

Análise das propriedades do concreto quando substituído parcialmente o agregado miúdo natural pelo resíduo de pré-moldado

Nascimento, Carlos Fernando Gomes do¹; Jordão, Hugo Marinho²; Bezerra, Agnes Caroline³; Silva, Thaís Marques da⁴; Santos, Manueli Suêni da Costa⁵; Monteiro, Eliana Cristina Barreto⁶

¹ Graduando, Univ. Católica de Pernambuco, carlosfernando.gn@gmail.com

² Engenheiro Civil, Univ. Católica de Pernambuco, hugo.mj90@gmail.com

³ Engenheira Civil, Univ. Católica de Pernambuco, agnes.c.bezerra@gmail.com

⁴ Mestranda, Univ. Católica de Pernambuco, thaism21@ymail.com

⁵ Mestranda, Universidade de Pernambuco, manuelisueni@hotmail.com

⁶ Prof^a. PhD, Univ. Católica de Pernambuco/ Univ. de Pernambuco, eliana@poli.br

Resumo: A indústria de pré-fabricados é geradora de um elevado volume de resíduos de construção civil e o reaproveitamento desse material mitiga os impactos ambientais. O objetivo do artigo é compreender o comportamento do concreto quanto a durabilidade utilizando materiais recicláveis em sua composição, onde realizou-se alguns ensaios voltados a capacidade mecânica dos corpos de prova moldados, avaliando suas propriedades. Percebeu-se que a substituição de 50% do agregado miúdo pelo resíduo cinza pode ser viável, constatando aumento da resistência em 11,5% comparados ao concreto convencional. É importante salientar que outros estudos devem ser realizados para verificar sua viabilidade técnica com 100% de substituição respeitando as normas técnicas e minimizando os problemas ambientais causados pelo mercado da construção.

Palavras-chave: Concreto reciclado, durabilidade, sustentabilidade, resíduos de construção civil.

Abstract: The prefabricated industry is generating a high volume of civil construction waste and the reuse of this material mitigates environmental impacts. The aim of this article is to understand the behavior of concrete in terms of durability using recyclable materials in its composition, where some assays focused on the mechanical capacity of molded specimens were carried out, evaluating their properties. It was perceived that the substitution of 50% of the child aggregate by the gray residue may be feasible, noting an increase in resistance in 11.5% compared to conventional concrete. It is important to emphasize that other studies should be conducted to verify its technical viability with 100% substitution respecting the technical norms and minimizing the environmental problems caused by the construction market.

Keywords: Recycled concrete, durability, sustainability, gray residue.

1. Introdução

A indústria da construção civil, mesmo em tempos de crise, é um dos setores que mais crescem no país, gerando alguns benefícios como empregos e melhoria do PIB, no entanto é responsável por um grande volume de resíduos gerados no meio ambiente, gases como CO₂ oriundos no sistema metodológico dos materiais cimentícios e pelo extravio de materiais naturais (FILHO et al., 2015 [18]).

Estudos realizados na década de 90 por Zordan (1997) [25], evidencia a utilização desses materiais, mas explica que a perda nos processos construtivos está ligada a falta de mão de obra e falta de técnicas para minimizar esses desgastes. A composição e a quantidade de RCC estão caracterizadas nas fontes geradoras desses resíduos em fase de construções, reformas e demolições (CARNEIRO, 2005 [15]).

O Resíduo de Construção é classificado conforme a resolução do CONAMA Brasil (2002) [13], em quatro classes distintas, mas esse estudo referem-se a classe A, pois são aos resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados provenientes de demolição e construção de obras civis.

Os Resíduos de construção gerados no Brasil, gira em torno de 90% em massa, que consiste em concreto e argamassa, rochas naturais e material cerâmico e entre outros (ÂNGULO; JOHN, 2006 [12]). Com relação ao percentual de RCC gerados, alguns estudos reportam valores na faixa de 88% a 96%, sendo 93% a média desses valores.

Os problemas ambientais causados pela extração de agregados naturais não ocorre só no Brasil, mas também na América Central, México, onde a produção dos agregados é de origem vulcânica que emitem óxidos de Enxofre atmosfera Martínez-molina (2016) [21], sendo a principal fonte na estratosfera (LÓPEZ et al., 2015 [20]; RUGGIERI, 2012 [22]).

Há métodos para mitigar esses impactos ambientais através de alternativas para reciclagem e tratamento desses materiais que são gerados nas obras. Estudos realizados no México e nos países da União Europeia evidencia a viabilidade da utilização da ferramenta “4R” para conscientizar e minimizar as mudanças climáticas, a poluição ambiental e a produção de resíduos da construção que giram em torno de 900 milhões de toneladas/ano conforme (JIANZHUANG et al., 2012 [19]).

Algumas pesquisas informam que o desempenho físico-mecânico do concreto composto de materiais reciclados em sua matriz, garante suas propriedades comportamentais Topcu e Sengel (2004) [23], estabelecidas nas normas regulamentadoras principalmente na NBR 6118 (ABNT, 2014 [4]).

Assim, para garantir desempenho e as propriedades físico-mecânicas (Topcu e Sengel (2004) [23], relacionados a durabilidade é imprescindível compreender no que consiste a capacidade das estruturas frente às influências ambientais previstas

e definidas em conjunto de acordo com o projeto estrutural NBR 6118 (ABNT, 2014 [4]).

O objetivo desta pesquisa é buscar alternativas que mitiguem os impactos ambientais, causados pelo descarte incorreto dos resíduos de pré-moldados em prol da reutilização desses materiais como agregados, afim de obter resultados satisfatórios e a aplicabilidade dos mesmos na cadeia da construção civil.

Este trabalho justifica-se pela necessidade de conscientizar e determinar métodos sustentáveis para minimizar os impactos ambientais, pois a utilização dos materiais reciclados na construção civil minimiza o acúmulo de resíduos gerados e diminui a quantidade de emissões de gases contaminantes ao meio ambiente.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Concreto

O concreto de cimento Portland é o material estrutural e de construção civil mais consumido no mundo, sua característica de, inicialmente ser moldável em variadas formas geométricas e com o tempo endurecer, formando um composto estável, devido aos silicatos de cálcio hidratado (CSH) produzidos durante a hidratação do cimento, adquirindo resistência mecânica torna esse material bastante atrativo.

Para Ambrozewicz (2012) [11], o concreto é considerado o material mais importante da engenharia civil. Resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento Portland), agregados (areia e brita) e água; o concreto fresco deve possuir plasticidade para o manuseio e após seu endurecimento uma boa resistência mecânica, durabilidade e impermeabilidade.

2.2 Resíduo de construção civil

A construção civil é responsável pela geração de diversos tipos de resíduo, entre eles o concreto, que dentre todos possui um maior potencial de utilização como agregado. Segundo Buttler (2003) [14], os principais agentes geradores de resíduos de concreto são as indústrias de pré-fabricados, usinas de concreto pré-misturado, demolições de construções e pavimentos rodoviários.

Em uma indústria de pré-fabricados o concreto desperdiçado é proveniente de elementos rejeitados pelo controle de qualidade, final de linhas de produção e sobras de concreto fresco ao final do processo. Em tais empreendimentos ocorre basicamente a geração de dois tipos de resíduos: rejeitos de concreto no estado fresco e rejeitos de concreto no estado endurecido, existindo inúmeros processos que podem ser aplicados na sua reciclagem (FERREIRA, 2013 [16]).

2.3 Durabilidade

De acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora NBR 6118 (ABNT, 2014 [4]), durabilidade “Consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

A vida útil, a segurança, a confiabilidade e o risco dos sistemas de infraestrutura tornaram-se questões emergentes nos últimos anos devido às catástrofes naturais e humanas, questões de sustentabilidade e ao aquecimento global (FELIX et al., 2018 [17]).

Neste aspecto, percebe-se a importância do conceito de vida útil, que serve como base para uma abordagem holística de projeto. As estruturas devem ser idealizadas para a segurança estrutural e a manutenção durante um período especificado incluindo o projeto de durabilidade e sustentabilidade (FELIX et al., 2018 [17]).

3. Programa experimental

3.1 Materiais utilizados

Os corpos de provas de concreto utilizados para estudo neste trabalho foram produzidos com cimento, areia natural, resíduo cinza de material proveniente de uma fábrica de pré-moldados e relação a/c de 0,48.

3.1.1 Cimento: CPV – ARI (Alta resistência inicial)

Para realização do procedimento experimental, utilizou-se o cimento CPV – ARI (cimento Portland de alta resistência inicial), devido ao baixo teor de adição, seguindo especificações da NBR 5733 (ABNT, 1991 [1]). O cimento Portland de alta resistência inicial (CP V – ARI) embora contemplado pela ABNT como norma separada do cimento Portland comum, é na verdade um tipo particular deste, que tem a peculiaridade de atingir altas resistências nos primeiros dias da aplicação.

3.1.2 Agregado miúdo natural

Foi utilizado agregado miúdo natural, de origem quartzosa da região de Recife – PE, isento de impurezas e umidade para a confecção dos concretos. A areia foi posta na estufa por cerca de 24h para retirada da umidade, após este período de tempo utilizamos uma amostra de 300 g para a realização do ensaio de caracterização do agregado através do ensaio de granulometria de acordo com a NBR 248 (ABNT, 2003 [9]). A (Fig. 1) dispõe do resultado da composição granulométrica da areia utilizada no presente trabalho apresentada através da curva granulométrica.

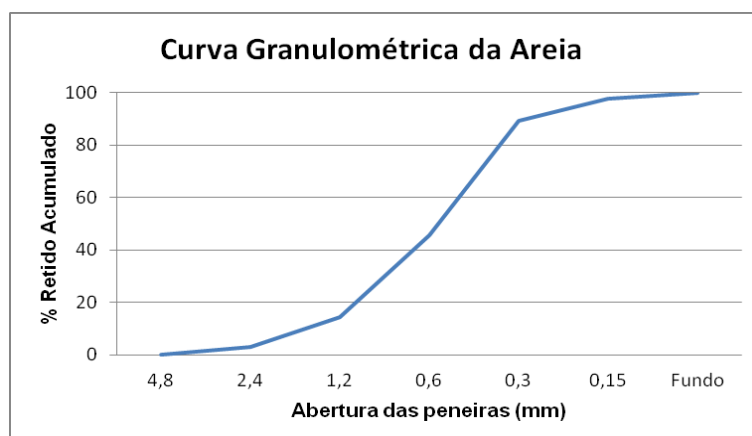


Figura 1: Curva granulométrica do agregado miúdo natural (Autores, 2017).

3.1.3 Agregado miúdo reciclado: resíduo cinza

O resíduo cinza utilizado nesta pesquisa foi coletado de uma empresa de fabricação de blocos pré-moldados de concreto na Região Metropolitana do Recife – RMR e transportado para uma empresa de beneficiamento de resíduos de construção e demolição, do qual os mesmos são dispostos na máquina Gipo Kombi que realiza o processo de trituração.

A máquina dispõe de quatro esteiras que funcionam como saídas dos materiais após o processo de trituração, fornecendo assim, quatro diferentes granulometrias: Areia, brita 19 mm, brita 25 mm e material de aterro sendo o material de pesquisa disposto pelo equipamento, na granulometria mais próxima da areia natural utilizada.

De acordo com a NBR 248 (ABNT, 2003 [9]), foi realizado o ensaio de granulometria do resíduo cinza para determinar a curva granulométrica, como mostra a (Fig. 2), e a zona granulométrica que de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009 [5]), encontra-se na zona 4.

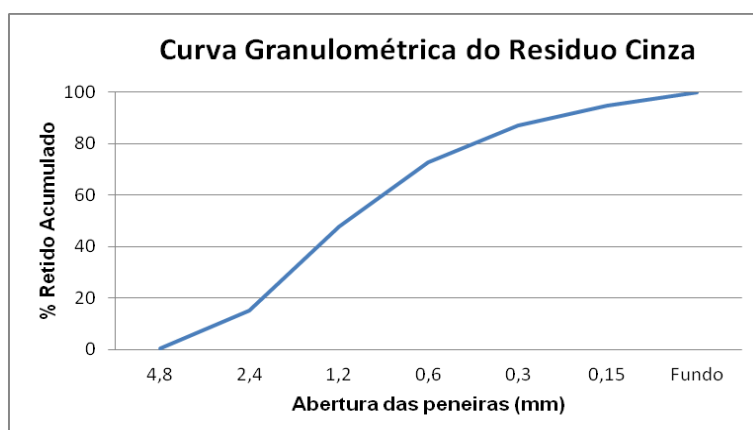


Figura 2: Curva granulométrica do agregado reciclado (Autores, 2017).

3.1.4 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado na confecção do concreto, com diâmetro máximo aproximado de 19 mm, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009 [5]).

3.1.4 Água

Foi utilizada água da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), sendo esta considerada potável, mas não foram realizados ensaios para caracterização da água.

3.2 Métodos utilizados

3.2.1 Confecção dos corpos de prova

Para a confecção dos corpos de prova de concreto foi utilizado o seguinte traço unitário em massa: 1 : 1,3 : 2,3 : 0,48 (cimento : areia : brita : água), no qual para o

cálculo deste traço foi utilizado alguns parâmetros como o abatimento do tronco de cone de 90 ± 10 mm, que nos fornece a consistência do concreto, um α (teor de argamassa) de 0,50 e uma relação água/cimento de 0,48.

Foram confeccionados dois tipos de traço de concreto, um para referência sem substituição conforme (Fig. 3) e outro com 50% de substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo cinza mostrado na (Fig. 4).

Para a produção do concreto foi utilizada uma betoneira de 145 L, após a mistura e homogeneização do concreto foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone “slump test” conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998 [10]) mostrado na (Fig. 5). Em seguida foram moldados os corpos de prova cilíndricos de (10 cm x 20 cm) regidos pela NBR 5738 (ABNT, 2016 [2]).



Figura 3: Cimento e agregado miúdo natural (areia) para referência



Figura 4: Cimento e agregado miúdo (50% areia + 50% resíduo) substituição



Figura 5: Ensaio de abatimento do tronco de cone “slump test”

3.2.2 Ensaios laboratoriais

Afim de avaliar o comportamento do concreto quando submetido a substituição de 50% do agregado miúdo natural pelo resíduo cinza oriundo do rejeito de concreto da indústria de pré-fabricado, foram realizados os ensaios de absorção de água por imersão, ultrassom, resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral. Todos os corpos de prova moldados, foram desmoldados após 24 horas e submetidos à cura úmida de 28 dias, antes da realização dos ensaios.

3.2.2.1 Absorção de água por imersão

Para a execução deste ensaio foram utilizados 06 (seis) CP's, sendo 03 (três) com resíduo e 03 (três) sem resíduo, retirados da cura úmida após 28 dias, levados à estufa para secá-los a uma temperatura de (105 ± 5) °C, após 72 horas os CP's foram retirados, resfriados ao ar até uma temperatura de (23 ± 2) °C e pesados em balança hidrostática com resolução mínima atendida pela NBR 9778 (ABNT, 2009 [8]) para determinação da massa seca dos CP's.

Em seguida os CP's foram levados a um recipiente para serem imersos em água em um recipiente e este foi vedado com uma tampa que atendeu a exigência da norma de abertura inferior a 1% da área da seção transversal do mesmo. Os CP's foram colocados em cima de suportes de PVC, para que a face inferior pudesse ter livre contato com a água. Passadas 72 horas desde a imersão em água, os CP's foram retirados, secados com pano úmido e pesados para determinação da *massa saturada* dos CP's.

3.2.2.2 Ultrassom

Para a execução deste ensaio foram utilizados 06 (seis) CP's, sendo 03 (três) com resíduo e 03 (três) sem resíduo, retirados da cura úmida após 28 dias e secados ao ar. Em seguida os CP's foram retificados e limpos para que suas faces estivessem planas e limpas para o ensaio.

Após a preparação dos CP's, fez-se a medição do comprimento] (L) de cada CP, foi calibrado o equipamento utilizando-se uma barra de referência, após a calibração, os CP's foram colocados sob um suporte, foi passado uma fina camada de acoplante (vaselina) nas duas faces.

Foram posicionados os transdutores-emissor-receptor e feita a leitura do tempo de propagação da onda pelo CP, e junto com o comprimento medido, achou-se a velocidade de propagação através da formula $V = L/t$ (sendo L em metros e t em segundos). Todo o ensaio foi feito de acordo com as exigências da NBR 8802 (ABNT, 2013 [7]).

3.2.2.3 Resistência à compressão axial

No ensaio de resistência à compressão axial, foram utilizados 06 (seis) CP's, sendo 03 (três) com resíduo e 03 (três) sem resíduo, retirados da cura úmida após 28 dias e ensaiados segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007 [3]) afim de analisar o desempenho mecânico dos CP's.

3.2.2.4 Resistência à tração por compressão diametral

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral, foram utilizados 06 (seis) CP's, sendo 03 (três) com resíduo e 03 (três) sem resíduo, retirados da cura úmida após 28 dias e ensaiados segundo a NBR 7222 (ABNT, 2011 [6]), afim de analisar o desempenho mecânico dos CP's.

4. Resultados e discussões

4.1 Absorção de água por imersão

De acordo com os resultados obtidos mostrados na (Fig. 6), está representado a média dos 03 (três) CP's com resíduo e 03 (três) CP's sem resíduo (referência), no qual pode-se visualizar que o concreto feito com a substituição de 50% do resíduo tem um acréscimo de 15,50% na taxa de absorção de água quando comparado ao concreto de referência sem a substituição.

Por outro lado o acréscimo de absorção de água do concreto com substituição (50%) é aceitável, pois a absorção não pode ser usada como uma medida de qualidade do concreto, entretanto, a maioria dos bons concretos apresenta taxa de absorção inferior a 10%. Sendo esse percentual com substituição de (50%) de 5,44% que é inferior aos 10%.

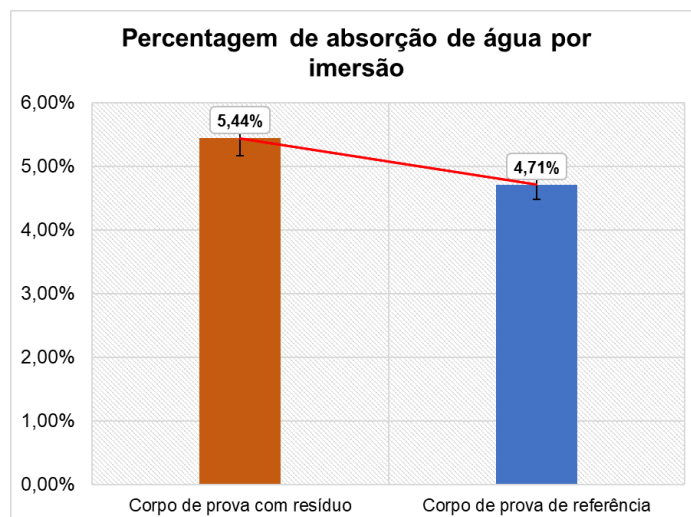


Figura 6: Gráfico da média de resistência à compressão axial nos CP's, aos 28 dias, com 50% do resíduo e sem o resíduo (Autores, 2017).

4.2 Ultrassom

Com base nos resultados obtidos mostrados na (Fig. 7), observa-se a média dos 03 (três) CP's com resíduo e 03 (três) CP's sem resíduo (referência), foi feita uma comparação de acordo com o (Quadro 1) e foi constatado que ambos os concretos (com e sem resíduo) obtiveram sua qualidade considerada "Boa" em relação ao ensaio de ultrassom, uma vez que as velocidades encontradas estavam entre 3500 e 4500 m/s. Logo este é mais um ponto positivo para a possível utilização do resíduo em substituição parcial do agregado miúdo.

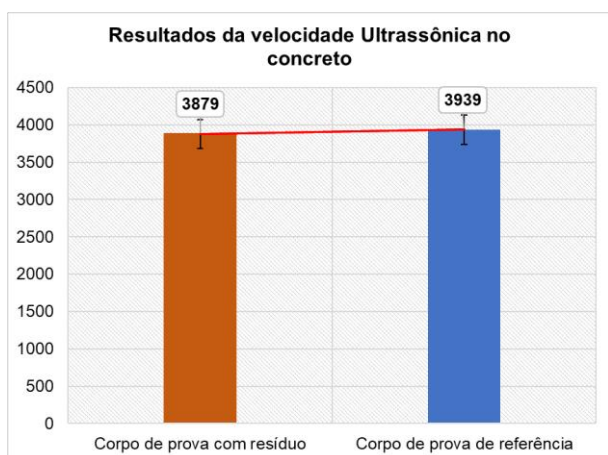


Figura 7: Gráfico da média de velocidades nos CP's, aos 28 dias, com 50% de resíduo e sem resíduo

Velocidade de pulso de Ultrassom (m/s)	Qualidade do concreto
> 4500 m/s	Excelente
3500 - 4500 m/s	Boa
3000 - 3500 m/s	Regular
2000 - 3000 m/s	Ruim
< 2000 m/s	Péssima

Quadro 1: Classificação da qualidade do concreto baseada na velocidade (WHITEHURST, 1966 [24]).

4.3 Resistência à compressão axial

De acordo com os resultados obtidos (Fig. 8), pode-se observar a média dos 03 (três) CP's com resíduo e 03 (três) CP's sem resíduo (referência), constatou-se um acréscimo de 6,93% no ganho de resistência à compressão do concreto com 50% de substituição quando comparado ao sem substituição. Este incremento é mais um fator positivo para a possível utilização do resíduo em substituição parcial do agregado miúdo.

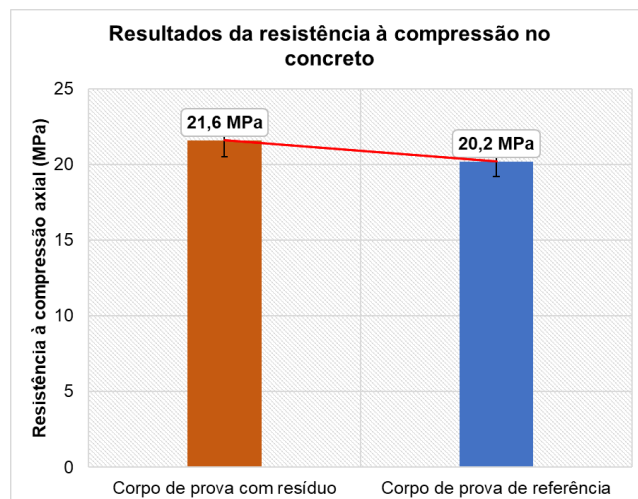


Figura 8: Gráfico da média de resistência à compressão axial nos CP's, aos 28 dias, com 50% do resíduo e sem o resíduo (Autores, 2017).

4.4 Resistência à tração por compressão diametral

De acordo com os resultados obtidos (Fig. 9), observa-se a média dos 03 (três) CP's com resíduo e 03 (três) CP's sem resíduo (referência), constatou-se um acréscimo de 11,44% no ganho da resistência à tração por compressão diametral do concreto com 50% de substituição quando comparado ao sem substituição. Este incremento é mais um fator positivo para a possível utilização do resíduo em substituição parcial do agregado miúdo.

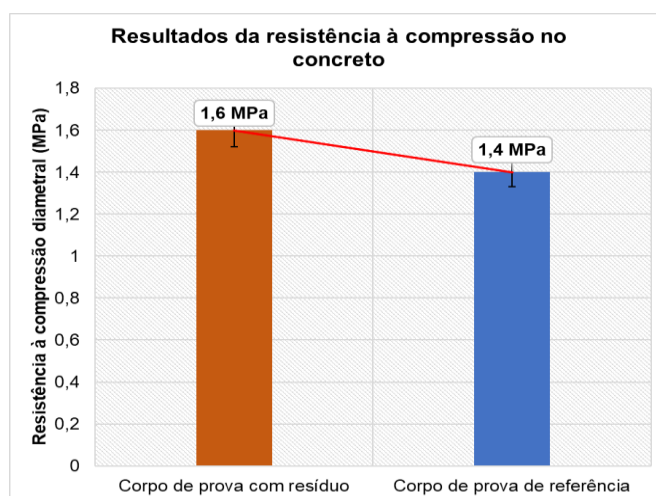


Figura 9: Gráfico da média de resistência à tração por compressão diametral nos CP's, aos 28 dias, com 50% do resíduo e sem o resíduo (Autores, 2017).

5. Considerações finais

Em relação à aceitação técnica, pode-se considerar que a utilização do resíduo cinza, oriundo do rejeito de produção de uma indústria de pré-fabricados em concreto, como substituição de 50% do agregado miúdo natural, pode ser viável tecnicamente conforme os resultados apresentados nesta pesquisa.

Desta forma, é importante salientar que outros estudos devem ser realizados, a fim de fomentar a obtenção de dados que permitam prosseguir com a viabilidade técnica desses materiais e, que os mesmos, sejam utilizados na construção civil em todas as esferas, não apenas em obras não estruturais.

Com relação à resistência, observou-se uma melhoria considerável do concreto com a utilização do material reciclado e a diminuição da absorção de água no ensaio por imersão, pois a granulometria dos resíduos oriundos dos corpos de prova de concreto, quando triturados, geram atrito que desfragmenta os grãos dos mesmos, possibilitando que os materiais mais finos “preenchem” os poros e vazios.

Em relação ao meio ambiente, a reutilização desses resíduos evitará problemas ambientais, emissão de gases na atmosfera como CO₂ oriundo da produção do cimento e a redução de resíduos destinados aos aterros ou outros locais inadequados. Desta forma, alguns desses resíduos quando mal destinados, causam impactos na fauna, flora e contribui para poluição visual local.

No entanto, quando se trata de sustentabilidade, a reutilização desses materiais oriundos dos resíduos de pré-moldados, podem minimizar a extração dos agregados naturais provenientes dos leitos dos rios, tendo em vista que os mesmos são utilizados continuamente, muitas vezes sem controle de produção e sem reposição.

O planeta está sofrendo, e as consequências vistas hoje são reflexo do que feito ao longo de nossa jornada por aqui. E, em tempos tão difíceis, onde temas como aquecimento global e poluição tomam conta do mundo, tem-se o dever de através da ciência, buscar meios para discutir sobre sustentabilidade propiciando recuperar o que há muito tempo, vem sendo degradado pelas ações antrópicas.

6. Agradecimentos

O desenvolvimento deste artigo é de grande relevância para a comunidade acadêmica e não seria possível sem a colaboração de todos os participantes que se fizeram presentes durante sua construção. Agradecemos à todos os envolvidos direta e indiretamente, em especial a Prof^a. Dr^a. Eliana Cristina Barreto Monteiro e a Universidade Católica de Pernambuco.

7. Referências

- [1] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733. *Cimento Portland de alta resistência inicial*. Rio de Janeiro, 1991.
- [2] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. *Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2016.
- [3] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739. *Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.
- [4] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. *Projeto de estruturas de concreto – procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.
- [5] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. *Agregado para Concreto: Procedimento*. Rio de Janeiro, 2009.
- [6] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222. *Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de provas de concreto*. Rio de Janeiro, 2011.
- [7] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8802. *Concreto endurecido – Determinação de propagação de onda ultrassônica*. Rio de Janeiro, 2013.
- [8] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778. *Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, incide de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 2009.
- [9] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. *Determinação da composição granulométrica: Método de ensaio: Procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
- [10] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67. *Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.
- [11] AMBROZEWICZ, P. H. L. *Materiais de construção: Normas, Especificações e Ensaio de Laboratório*. São Paulo: Editora Pini, 2012.
- [12] ÂNGULO, S. C; JOHN, V. M. *Requisitos Para Execução de Aterros de Resíduos de Construção e Demolição*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil: BT/PCC/436. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- [13] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 307, de 5 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. 2002. *Diário Oficial da União*, n. 136, de 17 de julho de 2002, Seção 1, p. 95-96.

- [14] BUTTLER, A. M. *Concreto com agregados graúdos reciclados - influência da idade de reciclagem nas propriedades dos agregados e concretos reciclados*. 2003. 220 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2003.
- [15] CARNEIRO, F. P. *Diagnóstico e Ações da Atual Situação dos Resíduos de Construção e Demolição na Cidade do Recife*. João Pessoa, 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Escola de Engenharia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.
- [16] FERREIRA, H. L. A. *Estudo da substituição do agregado graúdo natural por resíduo de concreto britado*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2013.
- [17] FELIX, et al. Análise da vida útil de estruturas de concreto armado sob corrosão uniforme por meio de um modelo com RNA acoplado ao MEF. *Revista Alconpat*, [s.l.], v. 8, n. 1, p.1-15, 1 fev. 2018. Revista ALCONPAT. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i1.256>.
- [18] FILHO, J; DUARTE, E; DIAS, A; FARIA, A. Gerenciamento dos resíduos de construção nas obras de um edifício comercial na cidade de São Paulo. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, V.7, Nº.4, 91-107, 2015.
- [19] JIANZHUANG, X. W; LI, Y; FAN, X. Huang. An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011), *Construction and Building Materials* 31, 364–38, 2012.
- [20] LÓPEZ T. H. E; THOMAS, A. J; PRATAC, A; AMIGO, D; FEEA, D. M. Volcanic plume characteristics determined using an infrared imaging camera, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 300, 148–166, 2015.
- [21] MARTÍNEZ-MOLINA, W. et al. Concreto reciclado: una revisión. *Revista ALCONPAT*, Volume 5, Número 3, Setembro - dezembro 2015, Páginas 234 – 247. México, 2016.
- [22] RUGGIERI F. J. L; FERNANDEZ-TURIEL, J; SAAVEDRA, D; GIMENO, E; POLANCO, A; AMIGO, G; GALINDO, A. C. Contribution of volcanic ashes to the regional geochemical balance: The 2008 eruption of Chaitén volcano, Southern Chile, *Science of the Total Environment* 425, 75–88, 2012.
- [23] TOPCU, I. B; SENDEL, S. “Properties of concretes produced with waste concrete aggregate”, *Cement and Concrete Research*, 34(8), 1307-1312, 2004.
- [24] WHITEHURST, E. A. The soniscope – a device for field testing of concrete. *Research Project*, Purdue University, p 1-11, 1966.
- [25] ZORDAN, S. E. *A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto*, Diss. Mestrado, Fac. Eng. Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (1997) 140p.