

PRODUÇÃO DE CONCRETO SUSTENTÁVEL NO SERTÃO PERNAMBUCANO

Klenyston de Sousa Xavier (1); Maria Jenae de Sousa Xavier (2); Camila Macêdo Medeiros (3);
Eduardo da Cruz Teixeira (4)

(1) IF Sertão PE, campus Salgueiro – Grupo de Pesquisa Materiais não convencionais. klenyston_xavier@hotmail.com

(2) IF Sertão PE, campus Salgueiro – Grupo de Pesquisa Materiais não convencionais. mariajeane.sx@hotmail.com

(3) IF Sertão PE, campus Salgueiro – Grupo de Pesquisa Materiais não convencionais. camilamedeirosm@gmail.com

(4) IF Sertão PE, campus Salgueiro – Grupo de Pesquisa Materiais não convencionais. educrtx@hotmail.com

Resumo

A busca por novos materiais que possam trazer mais sustentabilidade e reduzir os custos da construção civil tem se mostrado alvo de diversas pesquisas. Quando se trata de concreto, o RCD (resíduo de construção e demolição) tem sido um material bastante estudado, no entanto, é preciso que sua resistência seja suficiente às necessidades do mercado, sendo o fator resistência influenciado fortemente pela sua zona de transição, presente na microestrutura do concreto. Diante disso, esta pesquisa buscou apresentar a produção de concreto sustentável produzido a partir de pesquisas realizadas no sertão pernambucano, utilizando resíduos da indústria da construção civil da região. Resultados técnicos mostram a viabilidade técnica do beneficiamento desses resíduos por parte das empresas públicas e privadas para fins não estruturais, garantindo um impacto ambiental de menor proporção na produção de concretos com agregados reciclados. Ensaios de caracterização dos agregados e das propriedades físicas dos concretos produzidos a partir de substituições parciais dos mesmos foram realizados ressaltando as referências de normas técnicas. Os resultados se mostraram compatíveis com a possibilidade da produção de concretos sustentáveis utilizando os resíduos do sertão pernambucano, associando como uma atitude sustentável do poder público e das empresas privadas da região.

Palavras chaves: concreto sustentável, RCD, sertão pernambucano, Salgueiro.

INTRODUÇÃO

Ao se tratar de impactos ambientais, o setor da construção civil é considerado o principal gerador de resíduos de toda sociedade, estimativas apontam para uma produção mundial entre 2 e 3 bilhões de toneladas/ano. Estima-se, ainda, que a construção civil é responsável por algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade (SJÖSTRÖM, 1992).

Carvalho (2008) afirma que não se pode constatar que o setor da construção civil possui uma consciência ambiental. O que se percebe é a busca de tecnologia mais limpa ou de ecoeficiência que diminua os custos e atenda às exigências legais e dos clientes, sendo que o ganho ambiental é uma consequência dessas ações. Nesse sentido, o despertar da questão ambiental está bem próximo ao uso de novas tecnologias, às discussões mundiais e nacionais sobre meio ambiente, à internalização das externalidades, à aplicação de legislações ambientais e à conscientização da sociedade, sendo o setor quase que obrigado a se posicionar em resposta a todos esses estímulos e exigências.

No Brasil, as políticas públicas consideram a viabilidade técnica e econômica de produção e uso de materiais provenientes da reciclagem de Resíduos da Construção e Demolição (RCD), como explicita a Resolução CONAMA 307/2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais. Com isto, a reciclagem dos resíduos surge como uma alternativa sustentável, além trazer inúmeras vantagens.

A substituição dos agregados convencionais por agregados reciclados apresenta diversas vantagens, como economia na aquisição de matéria-prima, diminuição da poluição gerada pela produção dos agregados e melhora na preservação das reservas naturais de matéria-prima do planeta (PEREIRA et al, 2012).

A cidade de Salgueiro-PE está localizada no sertão central, é cortada pelas principais vias do nordeste, acolhe hoje duas grandes obras do governo federal: a Transnordestina e a Transposição do Rio São Francisco, além de programas do governo, como o Minha Casa, Minha Vida.

Com o crescimento econômico e habitacional, cresce junto o setor da construção civil. Esse fator, embora positivo, do ponto de vista econômico, pode ser preocupante caso não haja uma preocupação ambiental com o resíduos gerados pelas construções.

O Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano tem como propósito levar o desenvolvimento educacional e tecnológico para as regiões de seu alcance. Com sede em Petrolina, e campus na zona rural deste município, na Mesorregião do São Francisco, o IF-Sertão atende também a outras Mesorregiões do Sertão, através dos seus Campus localizados em Floresta, Ouricuri, Serra Talhada, Santa Maria da Boa Vista e Salgueiro.

Diante deste contexto, tomado pela premissa do desenvolvimento econômico da cidade de Salgueiro e do Sertão Central de Pernambuco, o IF Sertã PE, campus Salgueiro, os grupos de pesquisa ITEC

(Inovação e Tecnologia na Engenharia Civil) e Desenvolvimento de Materiais não convencionais, ambos sediados no campus Salgueiro, vêm estudando a viabilidade técnica e econômica de concretos sustentáveis, utilizando agregados e aglomerantes oriundos de resíduos da indústria da construção civil (RCD) e cerâmica vermelha (chamote).

O objetivo deste trabalho é apresentar a viabilidade técnica da produção desses concretos sustentáveis para fins de uso não estrutural, produzidos com resíduos gerados no sertão pernambucano. O projeto tem o apoio de parceria público privada, administração pública municipal e conta com financiamento de pesquisa através do Programa de Bolsas de Iniciação Científica, além de auxílio pesquisador.

MATERIAIS E MÉTODOS

O RCD (Resíduo de Construção e Demolição) utilizado neste trabalho é oriundo da cidade de Salgueiro-PE, armazenado e transportado pela prefeitura municipal desta cidade, sendo este material utilizado como base dos projetos de pesquisa executados no Campus Salgueiro.

O referido material, trabalhado no laboratório de Materiais de Construção do Curso de Edificações, trata-se do RCD beneficiado/britado em forma de agregado graúdo reciclado, caracterizados nas granulometrias nº 12 e nº 19, conforme o agregado graúdo convencional, de origem granítica, encontrado no mercado local.

Neste caso, foi utilizado o RCD de Classe A, dando origem ao agregado reciclado oriundo basicamente de materiais da Indústria Cerâmica (telhas, blocos e casquilhos) e artefatos cimentícios (concretos, argamassas, etc).

Foram selecionados para o estudo, conforme Tabela 01, os seguintes materiais:

Tabela 01. Materiais selecionados:

Agregado	Origem	$D_{m\acute{a}x}$	Classificação
Agregado mineral	Rocha granítica	12	graúdo
Agregado mineral	Rocha granítica	19	graúdo
Agregado reciclado	RCD	12	graúdo
Agregado reciclado	RCD	19	graúdo

RCD = resíduo de construção e demolição; $D_{m\acute{a}x}$ = diâmetro máximo da partícula do agregado

A Figura 01 mostra os agregados de $D_{m\acute{a}x}$ de 12 mm de origem de RCD e de rocha granítica.



Figura 1. Agregado graúdo RCD, $D_{m\acute{a}x}$ de 12 mm (a), agregado graúdo de rocha granítica, $D_{m\acute{a}x}$ de 12 mm (b).

A Figura 02 mostra os agregados de $D_{m\acute{a}x}$ de 19 mm de origem de RCD e de rocha granítica.



Figura 2. Agregado graúdo RCD, $D_{m\acute{a}x}$ de 19 mm (a), agregado graúdo de rocha granítica, $D_{m\acute{a}x}$ de 19 mm (b).

Os referidos materiais foram submetidos ao ensaio de granulometria, regido pela NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

Composição Granulométrica

A amostra foi previamente quarteada e homogeneizada, com massa mínima de 500g, foram submetidas à análise granulométrica de acordo com a norma NBR NM 248 / 2003 : Agregados –

Determinação da composição granulométrica, que prevê o peneiramento do material em uma série normal de peneiras com aberturas 9,5 / 6,3 / 4,75 / 2,36 / 1,18 / 0,6 / 0,3 / 0,15 em milímetros.

Após o ensaio de peneiramento, foi feita as respectivas curvas granulométricas. Através da análise da composição granulométrica, determinou-se, também, o módulo de finura e a dimensão máxima do agregado. A norma NBR 7211/2005 determina as especificações dos agregados a serem utilizados no concreto. A tabela 02 mostra as especificações da composição granulométrica para o agregado graúdo segundo a norma.

Tabela 02. Limites da composição granulométrica do agregado graúdo - NBR 7211/2005

1) Zona granulométrica à maior (D) dimensões do 2) Em cada zona uma variação de no máximo apenas um dos limites variação pode também estar limites.	Peneira com abertura de malha	Porcentagem, em massa, retida acumulada	
	(ABNT NBR NM ISO 3310-1)		
Zona granulométrica d/D ₁)			
		4,75/12,5	9,5/25
A dimensão máxima corresponde à abertura da malha da peneira da agregado apresenta uma acumulada igual ou 5% em massa.	25 mm	-	0-5
	19 mm	-	2 - 15 ₂)
	9,5 mm	2 - 15 ₂)	80 ₂) – 100
	4,75 mm	80 ₂) – 100	95 – 100
	2,36 mm	95 - 100	-

correspondente à menor (d) e agregado graúdo. granulométrica deve ser aceita cinco unidades percentuais em marcados com 2). Essa distribuída em vários desses

característica nominal, em milímetros, série normal na qual o porcentagem retida imediatamente inferior a

Teor de Materiais

Pulverulentos

Para determinação do teor de materiais pulverulentos dos agregados miúdos (RCD e artificial convencional), foram utilizados os procedimentos e instrumentação adotados pela NBR NM 46/2003 - Agregado – determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem, possibilitando o teor percentual de materiais pulverulentos nos referidos agregados, segundo a equação (1), onde *m* é a porcentagem de finos, *mi* é a massa inicial, *mf* é a massa após lavagem:

$$m = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

O procedimento do ensaio com lavagem faz-se necessário, pois parte desses finos, principalmente as argilas, adere aos grãos maiores, não sendo possível sua separação a seco, na lavagem, os finos

ficam em suspensão, possibilitando a separação do material passante na peneira 75 μm . (WEIDMANN, 2008)

O Concreto

Foi preparado o concreto com agregado reciclado quanto este tem 50% (cinquenta por cento) de pó de pedra de RCD (Resíduo de Construção e Demolição) em substituição ao tradicional pó de pedra granítico, obtendo dados suficientes para diagnosticar se é possível utilizar o RCD em larga escala, sem que isso afete significativamente sua resistência e capacidade estrutural. O traço utilizado foi 1:2:2:0,5, tanto no concreto de referência quanto no concreto com 50% de pó de pedra de RCD. Após a confecção e cura de 28 dias dos corpos de prova feito no IF Sertão, campus Salgueiro, PE, de acordo com a NBR 5736/2003: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova, foi realizado o ensaio à compressão segundo a NBR 5739/2007: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, no LABEME, situado na UFPB campus João Pessoa. Foram usados 6 corpos de prova para cada tipo de concreto.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Agregado graúdo (convencional e reciclado)

O diâmetro máximo do agregado n.12 de RCD e o agregado de origem granítica foi 12,5mm para ambos, e para o agregado n.19 foi 25,4mm.

Os limites de composição granulométrica para classificação de agregados graúdos a serem utilizados em concretos, segundo a Norma NBR 7211/2005 apresentaram os seguintes percentuais, em massa, retidos nas seguintes peneiras, conforme Tabela 02.

Os percentuais, de massa acumulada, na peneira 4,75 mm para todos agregado estudados deram na faixa de 89,05 a 99,75% indicam a classificação do agregado como graúdo, já que ficou retido na mesma.

A análise comparativa das composições granulométricas dos agregados estudados indicam porcentagens, em massa, retida acumulada dentro dos limites estabelecidos pela Norma, o que indica uma conformidade granulométrica em comparação com o agregado convencional, exceto o agregado reciclado n. 12, que apresentou 48,94% retido acumulado na peneira de 9,5 mm, diferente da faixa limite de 2 – 15% sugerido pela Norma, ver Tabela 02.

Abaixo as curvas granulométricas dos agregados 12mm e 19mm.

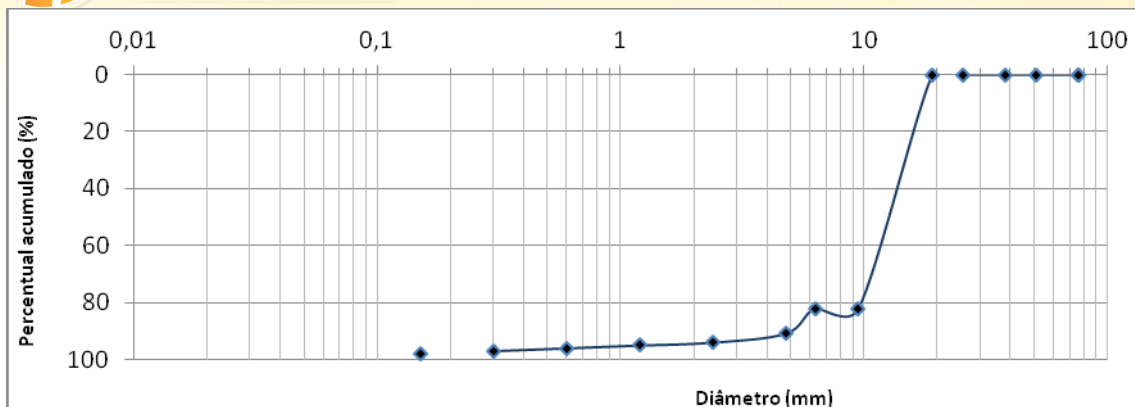


Figura 03- Curva Granulométrica do agregado de RCD 12mm

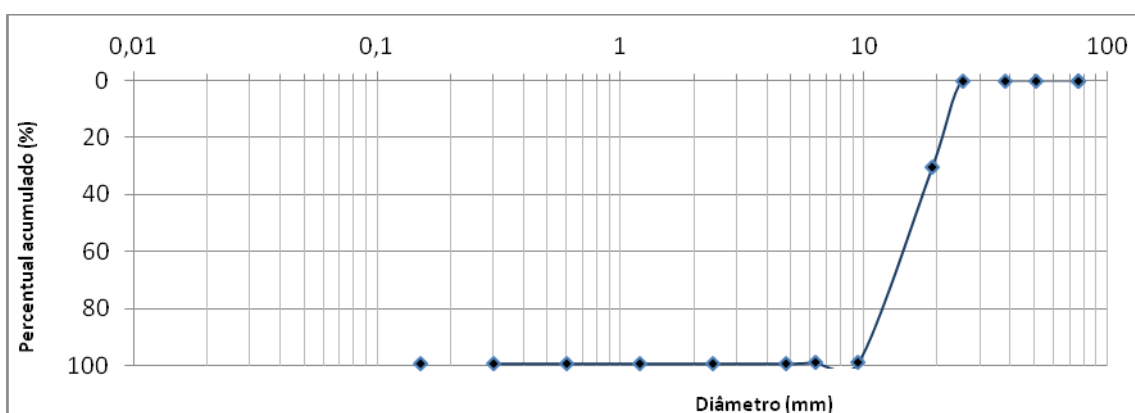


Figura 04- Curva Granulométrica do agregado de RCD 19mm

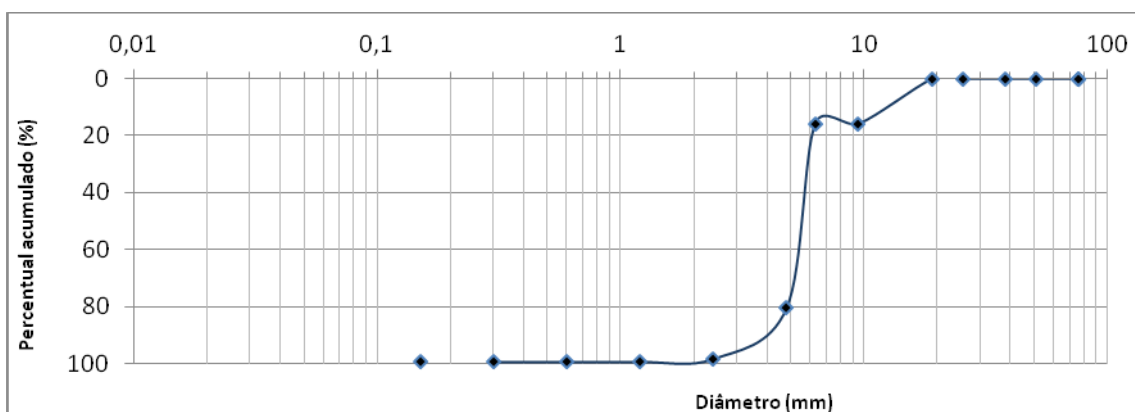


Figura 05- Curva Granulométrica do agregado convencional granítico 12mm

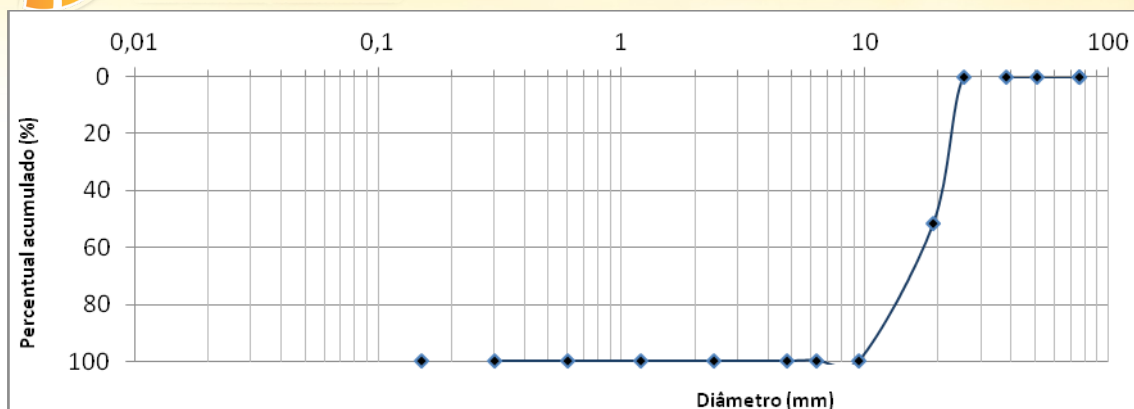


Figura 06- Curva Granulométrica do agregado convencional granítico 12mm

Agregado miúdo (convencional e reciclado)

O agregado miúdo reciclado utilizado é a menor granulometria resultado da britagem, o chamado pó de pedra. A dimensão máxima do agregado miúdo granítico foi de 4,80 mm.

A curva com a distribuição granulométrica do agregado miúdo encontra-se na figura 07.

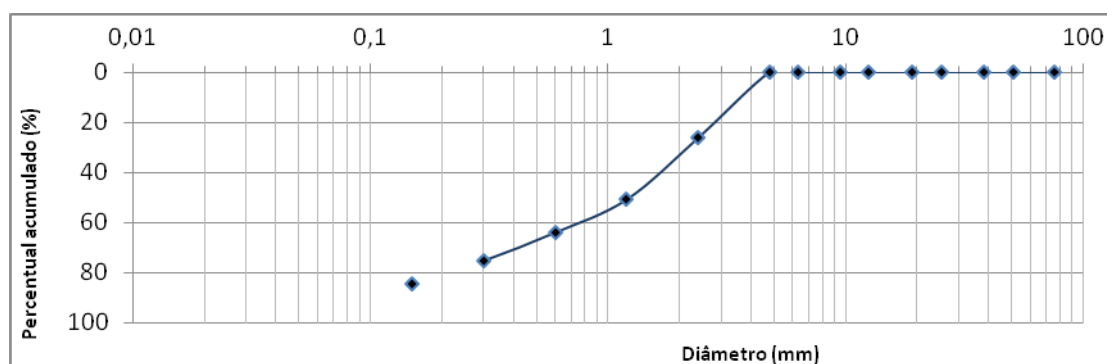


Figura 07- Curva granulométrica do agregado miúdo.

Após realização do ensaio determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem, os teores de materiais pulverulentos nos agregados estudados na pesquisa estão representados na Tabela 03.

Tabela 3. Teor de materiais pulverulentos

Agregado Miúdo	<i>mi</i> (massa inicial)	<i>mf</i> (massa final)	<i>m</i> (teor de pulverulentos)
Origem granítica (artificial)	1000	930	9,7 %

Origem RCD (beneficiado)	1000	800	20,0%
-----------------------------	------	-----	-------

Fonte: arquivo da pesquisa.

O agregado miúdo beneficiado através da britagem do RCD tem teor de pulverulentos de 20%, mais que o dobro, em relação ao agregado miúdo artificial de origem granítica, quando comparados com os teores limites estabelecidos pela norma, o agregado originado do RCD não seria compatível para utilização em concretos submetidos a desgaste superficial e até aos que estão protegidos da abrasão, segundo Tabela 04.

Tabela 4 - Limites do teor de material pulverulento passante na peneira 75µm por lavagem para a norma brasileira (só para agregados miúdo)

Condição de exposição	Limite da NRB 7211
Concretos submetidos a desgaste superficial	3,0% podendo chegar a 10%*
Concretos protegidos de desgaste superficial	5,0% podendo chegar a 12%*

*Pode-se chegar ao limite máximo apresentado quando o material for constituído totalmente de grãos gerados durante o processo de britagem de rocha e desde que comprovada por apreciação petrográfica (NBR 7389:1992) sua não interferência nas propriedades do concreto;

Fonte: adaptado WEIDMANN, 2008.

Levando em consideração que o material de referência utilizado na pesquisa é de origem granítica, através do processo de britagem, o teor admissível fica entre 10 e 12%, dependendo da condição de exposição do concreto, ou seja, faz-se compatível sua aplicação em concretos, segundo nota da Tabela 04, que são observações normativas sobre os limites admissíveis.

Concreto Sustentável

O concreto composto por 50% de pó de pedra de RCD e 50% de pó de pedra granítica obteve uma resistência mecânica à compressão menor do que a do concreto de referência. Essa diferença,

porém, não afeta de modo significativo o concreto, pois, dependendo da necessidade de uso estrutural. O concreto com agregado reciclado, além de ter resistência à compressão reduzida, também necessita de uma maior adição de água em seu traço. Entretanto, pode ser usado um aditivo em substituição à essa adição de água, garantindo a qualidade do traço sem modificar o fator AC (Água/Cimento).

As tabelas a seguir mostram os dados obtidos para cada corpo de prova.

Tabela 5. Ensaio concreto de referência:

Nº do corpo de prova	Resistência à compressão
1	24,19 MPa
2	24,19 MPa
3	22,92 MPa
4	22,16 MPa
5	25,47 MPa
6	28,01 MPa

Tabela 6. Ensaio concreto com RCD:

Nº do corpo de prova	Resistência à compressão
1	17,83 MPa
2	19,10 MPa
3	21,39 MPa
4	16,55 MPa
5	16,55 MPa
6	17,83 MPa

Houve uma redução média de 25,64% da resistência do concreto com RCD em relação ao concreto de referência, quando este teve 50% do agregado miúdo (pó de pedra) substituído pelo agregado miúdo reciclado; algo que, embora haja uma variação relativamente alta, não exclui a possibilidade de uso desse concreto, visto que ele consegue atender a resistência mínima para determinados tipos de obras.

CONCLUSÃO

Os resultados do teor de materiais pulverulentos mostram que o agregado miúdo reciclado da cidade de Salgueiro/PE, beneficiado através do processo de britagem não é compatível para aplicação em concretos, segundo limites estabelecidos pela Norma brasileira ABNT NBR 7211/2005,

diferentemente do agregado miúdo artificial, de origem granítica, também processado através de britador, independente das condições de exposição.

Para utilização do resíduo de construção como agregado miúdo em concretos, segundo limites da Norma brasileira, faz-se necessário a lavagem para redução do teor de pulverulentos, principalmente o agregado reciclado com frações significativas de material cerâmico.

A representatividade do agregado graúdo reciclado de RCD é gerado dos resíduos Classe A, ou seja, a heterogeneidade é inevitável, por tanto, resultados de composição granulométrica pode variar de acordo com características dos resíduos, assim como tipos de obra e atividades de construção que os geraram, é certo que o desenvolvimento tecnológico e surgimento de inovações dos processos construtivos possibilitam uma mudança na composição granulométrica do agregado a ser beneficiado.

A revisão da literatura indicou a granulometria dos agregados como uma das principais características físicas do mesmo a ser considerada e estudada, quando utilizados em concretos, essa importância deve-se a influência da composição granulométrica nas propriedades do concreto, principalmente a trabalhabilidade do material. Sendo assim, a viabilidade técnica da utilização de agregado reciclado originado do RCD depende do estudo de sua composição granulométrica, apresentando, para o agregado reciclado produzido na cidade de Salgueiro/PE uma conformidade normativa o agregado reciclado de RCD n. 19.

Tendo em vista a proporção de pó de pedra granítico substituído por pó de pedra de RCD (50%), o resultado foi satisfatório e conclusivo, mostrando que o RCD pode sim ser usado como elemento parte do concreto, reduzindo gastos, impactos ambientais e mantendo um bom nível de qualidade e resistência à compressão.

O estudo realizado propõe futuras pesquisas que tratam da resistência mecânica de concretos preparados com os dois agregados referenciados no estudo, como também, a análise do comportamento da microestrutura, especialmente a zona de transição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211:2005. **Agregados para concreto**. Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT, NBR 5739 - **Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, Rio de Janeiro, 2007.

CARVALHO, P. M.; **Gerenciamento de resíduos de construção civil e sustentabilidade em canteiros de obras de Aracaju**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão: 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 307** de 05 de julho de 2002-
Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso: Julho de 2015.

HENDRIKS, C. F. **A new vision on the building cycle**. Holanda: Aeneas, 2004. p. 251

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Livre Docência) – USP, São Paulo, 2000.

PEREIRA, E.; Medeiros, M. H. F. de; Levy, S. M.; **Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 125-134, jul./set. 2012. 125 ISSN 1678-862.

SJÖSTRÖM, C. **Durability and Sustainable use of building materials**. In: LLEWELLYN, J. W.; DAVIES, H. Sustainable use of materials. London: BRE/RILEM, 1992.

WEIDMANN, Denis Fernandes. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. Florianópolis, 2008. 273 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

