



# AGREGADO GRAÚDO RECICLADO DE CONCRETO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO NATURAL NA PRODUÇÃO DE CONCRETO ESTRUTURAL

**Maria Francielle Santos Menezes <sup>(1)</sup>; Angela Teresa Costa Sales <sup>(2)</sup>**

(1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Sergipe – franci.menezes@gmail.com; (2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Sergipe – angelasales19@gmail.com

## RESUMO

A grande maioria das atividades humanas causa numerosos impactos ao meio ambiente. Sem dúvida, um dos setores econômicos mais impactantes, em termos de impactos ambientais, é a Construção Civil, visto que gera uma quantidade exorbitante de resíduos. Tem-se buscado alternativas mais sustentáveis nesse setor, como forma de diminuir as interferências danosas ao meio ambiente. Dentre essas alternativas, destaca-se a reciclagem de resíduos da Construção Civil, visando à produção de materiais reciclados, dentro do próprio setor. Esse estudo teve como objetivo a produção de concretos estruturais, utilizando-se agregados graúdos obtidos de resíduos de concretos estruturais. Utilizaram-se somente agregados de resíduos de concretos, provenientes da britagem de corpos de prova. Foram produzidos concretos com agregados graúdos reciclados com teores de substituição de 30% (CRC30) e 50% (CRC50), além do concreto de referência (REFER), esse somente com agregados naturais. Visando a avaliar a influência do uso do agregado reciclado nas propriedades mecânicas do concreto no estado endurecido, foram realizados ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral, aos 28 dias. Os resultados mostraram a viabilidade do uso de agregados oriundos dos resíduos na produção de concretos, podendo ser fabricados concretos com fins estruturais.

**Palavras-chave:** resíduos de construção, agregado reciclado de concreto, concreto estrutural.

## CONCRETE RECYCLED AGGREGATE SUBSTITUING NATURAL AGGREGATE TO PRODUCE STRUCTURAL CONCRETE

### ABSTRACT

The vast majority of human activities cause numerous impacts on the environment. Undoubtedly, one of the most power environmentally impactful economic sectors is the Civil Construction, as it generates an exorbitant amount of waste. Alternative sustainable practices are sought, as a means of reducing harmful interference to the environment. Among these alternatives, it is worth highlighting the recycling of construction waste for use within the sector itself. The present study had the objective of producing concrete with the use of recycled aggregates for structural purposes. Recycled aggregates of concrete residues from crushed specimens were used. Concretes were produced with recycled aggregates with 30% (CRC30) and 50% (CRC50) substitution contents, besides the reference concrete (REFER), with only natural aggregates. It was aimed to evaluate the influence of the use of the recycled aggregate on the mechanical properties of the hardened concrete. Axial compression and indirect tensile tests were carried after 28 days of cure. The tests results showed the feasibility of the use of good recycled aggregates, as these residues, in the production of concretes with structural mechanical performance.

**Keywords:** construction waste, concrete recycled aggregate, structural concrete.



## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, o ser humano explorou a natureza de forma inadequada, partindo da premissa de que os recursos naturais seriam ilimitados. Contudo, com o passar dos anos, percebeu-se que esse modelo de desenvolvimento adotado, pautado na exploração exacerbada da natureza, ia de encontro à capacidade de regeneração do planeta. Esse modelo de desenvolvimento implicou o aumento da geração de resíduos, exaurindo as reservas minerais, contaminando o meio ambiente e prejudicando a saúde humana <sup>(1)</sup>.

Dentre os resíduos sólidos (RS) gerados, verifica-se que os resíduos de construção e demolição (RCD) compõem uma parcela expressiva do total de RS produzidos. A exploração de recursos naturais para uso no setor da Construção Civil tem como consequência a geração de toneladas de RCDs todos os anos <sup>(2)</sup>.

Ao contrário dos outros países, a legislação brasileira acerca do gerenciamento de resíduos ainda é muito recente. Somente em 2002, entrou em vigor a Resolução CONAMA n° 307 <sup>(3)</sup>, que trata de procedimentos para a gestão de RCD e, apenas em 2010, foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) <sup>(4)</sup>. Em virtude disso, o manejo dos resíduos ainda ocorre de forma inadequada, o que implica problemas de ordem econômica, social e principalmente ambiental <sup>(5)</sup>.

Nesse cenário de agressões propiciado pela Construção Civil, uma das formas encontradas para dirimir esses problemas é a reciclagem dos RCDs para utilização no próprio setor econômico, na produção de concretos, argamassas, dentre outros. Vários pesquisadores já estudaram o emprego de agregados reciclados e os resultados obtidos mostraram a viabilidade do uso <sup>(6)</sup> <sup>(7)</sup> <sup>(8)</sup>, mesmo para concretos estruturais <sup>(9)</sup> e para concretos de alto desempenho <sup>(10)</sup>.

Dentre os inúmeros benefícios advindos do uso de RCD, pode-se citar a redução da disposição de resíduos em aterros, a diminuição da exploração de recursos naturais, a redução dos custos de gerenciamento do resíduo, dentre outros <sup>(11)</sup>. No entanto, existem limitações para a expansão da utilização dos agregados provenientes de RCD, como a heterogeneidade de seus constituintes e a possibilidade de contaminação <sup>(6)</sup>.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade da substituição de parte do agregado graúdo natural pelo agregado reciclado de concreto para a produção de concretos com finalidade estrutural.



## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização dos materiais

O cimento utilizado foi o CP II Z 32 – RS (cimento Portland composto com pozolana, resistente a sulfato), da marca Nacional. De acordo com o fabricante, esse tipo de cimento proporciona a produção de um concreto com pega mais rápida e com coloração escura.

O agregado miúdo empregado foi uma areia de barranco, encontrável no mercado local no município de São Cristóvão, Sergipe, com diâmetro máximo ( $d_{máx}$ ) de 2,4 mm (areia grossa) e módulo de finura (MF) de 2,61, ambas as propriedades determinadas de acordo com as recomendações da NBR NM 248 <sup>(12)</sup>. A massa específica real foi de 2,65 g/cm<sup>3</sup> e a massa unitária foi igual a 1,48 g/cm<sup>3</sup>, determinadas respectivamente pela NBR 9776 <sup>(13)</sup> e pela NBR NM 45 <sup>(14)</sup>.

O agregado graúdo natural utilizado no trabalho foi composto por brita 0 e por brita 1, assim denominadas localmente. Tanto a brita 0 quanto a brita 1 apresentaram massas específicas reais de 2,65 g/cm<sup>3</sup>, determinadas segundo a NBR NM 53 <sup>(15)</sup>. Já o  $d_{máx}$  e o MF foram determinados pela NBR NM 248 <sup>(12)</sup>. O  $d_{máx}$  de ambas foi igual a 12,5 mm. O MF da brita 0 foi igual a 5,73 e o da brita 1 foi de 6,52.

O agregado graúdo reciclado, por sua vez, foi proveniente da trituração de pedaços de corpos de prova de concretos (CPs) rompidos em testes de trabalhos de pesquisas anteriores. Os fragmentos de concreto eram mantidos no Laboratório de Materiais de Construção e Estruturas (LAMCE) da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Os fragmentos foram selecionados de concretos dosados para  $f_{ck}$  de 30 MPa. O agregado reciclado foi correspondente a uma brita 1. Para o processo de britagem dos pedaços de CPs utilizou-se um britador de mandíbulas do citado laboratório.

Para a determinação da granulometria do agregado reciclado, a amostra triturada foi disposta em uma superfície plana e posteriormente foi quarteada (Figura 1), conforme a norma NBR 10007 <sup>(16)</sup>. A determinação da composição granulométrica foi obtida segundo o método da norma NBR NM 248 <sup>(12)</sup>.

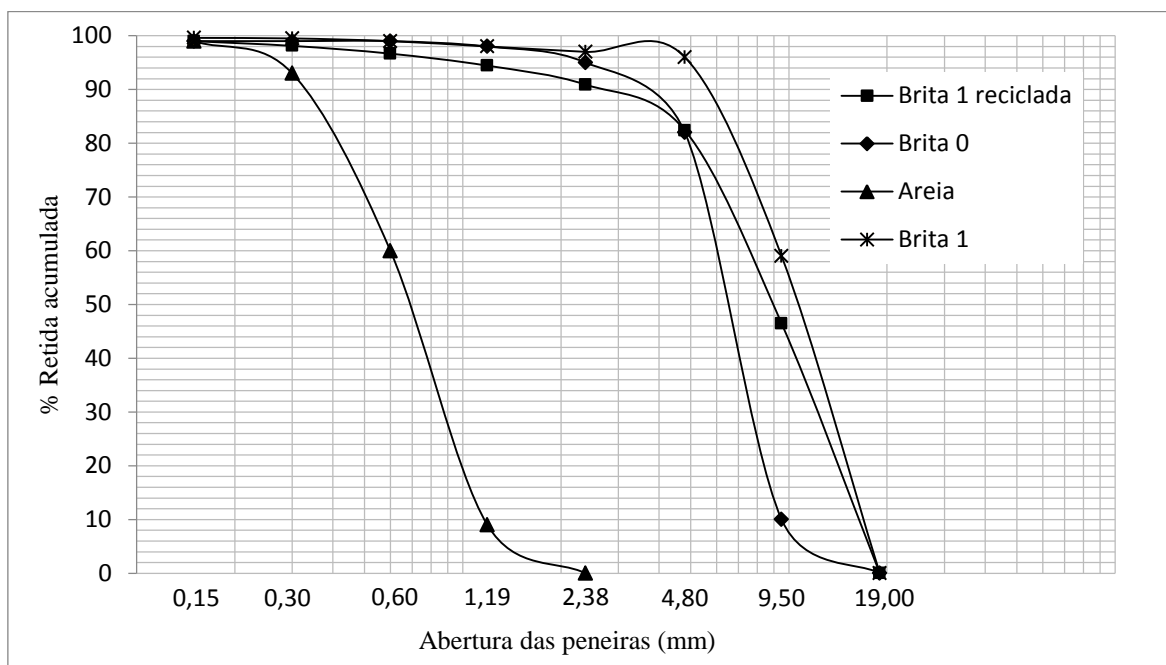


Figura 1 - Amostra quarteada.



O diâmetro máximo ( $d_{m\acute{a}x}$ ) do agregado graúdo reciclado obtido foi de 19 mm e o MF resultou em 6,08. Foram determinadas a massa específica do agregado reciclado seco, resultando no valor de 2,42 g/cm<sup>3</sup>, e a absorção de água do agregado reciclado, que resultou em 4,3%, ambas determinadas de acordo com a norma NBR NM 53 <sup>(15)</sup>. A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas dos agregados utilizados.

Figura 2 - Curva granulométrica dos agregados.



Foi utilizada água proveniente da rede pública de abastecimento, como água de amassamento e para a pré-molhagem dos agregados reciclados.



Utilizou-se o aditivo redutor de água da linha MIRA CR 74, da marca *Grace Construction*. O uso do aditivo foi necessário em virtude da baixa trabalhabilidade dos concretos produzidos. A quantidade utilizada manteve-se dentro da faixa recomendada pelo fabricante.

## 2.1. Métodos

Foram produzidos concretos com dois teores de substituição do agregado graúdo natural pelo reciclado. No primeiro, houve a substituição de 50% de brita 1 natural por brita 1 reciclada (CRC50). O segundo teve 30% de substituição da brita 1 natural por brita 1 reciclada (CRC30). Foi também produzida a mistura de referência (REFER), confeccionada exclusivamente com agregados naturais, para comparação de desempenho com os concretos com agregados reciclados.

O método de dosagem utilizado, para os três concretos, foi o do Instituto Nacional de Tecnologia do Rio de Janeiro (INT-RJ), idealizado por Lobo Carneiro <sup>(17)</sup>. Como o intuito era a produção de concretos com finalidade estrutural, foi adotada uma resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ) de 30 MPa. Para todas as misturas, foi fixada a relação água/cimento de 0,45. O traço em massa inicial, determinado pelo método de dosagem citado, foi igual a 1:1,25:1,40:1,97 (cimento : areia : brita 0 : brita 1), com um consumo de cimento de 397 kg/m<sup>3</sup>.

Conforme as recomendações da NBR 15116<sup>(18)</sup>, efetuou-se a pré-molhagem do agregado reciclado, com um volume de água equivalente a 80% da taxa de absorção do material, que foi igual a 4,3%, aguardando-se 10 minutos, antes de sua colocação na betoneira para a mistura.

No laboratório, foram realizados os ajustes dos traços, visando à uniformização das consistências dos concretos. Após a produção das misturas, foram determinados os abatimentos de tronco de cone de cada uma delas, resultando em valores no intervalo de 2 cm  $\pm$  1 cm. Como de acordo com a NBR NM 67<sup>(19)</sup>, esse método é aplicável aos concretos com assentamento igual ou superior a 10 mm, decidiu-se utilizar esse valor de abatimento, apesar de ser baixo.

Os traços dos concretos, os consumos de cimento, as relações água/cimento, os teores de aditivo e os abatimentos para os três concretos encontram-se na Tabela 1.



Tabela 1 - Características das três misturas produzidas.

Concreto	Traço em massa inicial	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Relação água/cimento	Teor de aditivo	Abatimento do tronco de cone
CRC30	1:2,01:2,01:0,86	378	0,45	1,12%	2 cm ±1 cm
CRC50	1:1,78:1,26:1,61	387	0,45	0,85%	2 cm ±1 cm
REFER	1:1,93:1,93:0,82	394	0,45	-	2 cm ±1 cm

Foram produzidos nove corpos de prova para cada mistura, sendo cinco deles para ensaios de resistência à compressão e quatro para ensaios de resistência à tração por compressão diametral. É importante destacar que o adensamento de cada mistura foi realizado de forma manual.

Os ensaios de compressão axial do concreto seguiram as recomendações da norma NBR 5739 <sup>(20)</sup> e foram executados na máquina universal de ensaios, modelo DL 20000, marca EMIC, com o uso da prensa de compressão PCE 100. Já os ensaios de tração por compressão diametral do concreto seguiram as recomendações da norma NBR 7222 <sup>(21)</sup> e foram executados na máquina universal de ensaios, modelo DL 20000, marca EMIC.

Em virtude de os agregados reciclados possuírem menores massas específicas, observou-se que, se fosse utilizada a massa de brita 1 reciclada conforme calculada, o volume do concreto produzido seria superior ao de um concreto feito somente com agregados naturais (concreto de referência). Por conta disso, realizou-se uma compensação do volume dos agregados reciclados <sup>(6)</sup>. Portanto, foi realizada uma substituição em massa, com compensação do volume.



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

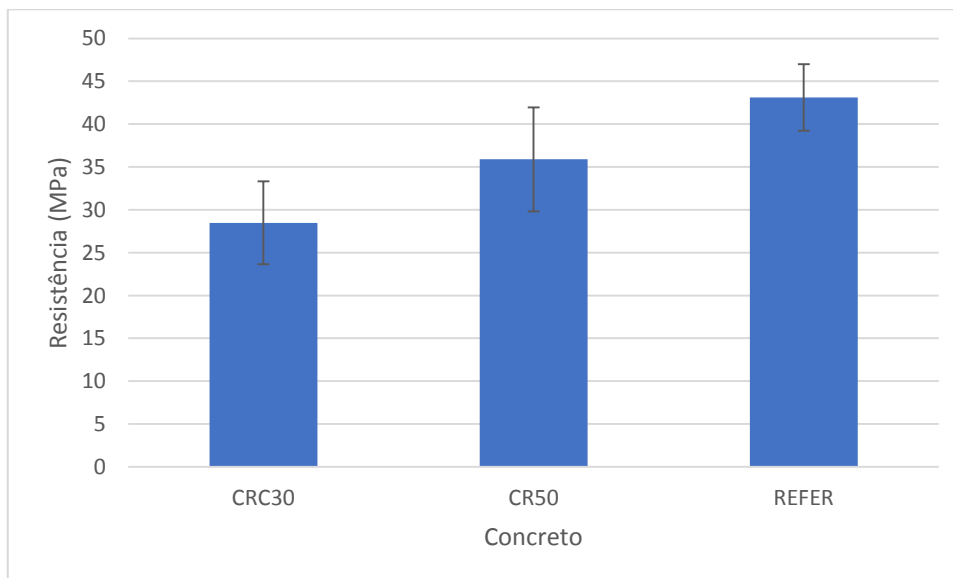
#### 3.1 Resistência à compressão

Os valores de resistência à compressão axial obtidos dos ensaios estão mostrados na Tabela 2 e na Figura 3.

Tabela 2 - Resistência à compressão dos concretos ensaiados.

Concreto	Resistência à compressão axial (MPa)	CV (%)
CRC30	28,49	16,99
CRC50	35,89	16,96
REFER	43,11	9,02

Figura 3 - Resistência à compressão dos concretos.



Os concretos com agregados reciclados apresentaram menores valores de resistência média à compressão, em comparação com a mistura de referência. Para o CRC50, houve uma redução da resistência de 16,75%, em relação ao valor de resistência para o concreto de referência. Mesmo assim, o valor da resistência média do CRC50 foi superior à resistência para a qual foi dosado ( $f_{ck} = 30$  MPa). Para o concreto CRC30, a redução da resistência foi de 33,91% em comparação com a



resistência do concreto REFER. A resistência média obtida ficou próxima à resistência para a qual foi dosado ( $f_{ck} = 30$  MPa).

Ressalta-se que o concreto CRC50, apesar de conter um maior teor de agregado reciclado, em comparação com o concreto CRC30, a resistência média à compressão apresentada pelo primeiro foi superior à do segundo. Pode-se supor que, no concreto CRC50, havendo um teor maior de cimento na mistura e ainda mais baixa relação água/cimento, houve o alcance de maior resistência à compressão, em relação ao concreto CRC30.

A despeito da diminuição da resistência média à compressão apresentada pelos concretos com agregados reciclados, em comparação com o concreto de referência, os valores obtidos mostraram que os concretos com agregados reciclados de resíduos de concreto poderiam ser utilizados com finalidade estrutural, alcançando valores de resistência bem maiores que o valor limite de 20 MPa, podendo ser considerados como concreto estrutural <sup>(22)</sup>.

### 3.2 Resistência à tração por compressão diametral

Os valores de resistência à tração por compressão diametral, obtidos com os ensaios, estão mostrados na Tabela 3 e na Figura 4.

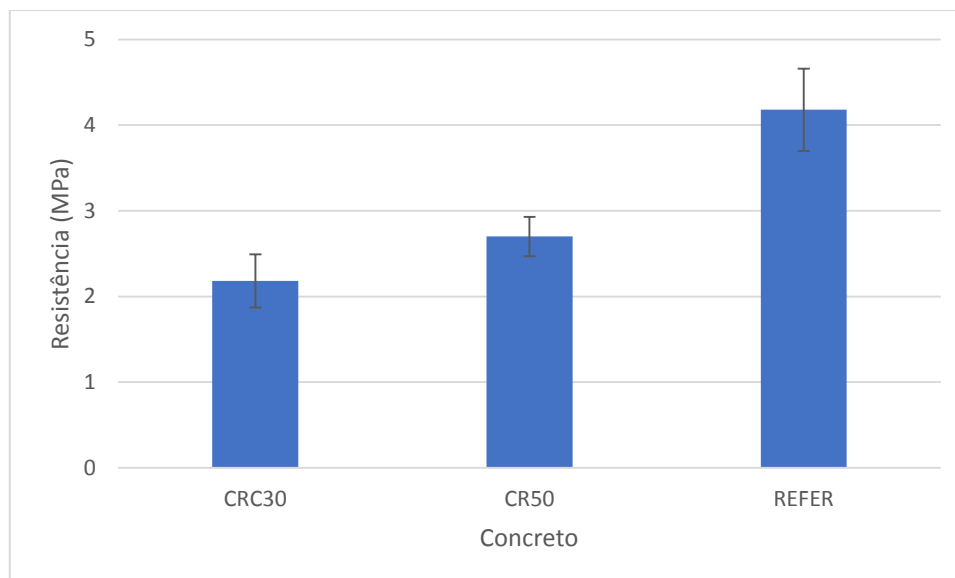
Tabela 3 - Resistência à tração dos concretos ensaiados.

Concreto	Resistência à tração (MPa)	CV (%)
CRC30	2,18	14,22
CRC50	2,70	8,52
REFER	4,18	11,48





Figura 4 - Resistência à tração dos concretos.



Os concretos com agregados reciclados apresentaram menores valores de resistência à tração, em comparação com a do REFER. Para o CRC50, houve uma redução da resistência de 35,41%, em relação ao valor da resistência média encontrada para o REFER. No caso do CRC30, a redução da resistência foi 47,85%, em comparação ao REFER. Os valores obtidos para a resistência à tração para os três tipos de concreto foram da ordem de 7% a 10% da resistência à compressão, ficando dentro da faixa preconizada <sup>(23)</sup>.

Vale frisar que para a determinação da resistência à tração média do REFER, foram utilizados apenas três CPs, visto que um deles encontrava-se úmido na ocasião do ensaio, resultando em um valor de resistência à tração muito aquém dos valores obtidos com os outros CPs.



## 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com os ensaios realizados permitiram concluir que o uso de agregados reciclados de concreto em substituição aos agregados naturais é possível, mesmo para concretos com finalidade estrutural. É importante ressaltar que os agregados reciclados, oriundos de fragmentos de CPs, foram caracterizados quanto às propriedades físicas antes de serem utilizados na produção do concreto.

Com relação às propriedades mecânicas, os resultados obtidos indicaram a possibilidade da utilização desse modo de produção de concretos alternativos. A resistência à compressão do REFER foi igual a 43,11 MPa, a do CRC50 resultou em 35,89 MPa (83,25% da resistência do REFER) e a do CRC30 foi de 28,49 MPa (66,09% da apresentada pelo REFER).

Por sua vez, a resistência média à tração por compressão diametral do concreto REFER foi igual a 4,18 MPa, a do CRC50 foi de 2,70 MPa (64,59% da apresentada pelo REFER) e a do CRC30 foi igual a 2,18 MPa (52,15% da resistência do REFER). Os valores obtidos para a resistência à tração por compressão diametral ficaram no intervalo de 7% a 10% da resistência à compressão dos concretos, portanto dentro da faixa preconizada <sup>(23)</sup>.

Como limitação do trabalho, tem-se o fato de que tanto no ensaio de resistência à compressão quanto no de resistência à tração por compressão diametral, os coeficientes de variação resultaram em valores altos, por causa das dificuldades na moldagem em função da baixa trabalhabilidade das misturas.

Apesar da redução considerável da resistência dos concretos produzidos com agregados reciclados em comparação com o REFER e da norma NBR 15116 <sup>(18)</sup> não recomendar a produção de concretos estruturais com agregados reciclados, os concretos produzidos com agregados reciclados apresentaram resistências à compressão superiores a 20 MPa, podendo ser classificados como estruturais <sup>(22)</sup>.

Sugere-se que em trabalhos futuros sejam avaliadas outras características dos concretos, como módulo de elasticidade, absorção de água, massa específica e índice de vazios, que irão contribuir para analisar de forma mais satisfatória a viabilidade do uso de agregados reciclados para concretos estruturais.



## 5. REFERÊNCIAS

1. MORAIS, G. M. D. M. **Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia**: subsídios para uma gestão sustentável. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia: 2006.
2. SILVA, R. V.; BRITO, J. de; DHIR, R. K. Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production. **Construction and Building Materials**, v. 65, p. 201-217, 2014.
3. BRASIL. **Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002.
4. \_\_\_\_\_. **Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.
5. SILVA, V. A.; FERNANDES, A. L. T. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. Uberaba: **Sociedade & Natureza**, ano 24, n.2, 333-334, mai/ago, 2012.
6. CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos: 2007.
7. PETRY, N. dos S. et al. Avaliação do uso de resíduos de marmoraria na produção de concretos. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 6, n. 2, p. 71-92, 2017.
8. SANTOS, S. B. J. S. dos et al. Utilização de resíduos de corpos de prova em substituição do agregado graúdo de concretos. **Revista Interscientia**, v. 4, n. 2, p. 137-151, 2016.
9. CALDEIRA, A. C. V., SERRADILHA, V. H.; RODRIGUES, P. S. H. Utilização de resíduo de bloco estrutural de concreto na substituição parcial e total de agregados e aglomerantes em traço de concreto estrutural. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, Araçatuba, SP, v. 1, n. 1, p. 72-88, 2016.
10. BARBOSA, M. de S. et al. Produção de concreto de alto desempenho (CAD) com adição de pó de pedra. **Revista Interscientia**, v. 7, n. 1, p. 200-217, 2019.
11. BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 62, p. 278-189, 2015.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
13. \_\_\_\_\_. **NBR 9776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
14. \_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
15. \_\_\_\_\_. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.



16. \_\_\_\_\_. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
17. PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo: Globo, 2005.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.
19. \_\_\_\_\_. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
20. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
21. \_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
23. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.