faixa C de base estabilizada granulometricamente, conforme a norma DNER ES 378 (DNER, 1998). Para realizar o enquadramento foram determinados, os seguintes percentuais de agregados: 30% de brita 1, 10% de brita 0 e 60% de areia. Observa-se pela tabela que o percentual retido de finos, passante na peneira 200, apresentou um valor menor que o mínimo estipulado na faixa; apesar disso, em função de se haver optado por uma dosagem composta apenas com RCD, a fim de avaliar seu comportamento sem adição de outros materiais, esta composição foi adotada.

Tabela 6. Composição granulométrica de RCD adotada

Peneira	Brita 1	30%	Brita zero	10%	Areia	60%	Dosagem	FX C	FX C	
Nome	Abertura (mm)	% Passa								
1"	25,4	100	30	100	10	100	60	100	100	
3/8"	9,5	27,9	8,4	99,8	10	100	60	78,4	50	85
N° 4	4,8	2,3	0,7	32,8	3,3	99,1	59,5	63,4	35	65
N° 10	2	1,4	0,4	5,5	0,6	79,6	47,8	48,7	25	50
N° 40	0,42	0	0	0	30,2	18,1	18,1	15	30	
N° 200	0,075	0	0	0	4,3	2,6	2,6	5	15	

Fonte: Autores (2018).

Figura 2. Dosagem adotada e faixa granulométrica de referência



Fonte: Autores (2018).

4.7 Ensaio de compactação

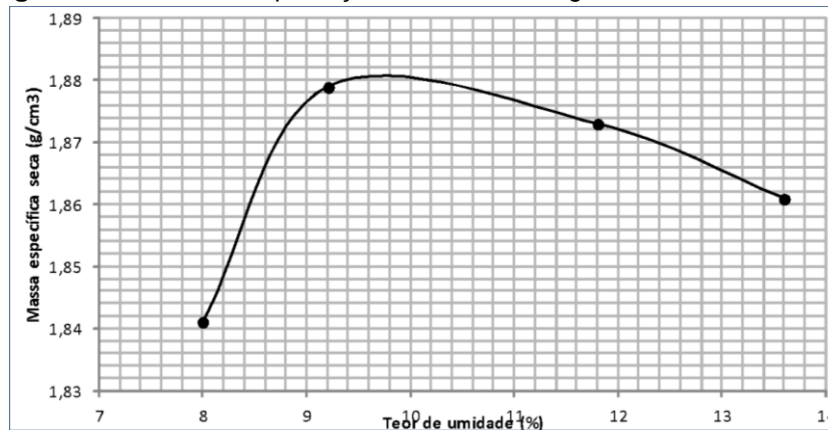
A Tabela 7 e a Figura 3 apresentam os dados de compactação e a curva de compactação da dosagem de agregados reciclados na faixa C, de base estabilizada granulometricamente, utilizando a energia do Proctor Intermediário. Embora tenham sido compactados seis corpos de prova, dois apresentaram uma grande dispersão em relação aos demais e, portanto, foram descartados. Os valores de umidade ótima e massa específica seca máxima encontrados foram respectivamente iguais a 9,7 % e 1,88 g/cm³ (18,44 kN/m³).

Tabela 7. Resumo do ensaio de compactação

w (%)	8	9,2	11,8	13,6
ρ_d	1,841	1,879	1,873	1,861

Fonte: Autores (2018).

Figura 3. Curva de compactação do RCD – energia Próctor intermediário



Fonte: Autores (2018).

4.8 Ensaio de Índice de Suporte Califórnia – ISC OU CBR

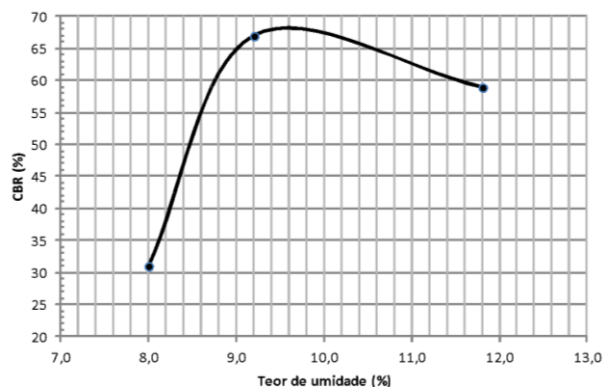
A Tabela 8 e as Figuras 4 e 5 apresentam os resultados de expansão e CBR obtidos. Os valores de CBR e expansão correspondentes à umidade ótima de compactação encontrados foram, respectivamente, os seguintes: CBR = 68% e expansão = 0,1%. Estes valores atendem aos valores especificados na norma de base estabilizada granulometricamente (DNER-ES 378/98) que são os seguintes: CBR mínimo = 60% e expansão máxima (Exp) = 0,5%. Como os valores de expansão encontrados foram muito pequenos, os mesmos foram analisados com uma e duas casas decimais.

Tabela 8. Resumo dos ensaios de compactação e CBR

Molde N°	49	52	64
w (%)	8	9,2	11,8
CBR (%)	31	67	59
Exp (%)	0,02	-0,02	0,07
Exp (%)	0	0	0,1

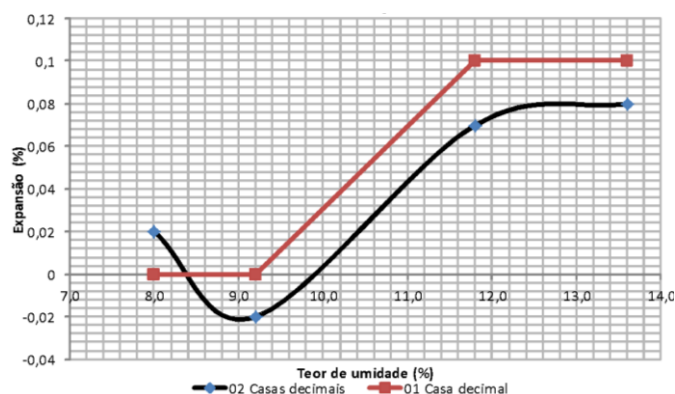
Fonte: Autores (2018).

Figura 4. Curva de CBR após a imersão de 96 horas



Fonte: Autores (2018).

Figura 5. Curva de expansão com diferentes precisões



Fonte: Autores (2018).

4.9 Índice de Degradação Próctor (IDP)

O resultado obtido para o índice de degradação Próctor foi igual a 6,7 ficando acima do estabelecido pela norma que é ≤ 6 para rochas naturais. A Tabela 9 apresenta os dados do ensaio de índice de degradação Próctor.

Tabela 9. Granulometria da amostra após compactação

Abertura (mm)	% Passa calculado	% Passa antes	% Passa depois	Diferença	Média = IDp
25,4	100				
9,5	78,4	100	100		
4,8	63,4	43,9	55,9	12	
2	48,7	27,5	37,4	9,9	
0,42	18,1	7,5	12,5	4,9	
0,075	2,6	0,2	0,2	0	6,7

Fonte: Autores (2018).

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

A caracterização dos agregados reciclados de RCD evidenciou que os agregados reciclados obtidos de resíduos classe A apresentam características e propriedades que os habilitam ao emprego em camadas de base e sub-base de pavimentos. Os mesmos podem ser utilizados em substituição ou como mistura com os materiais granulares usualmente empregados em pavimentação.

Embora algumas das características e propriedades dos agregados reciclados de RCD se demonstrem inferiores às dos agregados naturais, como o índice de degradação Próctor, é possível empregá-los em pavimentos de baixo a médio tráfego em vias de pavimentos urbanos.

A capacidade de suporte da dosagem de agregados reciclados estudada apresentou valores bastante satisfatórios e expressivos em termos de CBR e baixos ou praticamente nulos valores de expansão. Estas propriedades são fundamentais para aplicação em pavimentação.

Para a realização de trabalhos futuros, sugere-se um estudo de aplicação dos agregados reciclados de RCD em pavimentos urbanos reais, para assim determinar o custo benefício de tais agregados, tanto economicamente como ambientalmente.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809: Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 26: Agregado - Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/entulho/mercado/>>. Acessado em: 20 de jun. 2019.

CONAMA: CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 307. Distrito Federal. Brasil. 2002.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 035/98: Agregados – Determinação da Abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 083/98: Agregados – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ES 378/98: Pavimentação – Base Estabilizada Granulometricamente com Utilização de Solo Laterítico. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ES 398/2016: Agregados – Índice de Degradação Após Compactação Proctor (IDp). Rio de Janeiro, 2016.

POON, C. S.; KOU, S. C.; LAM, L. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China. *Construction and Building Materials* 16, 2002.