

## **SUBSTITUIÇÃO DE CIMENTO PORTLAND POR RESÍDUO CERÂMICO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO**

Gabriel Miranda Chamorro<sup>1</sup>; Maria Aparecida G. Tommaselli<sup>2</sup>  
gabrielmirandach3@gmail.com<sup>1</sup>; mariamachado@ufgd.edu.br<sup>2</sup>;

**RESUMO** - A construção civil é uma das indústrias que mais gera resíduos sólidos. Pesquisas têm buscado avaliar a viabilidade de reutilização de resíduos dentro da construção civil. O presente trabalho visa analisar o desempenho de concretos produzidos com resíduo cerâmico em substituição parcial ao cimento portland. O resíduo é proveniente de fragmentos de tijolos cerâmicos, o material utilizado foi o passante na peneira nº 200 (75µm). A confecção do concreto utilizou fator água/cimento 0,5 e traço (1:1,55:2,19). As proporções de substituição foram de 0, 15 e 20% com relação a massa do cimento. Os resultados de resistência à compressão revelaram uma resistência maior à substituição de 20%, com resistência média de 25,74 MPa para as quatro amostras rompidas, as proporções de 15 e 0% alcançaram 23,71 e 23,92 MPa respectivamente. Na absorção, índice de vazios e massa específica os resultados foram muito próximos, apresentando pequeno aumento nas amostras com resíduo. Por ter apresentado bons resultados, existe grande potencial na utilização de resíduos cerâmicos na produção do concreto.

**Palavras-chave:** Resíduo cerâmico. Cimento Portland. Concreto.

**ABSTRACT** – Civil construction is one of the industries that most generates solid waste. Research has sought to assess the feasibility of reusing waste within civil construction. This study aims to analyze the performance of concrete produced with ceramic waste in partial replacement of portland cement. The residue comes from fragments of ceramic bricks, the material used was the passer-by in sieve nº 200 (75µm). The production of concrete used water/cement factor 0.5 and trace (1:1,55:2,19). The proportions of substitution were 0, 15 and 20% in relation to the cement mass. The results of compressive strength revealed a higher substitution strength of 20%, with an average strength of 25,74 MPa for the four broken samples, the proportions of 15 and 0% reached 23,71 and 23,92 MPa respectively. In the absorption, void index and specific mass the results were very close, showing a small increase in the samples with residue. Because it presented good results, there is great potential in the use of ceramic waste in the production of concrete.

**Keywords:** Ceramic waste. Portland cement. Concrete.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da produção na indústria da construção civil tem gerado muita preocupação, por ser um setor que se utiliza muito de recursos naturais esgotáveis e causa impactos ambientais significativos por sua grande produção de resíduos. A construção civil exerce uma atividade poluente com um produto final que consome muito recurso natural e depende do processo de extração desses recursos naturais, que pode ser de alto, médio ou baixo impacto ambiental dependendo da intensidade a ser causada na extração (LEITE, J; NETO, 2014). Nesse cenário Leite, e Molin (2002) ressaltam o grande potencial que o setor da construção civil tem em utilização de produtos reciclados e até reutilização de seus próprios resíduos.

Um fator preocupante apontado por Fernandes e Amorim (2014) é o crescimento da quantidade de resíduos gerados e despejados na natureza, que tem sua origem devido a desperdícios e demolições após o uso nas construções. Estudos realizados por Cabral (2007) em cidades brasileiras, revelam que argamassa, concreto e cerâmica vermelha juntos, correspondem a aproximadamente 60% do total dos resíduos gerados na construção. O autor alega que a cultura construtiva no Brasil favorece os desperdícios principalmente nas fases de concretagem, alvenaria, reboco/emboço e revestimento onde esses materiais são utilizados.

Segundo a resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) os resíduos de construção civil têm a seguinte definição:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha; (BRASIL, 2002, p. 1)

O artigo terceiro da mesma resolução classifica os resíduos recicláveis e reutilizáveis como agregado (Classe A), estando presentes resíduos de demolição, componentes cerâmicos e peças de concreto, entre outros exemplos (BRASIL, 2002).

Pinto *et al.* (2019) enfatiza que mesmo com a complexidade da cadeia de reciclagem dos materiais utilizados na construção civil e os desafios de que produtos provenientes da reciclagem se adequem as normas, os ganhos são inúmeros na utilização de agregados recicláveis, tanto financeiro quanto na questão ambiental.

Cabral (2007) reconhece que é um grande desafio para a comunidade acadêmica satisfazer os anseios da indústria da construção civil em qualidade, que é um dos setores da economia mais tradicionais, e satisfazer a sociedade que deseja uma solução para a degradação dos recursos naturais. John e Agopyan (2000) entendem que além de

Concreto produzido com resíduo cerâmico

apresentar vantagens competitivas sobre os produtos tradicionais, a utilização de resíduos, como agregados e produtos na construção civil, deve vencer a desconfiança através de políticas prolongadas de educação ambiental e desenvolvimento de marcas de qualidade ambiental, buscando alguma normalização para abertura desses produtos no mercado.

A ABRELPE (2017), em pesquisa feita, calculou o índice de coleta de resíduos de construção e demolição no Brasil, que é de 0,594 kg/hab./dia, sendo o centro oeste a região com um índice mais alto, de 0,855 kg/hab./dia. O montante coletado foi de 45 milhões de toneladas em 2017, 0,1% menor em relação a 2016.

O IBGE (2008) apontou que dos 5.564 municípios brasileiros, 4.864 tiveram dados levantados, e destes, 72,45% dos municípios possuem “serviço de manejo dos resíduos de construção e demolição”; 7,05% tem “existência e tipo de processamento dos resíduos”, 2,23% a “triagem simples dos resíduos de construção e demolição reaproveitáveis (classes A e B)”, 0,25% a “triagem e trituração simples dos resíduos classe A”, em 0,36% existe “triagem e trituração dos resíduos classe A, com classificação granulométrica dos agregados reciclados”, apenas 1,42% possuem o programa de “reaproveitamento dos agregados produzidos na fabricação de componentes construtivos” e 3,66% possuem outro tipo de serviço.

Helene e Andrade (2010) destacam que dois dos maiores países, no quesito desenvolvimento, Estados Unidos e Canadá entendem que o investimento no estudo das estruturas de concreto é muito importante para manter a qualidade de vida do seu povo e a liderança em seu parque industrial, assegurando sua alta competitividade através do conhecimento científico do concreto.

Angulo *et. al* (2011) considera que a utilização do RCD (Resíduo de Construção e Demolição) não processado, e, portanto, não transformado em agregado para pavimentação e uso no concreto é aceitável, mas que o foco deveria estar na reciclagem do resíduo, para a transformação em material de construção e assim poupar os agregados naturais.

Brasileiro e Matos (2015) ressaltam que a implantação de leis e resoluções já demonstram uma efetiva preocupação com a gestão de resíduos e que boa parte dos envolvidos na cadeia produtiva estão cientes que mudanças são necessárias para uma indústria da construção civil sustentável.

O objetivo da pesquisa foi analisar o desempenho de concretos produzidos com resíduo cerâmico em substituição parcial ao cimento portland, buscando incentivar a reutilização de materiais descartados, que não possuem tratamento devido. As porcentagens utilizadas para a substituição foram 0, 15 e 20% em relação ao cimento.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O concreto de Cimento Portland é um material estrutural de construção civil muito importante atualmente e pode ser considerado uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade, mesmo sendo recente comparado a outros materiais, e só perde para a água como material mais consumido pelo homem (HELENE; ANDRADE, 2005). Zampiere (1989) destaca a excepcional qualidade deste material, promovendo mudanças no modo de vida do homem, mas aponta os desafios, enfrentados atualmente, na questão do consumo energético de fabricação e a busca por adições ativas como a pozolana.

Os principais constituintes do cimento são compostos de calcário, que reagem com a água, portanto, o denominado cimento hidráulico para produção de concreto tem propriedade de reagir e endurecer com a água. O cimento Portland contém em sua composição tanto o calcário quanto alumina e sílica, sua produção ocorre em todo o mundo, com matéria prima presente em praticamente todos os países (NEVILLE, 2013).

A NBR 12653 (ABNT, 2014) define materiais pozolânicos como materiais silicosos ou silicoaluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante, mas que, quando fino e na presença de água, reagem com hidróxido de cálcio e formam compostos com propriedades cimentícias.

Para Vieira (2005) a pozolana tem um importante papel na microestrutura da pasta cimentícia quando, pelas reações pozolânicas, causa mudança na sua estrutura porosa ao diminuir o tamanho dos grãos e pelo efeito filler no preenchimento dos poros e dos vazios, geralmente aumentando a resistência mecânica e a durabilidade do concreto.

Zampiere (1989) compara obras antigas do império romano, que se utilizavam do conhecimento da época a respeito da atividade pozolânica, como o Panteão Romano, o Coliseu, a Basílica de Constantino dentre outras que até hoje resistem de forma admirável, ao contrário de outras obras da época que não utilizavam adições pozolânica e não mais existem. Os materiais utilizados, segundo o mesmo autor, eram telhas, cerâmicas moídas ou materiais de origens vulcânicas.

No Brasil, Zampiere (1989) relembra que o uso de argilas calcinadas para fins pozolânicos começa na construção da barragem Jupuíá (MS), entre 1960-1974, pois os agregados eram potencialmente reativos com os álcalis do cimento, causando reações expansivas do tipo álcali-agregado, nessa obra decidiu-se utilizar cimentos com baixos teores de álcalis e o material pozolânico para prevenir essa reação prejudicial ao concreto.

Vieira (2005) aponta que os resíduos de indústrias cerâmicas quando moídos apresentam reatividade pozolânica por serem ricos em sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e/ou alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e

Concreto produzido com resíduo cerâmico quando reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), que está presente na cal ou no cimento, podem fornecer algumas alterações nas características do material produzido, tais como as propriedades mecânicas e a durabilidade.

Em estudo sobre dosagem do concreto Helene e Tutikian (2005) consideram a participação dos finos, como a pozolana, muito interessante para o desempenho do concreto, visto que, os cimentos atuais possuem muitas adições incorporadas que podem ter influência na otimização final das proporções dos materiais constitutivos da mistura escolhida. Os mesmos autores ainda destacam a importância dos estudos de concreto sustentável, inclusive com incorporação de resíduos da construção civil.

Cordeiro *et. al* (2009) realizou substituição do cimento por cinza residual de casca de arroz na produção de concreto, e obteve melhoria no desempenho mecânico ao analisar a resistência à compressão, que com substituição parcial de até 20% revelou resultados positivos. A atividade pozolânica foi identificada no material, que para a substituição de 20% apresentou a maior resistência aos 180 dias de cura.

Pesquisas visando a obtenção e o beneficiamento de pozolanas de baixo custo tem se tornado mais frequente atualmente, na busca de substituir parcialmente o uso de cimento Portland em argamassas e concretos, esses estudos reforçam que as substituições têm um benefício duplo ao meio ambiente, visto que, os resíduos não têm utilização e sua exposição é degradante ao ambiente e reduz o uso de cimento que é um dos grandes emissores de  $\text{CO}_2$  na atmosfera (VIEIRA, 2005).

Gonçalves (2005) apontou alguns fatores que influenciam no desempenho de uma pozolana no concreto, tais como: composição química, índice de atividade pozolânica, teor de substituição, diâmetro médio e massa específica do material pozolânico, proporção dos materiais, relação água cimento, tipo de agregados e tipo de cimento, idade e grau de hidratação do concreto.

Em geral a massa específica e a massa unitária dos agregados reciclados são menores do que a dos agregados naturais, devido a densidade, a alta porosidade e a forma irregular das partículas do material reciclado, porém a redução desses índices também depende da granulometria dos agregados reciclados (CABRAL, 2007).

Segundo Vieira (2005) o uso dos resíduos cerâmicos moídos, mesmo podendo ser benéfico, pela sua atividade pozolânica gerando uma estrutura mais homogênea e densa, tem um alto nível de variabilidade na sua composição resultante de diversos fatores como, a homogeneidade e temperatura da queima e a composição das matérias primas, que podem interferir na ação positiva em determinadas características do concreto.

Concreto produzido com resíduo cerâmico

Leite (2001) observou a existência do efeito pozolânico no RCD ao atestar que os aumentos de resistência foram maiores nas amostras com 100% de agregado miúdo reciclado, para todas as relações de água/cimento dos 28 aos 91 dias de idade do concreto. Leite e Molin (2002) concluíram que existe a atividade pozolânica, encontrada na amostra cerâmica do RCD, na produção de concreto tanto com o cimento, quanto com a cal.

Resíduos de construção podem ter diversas aplicações dentro da construção civil, como apontam Brasileiro e Matos (2015) citando confecção de tijolos, blocos pré-moldados, meio-fio, calçadas, argamassa de revestimento, camadas de base e sub-base, pavimentos, entre outros. Gaspareto e Teixeira (2017), por exemplo, obtiveram resultados positivos, comparado com as amostras de referência, na produção de tijolos maciços, com utilização de 40% de resíduo na massa cerâmica, misturando o resíduo triturado com argila e água.

Brasileiro e Matos (2015) sugerem a utilização de RCD como agregado reciclado para concreto asfáltico, em substituição do agregado natural, gerando um benefício ambiental duplo. Cabral *et. al* (2009) comprova a influência positiva na resistência à compressão de concretos com substituição do agregado miúdo natural por resíduo cerâmico e a influência negativa da substituição do agregado graúdo natural pelo resíduo cerâmico, devido a sua alta porosidade.

Carvalho (2013) utilizou resíduos de cerâmica de revestimento na substituição da areia natural e do cimento, em proporções de 5 a 30%, para produção de peças pré-moldadas de concreto para pavimento intertravado e confirmou a viabilidade de tal uso. Para a substituição da areia os resultados de resistência foram maiores que os valores de referência, já em substituição do cimento houve um decréscimo na resistência e aumento na absorção de água. A utilização é positiva tendo em vista a sustentabilidade na economia de recursos naturais.

Angulo *et. al* (2011), em seu estudo sobre concreto com agregado reciclado, identificou que a diferença essencial entre o concreto convencional e o concreto utilizando agregados reciclados é a porosidade, que é mais presente nos materiais cerâmicos e, por isso, deve ser controlada sua aplicação no concreto. O autor ainda considera que a utilização de RCD no concreto é uma necessidade primária para o setor da construção civil, devido a quantidade de matéria prima utilizada pelo setor.

Leite (2001) em substituição dos agregados naturais por RCD, variando a relação água/cimento observou que a absorção do RCD foi bem maior ocasionando uma queda na resistência à compressão quando utilizado uma relação a/c mais baixa. Porém quando utilizado uma relação  $a/c > 0,60$  os resultados obtiveram um desempenho melhor ou muito semelhante aos do concreto de referência, que não possuía substituição.

Concreto produzido com resíduo cerâmico

Gonçalves (2007) identificou que para substituição de 20% de cimento por resíduo cerâmico não houve uma influência significativa na resistência à compressão, na resistência à tração por compressão diametral e na resistência a tração na flexão dos concretos aos 28 dias, independente do índice de a/c. Concluindo ser uma boa alternativa de incorporação dos resíduos cerâmicos.

Sales e Alferes Filho (2014) utilizou resíduos de blocos cerâmicos para produção de concreto em substituição do cimento. O desempenho mecânico dos corpos de prova à compressão aos 28 dias de idade foi positivo na substituição de 20%, o aumento foi de aproximadamente 11% em relação ao concreto referência. Ele destaca que o fato das amostras de concreto utilizando pó de resíduo cerâmico na substituição do cimento portland não terem sofrido prejuízos relevantes, quanto à resistência mecânica, mostra a vantagem dessa utilização na construção civil. Salientando também o papel da indústria cimentícia na emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Portanto, a utilização de resíduos cerâmicos se torna um grande aliado do meio ambiente.

Vieira (2005) comparou o concreto produzido com uma pozolana industrial e outro com resíduo cerâmico em composição ao cimento e obteve para a substituição de 20% de RC (Resíduo Cerâmico) um desempenho médio equivalente ao concreto de referência. Para a substituição de 40% a diminuição de resistência comparado ao concreto referência foi de aproximadamente 20%.

Costa (2017) também apresentou resultados positivos na substituição de cimento por resíduos de tijolos moídos em 20% na produção de concreto, ao analisar a resistência à compressão. O autor também avaliou substituição com 10 e 30 % e a queda na resistência foi maior, mas ele ainda ressalta que esses resultados não inviabilizam a possibilidade de utilização, principalmente por seu fator sustentável.

Medeiros *et. al* (2016) ressalta que a cominuição, atividade de diminuição de partículas, do resíduo cerâmico, para substituição do cimento, deve ser feito com mais cuidado do que o processo para substituição por agregado. O aumento do tempo de moagem, segundo o autor, aumenta a resistência da argamassa, devido ao aumento do empacotamento de partículas.

Vieira (2005) identificou que para o mesmo processo de cominuição, o resíduo cerâmico apresentou melhores resultados de área específica que uma pozolana tradicionalmente usada na indústria de fabricação de cimento Portland. Apresentando também atividades pozolânica muito semelhantes, em relação a pozolana, com finuras semelhantes.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 CIMENTO

O cimento utilizado foi o CPV ARI, disponível em mercado local. O CPV ARI se refere a um cimento de alta resistência inicial, que apresenta resistência igual ou maior a 14 MPa com 1 dia de idade. É um tipo de cimento portland com um custo de produção mais caro e por consequência com um preço de mercado também mais alto, comparado aos outros tipos de cimento portland.

De acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018) o CPV ARI é composto por 90 a 100% de clínquer, mais sulfatos de cálcio e, 0 a 10% de material carbonático. Ele não possui material pozolânico e escória de alto forno em sua composição, diferente dos cimentos compostos. Ele se caracteriza também por ser um cimento mais fino que os demais.

##### 3.1.2 AGREGADOS

O agregado miúdo utilizado foi areia média adquirida no mercado local e o agregado graúdo foi a brita 1, também adquirida em mercado local.

##### 3.1.3 RESÍDUO CERÂMICO

O resíduo cerâmico foi obtido em uma construção na cidade de Dourados, sendo proveniente de resíduos de tijolos descartados. Na Figura 1 é apresentado a situação do resíduo em sua forma inicial. O resíduo atuou no concreto em substituição parcial do cimento portland, nas proporções de 0, 15 e 20 % em relação a massa do aglomerante.

**Figura 1:** Resíduo cerâmico coletado.



Fonte: Autor, (2019)

O RC passou por processos de moagem em aparelho de Abrasão Los Angeles e moinho de bolas e peneiramento, até ser possível a sua utilização para estudos no concreto, tais processos serão descritos nos próximos tópicos.

#### 3.2 MOAGEM DO RC

### 3.2.1 ABRASÃO LOS ANGELES

O aparelho utilizado possui um moinho central com diâmetro de 70 cm. A rotação se deu uniformemente na velocidade de 30 rpm. A abertura para a entrada de materiais possui dimensão retangular de 44x70 cm. O moinho e as esferas metálicas podem ser vistos através da Figura 2. O procedimento foi realizado adicionando o resíduo cerâmico e logo em seguida, a carga abrasiva, 12 esferas metálicas de aproximadamente 50mm de diâmetro.

**Figura 2:** Equipamento de abrasão Los Angeles.



Fonte: Autor, (2019)

Foi submetido a britagem 5kg de resíduo cerâmico, com 500 rotações com velocidade uniforme de 30 rpm.

### 3.2.1 MOINHO DE BOLAS

Após a passagem do material pelo aparelho de Abrasão Los Angeles, utilizou-se um moinho de bolas, com 32 esferas cerâmicas de 25 mm de diâmetro, para moagem do material. O moinho utilizado pode ser visto na Figura 3.

**Figura 3:** Moinho de bolas cerâmico.



Fonte: Autor, (2019)

O material colocado no moinho preencheu aproximadamente metade de seu volume e ficou por aproximadamente 13 horas em processo de moagem.

### 3.3 PENEIRAMENTO DO RC

O material de RC, após a moagem, foi levado à estufa para a retirada de umidade. Utilizando peneiras de aberturas de número 16, 30, 50, 100 e 200, foi feita a caracterização granulométrica do material cerâmico, o procedimento pode ser visto através da Figura 4. Posteriormente utilizou-se apenas a peneira nº 200 e por peneiramento manual obteve-se o resíduo na finura desejada, passante na malha 75µm.

**Figura 4:** Peneiramento resíduo cerâmico para caracterização do material.



Fonte: Autor (2019)

### 3.4 DOSAGEM DO CONCRETO

A dosagem do concreto seguiu o traço utilizado por Vieira (2005) de dosagem experimental, com resistência característica do concreto à compressão ( $f_{ck}$ ) de 30MPa, fixando o fator água/cimento em 0,5. A tabela 1 mostra a relação de materiais para as três condições.

**Tabela 2 –** Relação de resistência e consistência do concreto.

Material	0%	15%	20%
	Kg		
Brita 1	15,55	15,55	15,55
Areia média	9,85	9,85	9,85
Cerâmica	0,00	0,62	0,83
Cimento	4,16	3,53	3,33

Fonte: Autor, (2019).

### 3.5 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A produção dos corpos de prova de concreto seguiu as orientações da NBR 5738 (ABNT,2015). Foi realizado também o ensaio de consistência através do abatimento de cone, segundo a norma NBR NM 67 (ABNT, 1998). Foram confeccionados 18 corpos de prova, com dimensões 10x20 cm (Diâmetro x Altura), sendo 6 para cada teor de substituição. Após 24 horas, houve a desmoldagem das amostras e então foram

Concreto produzido com resíduo cerâmico submetidas ao processo de cura, sendo imersos em água saturada com cal hidratado. Na Figura 5 é mostrado o concreto nas formas e as amostras já retiradas após 24 horas.

**Figura 5** – Corpos de prova das três misturas em forma e após a desforma.



Fonte: Autor, (2019).

### 3.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

O rompimento dos corpos de prova foi executado, com o auxílio de uma prensa elétrica com potência de 750 W, precisão (+/-1) e carga máxima 2000 kN. O procedimento seguiu a NBR 5739 (ABNT, 2018). A Figura 6 mostra o equipamento utilizado para retificação das superfícies do corpo de prova e a prensa que realizou o esforço de compressão nas amostras aos 28 dias de idade.

**Figura 6** – Máquina de retificação e prensa elétrica respectivamente.



Fonte: Autor, (2019).

### 3.7 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA E ÍNDICE DE VAZIOS

O ensaio de absorção de água foi executado seguindo a NBR 9778 (ABNT, 2009), com duas amostras para cada condição. As amostras ficaram 72 horas em estufa, depois pelo mesmo período, imersos em temperatura ambiente de aproximadamente 25°C, por fim as amostras passaram por um processo de fervura, como mostra a Figura 7. As massas

Concreto produzido com resíduo cerâmico foram registradas em estado seco, saturado e imerso. As amostras seguiram a mesma mistura das amostras submetidas ao ensaio de resistência à compressão simples.

**Figura 7** – Corpos de provas submetidos à imersão, fervura e pesagem.



Fonte: Autor, (2019).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 MOAGEM DO RESÍDUO CERÂMICO

Utilizando resíduo cerâmico Vieira (2005) ressaltou a grande utilização do moinho de bolas para a cominuição, gerando uma distribuição granulométrica bastante fina.

O processo de moagem seguiu a relação entre tempo de moagem, carga das esferas e massa do material utilizado por Vieira (2005), que para a cominuição do mesmo resíduo cerâmico obteve melhores resultados na moagem ao aumentar a carga de bolas de 2 para 12% do volume do moinho, para o mesmo tempo. Para o moinho cerâmico, utilizado na presente pesquisa, essa relação foi adequada para os materiais disponíveis.

O material resultante da primeira etapa de moagem, é mostrado na Figura 8.

**Figura 8:** Resíduo cerâmico após a moagem no Abrasão Los Angeles.



Fonte: Autor, (2019)

O resultado do processo de cominuição no moinho de bolas é mostrado na Figura 9. Um resultado mais eficiente poderia ser obtido com esferas de tamanhos diferentes,

Concreto produzido com resíduo cerâmico conseguindo aumentar o atrito, mesmo nos pequenos espaços, resultando em um material mais fino (BISTROT, 1996 apud VIEIRA, 2005).

**Figura 9:** Resíduo cerâmico após a moagem em moinho de bolas.



Fonte: Autor, (2019)

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO RESÍDUO CERÂMICO

O resíduo cerâmico após o peneiramento apresentou uma curva granulométrica com característica mais próxima de areia muito fina, a Figura 10 apresenta a distribuição granulométrica do resíduo cerâmico. O módulo de finura, obtido pela soma das porcentagens acumuladas dividido por 100, foi de 1,98 e diâmetro máximo característico na peneira 16, sendo resultado da análise da porcentagem retida acumulada igual à 5%.

**Figura 10 –** Curva granulométrica do RC.



Fonte: Autor, (2019).

O resíduo cerâmico, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009) não apresenta características de módulo de finura e de massa retida de agregados miúdos em suas zonas ótimas, o material se situa na zona utilizável inferior pelo seu módulo de finura.

#### 4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Foram submetidas à compressão quatro amostras de concreto para cada condição. A partir da Figura 11 podemos ver uma característica comum no tipo da ruptura, uma linha

Concreto produzido com resíduo cerâmico na diagonal. Esse tipo de ruptura é denominado cisalhada segundo a NBR 5739 (ABNT, 2018).

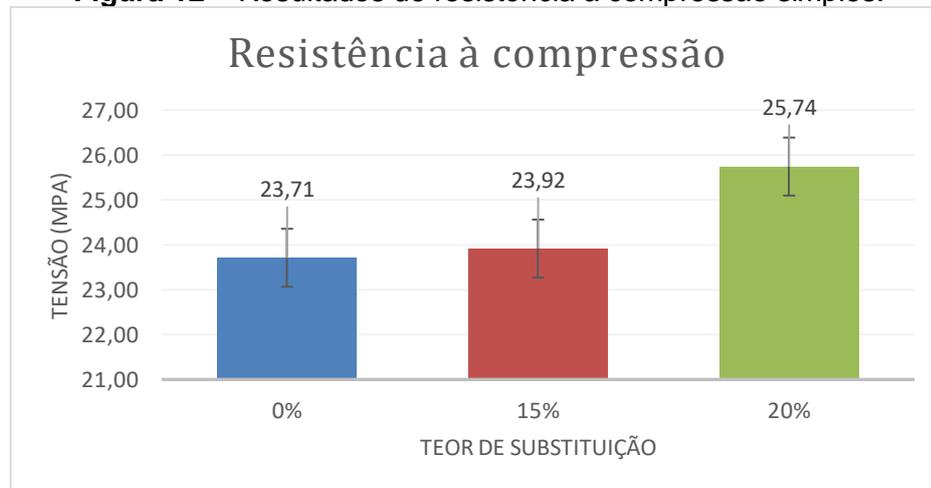
**Figura 11** – Corpos de provas (0, 15 e 20% respectivamente) após o rompimento.



Fonte: Autor, (2019).

Os resultados de resistência à compressão foram obtidos através da carga máxima registrada pela prensa dividida pela área transversal do corpo de prova, obtendo assim a tensão em (MPa). A Figura 12 mostra os resultados médios para cada condição.

**Figura 12** – Resultados de resistência à compressão simples.



Fonte: Autor, (2019).

Os dados mostram que a mistura com maiores resultados de compressão foi 20%, seguido de 15% e a mistura sem substituição apresentou a menor resistência. Embora esse aumento da resistência siga a proporção de substituição, do cimento portland pelo resíduo cerâmico.

O resultado mostra um aumento de menos de 1% entre a proporção de 15 e 0% de substituição, enquanto que a amostra de 20% apresenta um resultado de quase 8% maior. Costa (2017) obteve os melhores resultados nas substituições com 20%, mas sua resistência foi cerca de 8% menor que o convencional, sem substituição, com outro tipo de

Concreto produzido com resíduo cerâmico cimento portland. Vieira (2005) analisou o rompimento das amostras com 14 e 56 dias de idade, com 20 e 40% de substituição do cimento portland pelo RC, com duas temperaturas de cura diferente. As amostras que tiveram seu processo de cura em temperatura ambiente (+/- 23°C) apresentaram uma resistência menor para as misturas com RC, já as amostras que tiveram sua cura à 55°C teve seu melhor desempenho com 20% de substituição aos 56 dias de idade.

Sales e Alferes Filho (2014) realizaram substituição do cimento portland por RC nas proporções de 10, 20 e 40% e realizaram a compressão aos 3 e aos 28 dias de idade. Os resultados para os 28 dias apresentaram um aumento de 11% na amostra com 20% de substituição e redução de 11 e 17% para as substituições de 10 e 40% respectivamente. Enquanto para a idade de 3 dias, as resistências das amostras com RC tiveram desempenho bem menor, chegando a cair quase 40% quando comparado a amostra sem substituição com a de 40% de RC.

A atividade pozolânica da cerâmica pode ser um fator de contribuição ao longo dos 28 dias de cura. O cimento utilizado apresenta alta resistência inicial e não possui adição de pozolana industrial, em contrapartida o resíduo cerâmico tem alto potencial de atividade pozolânica, que gera um aumento de resistência ao longo do tempo, conforme mostra Vieira (2005) e Costa (2017).

O ensaio de consistência, realizado conforme a NBR NM 67 (ABNT,1998), revelou que quanto maior a substituição, menor a consistência, como é mostrado na Tabela 2. Mesmo não sendo uma diferença muito grande esse resultado pode ser justificado pelo maior consumo de água do resíduo cerâmico.

A mesma relação foi obtida por Vieira (2005) nas amostras com 20 e 40% de substituição. Sales e Alferes Filho (2014) mantiveram a consistência e a relação água/cimento constantes com auxílio de um plastificante, porém foi necessária uma maior quantidade de aditivo para as substituições com mais RC.

**Tabela 2 –** Relação de resistência e consistência do concreto.

<b>Teor de substituição (%)</b>	<b>Slump (mm)</b>	<b>Resistência à compressão simples (Mpa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>0</b>	129	23,71	1,58
<b>15</b>	132	23,92	1,38
<b>20</b>	133	25,74	1,26

Fonte: Autor, (2019).

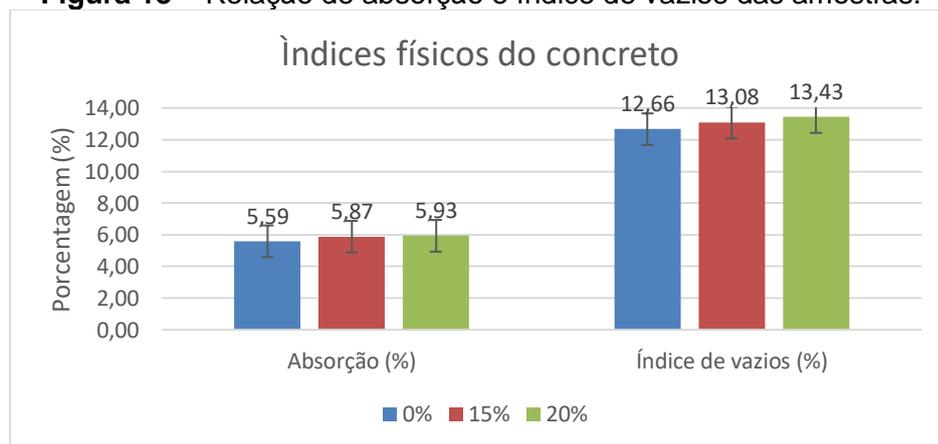
## 4.2 ABSORÇÃO E ÍNDICE DE VAZIOS

O ensaio foi executado, com duas amostras para cada condição. Foram obtidos os resultados de absorção de água, índice de vazios, massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada e massa específica real.

Os resultados expressos no gráfico da Figura 13, confirmam a característica da cerâmica de absorver mais água, contudo o aumento tanto da absorção, quanto do índice de vazios, não foi significativa, alcançando 5% e 2% na absorção, 3% e 2% no índice de vazios com relação a mistura de 0 e 15% e 15 e 20% respectivamente.

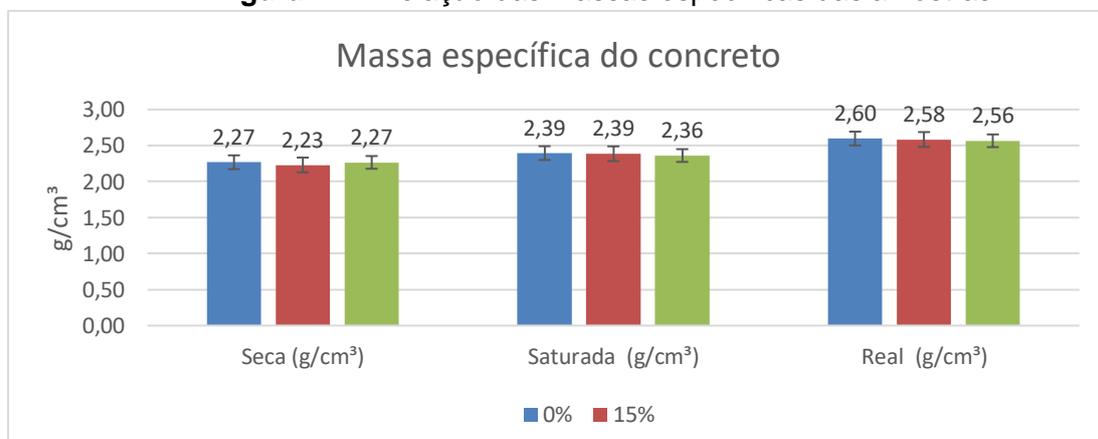
As massas específicas também apresentaram uma pequena diferença, sendo a massa específica real maior para o concreto referência, sem substituição, e menor para as substituições de 15 e 20%, com percentual de aproximadamente 1% de diferença entre as condições. A Figura 14 mostra as massas específicas, da amostra seca, amostra saturada e real, nas três proporções de mistura.

**Figura 13 –** Relação de absorção e índice de vazios das amostras.



Fonte: Autor, (2019)

**Figura 14 –** Relação das massas específicas das amostras.



Fonte: Autor, (2019)

Concreto produzido com resíduo cerâmico

Vieira (2005), para o mesmo traço, com substituições de 20 e 40% chegou a mesma relação, quanto maior a substituição maior a porosidade e índice de vazios e menor a massa específica. Sales e Alferes Filho (2014) também obtiveram resultados com a mesma característica para substituições de 10, 20 e 40% do aglomerante pelo resíduo cerâmico, tendo os valores superiores para os maiores teores.

Costa (2017) obteve também valores muito próximos de massa específica com substituições de 10, 20 e 30%, tendo uma diferença entre os teores de aproximadamente 1% e valores crescentes de absorção de água e índice de vazios conforme a proporção de substituição, principalmente para a mistura com 20% de substituição.

Em comparação com a literatura os índices físicos seguiram a mesma característica, de aumentar seu índice de vazios e sua absorção, mas não de forma expressiva. Sua massa específica também teve alteração pouco relevante, diminuindo conforme o grau de substituição.

Os resultados apresentados confirmam a influência do resíduo cerâmico na estrutura do concreto, conforme Cabral (2007) apresenta, a forma irregular das partículas, a sua densidade e o aumento da porosidade estão intimamente ligados e causam essa influência na característica física do concreto com substituição de materiais.

## 5 CONCLUSÃO

O presente estudo buscou uma alternativa para a composição do concreto, considerando que o resíduo cerâmico é um material em grande volume e não tem o tratamento de separação, coleta e reutilização definido. Por isso, a pesquisa obteve um resultado positivo, considerando que não houveram diminuições na sua resistência mecânica e nos índices físicos. As diferenças, com relação ao concreto referência (0%), não foram significativas ao ponto de desconsiderar as vantagens apresentadas pela substituição.

Outros processos podem ser aperfeiçoados em pesquisas futuras, com uma moagem mais eficiente e a obtenção das características químicas do material de estudo para um resultado mais fundamentado. Ainda pode ser feito uma análise com diferentes tipos de cimentos portland para avaliação da utilização do resíduo cerâmico moído em substituição ao cimento na produção do concreto.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

Concreto produzido com resíduo cerâmico

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações**. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - “**Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**”, p. 43, 44, 2017. disponível em: <https://bit.ly/34aDH0a>

ANGULO, Sérgio C.; FIGUEIREDO, AD de. Concreto com agregados reciclados. **ISAIA, GC Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Arte Interativa, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/347V0Pf>

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/31PD8r3>. Acesso em 22 de abril de 2019.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. Tese de Doutorado (Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/341R9TY>. Acesso em 19 abril 2019.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra et al. Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. **Cerâmica**. Vol. 55, n. 336, out./dez. 2009, p. 448-460, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/24635>. Acesso em 30 Abril de 2019.

CARVALHO, Eduardo Viviani de et al. **Utilização do resíduo da retífica de cerâmica de revestimento na produção de concreto para pavimento intertravado**. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e inovação) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/267749>. Acesso em 24 Abril 2019.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307**, de 5 de julho de 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em: 21 Abril 2019.

CORDEIRO, Guilherme Chagas; TOLEDO FILHO, Romildo Dias; FAIRBAIRN, Eduardo de Moraes Rego. Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. **Ambiente construído**, v. 9, n. 4, p. 99-107, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2MUBAYI>. Acesso em 22 abril 2019

COSTA, Armin Gino Boero et al. **Utilização de resíduos cerâmicos da cidade de Porto Velho na produção de concretos**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Amazonas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2PsBHvY>. Acesso e 19 Abril 2019

FERNANDES, Antônio Vitor Barbosa; AMORIM, José Ricardo Ribeiro. Concreto sustentável aplicado na construção civil. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT**, Aracaju, v. 2, n. 1, p. 79-104, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/36mXrj4>. Acesso em 19 abril 2019.

GASPARETO, Milena Gomes Talavera; TEIXEIRA, Silvio Rainho. Utilização de resíduo de construção civil e demolição (RCD) como material não plástico para a produção de tijolos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 22, n. 2, p. 40-46, 2017.

GONÇALVES, J. P. **Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental contendo argila calcinada e areia artificial**. 2005. Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

GONÇALVES, Jardel Pereira. Use of ceramic industry residuals in concrete. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 4, p. 639-644, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/2op7ov3>. Acesso em 25 Abril 2019.

HELENE, PRL; MEDEIROS, MHF. Estudo da Influência do metacaulim HP como adição de alta eficiência em concretos de cimento Portland. **São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo**, 2004.

HELENE, Paulo; TUTIKIAN, Bernardo. Dosagem dos concretos de cimento Portland. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON**, v. 2, p. 439-471, 2005. Disponível em: <https://bit.ly/2Pts406>. Acesso em 22 Abril 2019

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON**, v. 2, p. 905-944, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/31TpS4v>. Acesso em 19 abril 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados Agregados, **Censo 2008**, disponível em: <https://bit.ly/2otNcbA>. Acesso em 19 abril 2019.

JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de resíduos da construção. **Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos**, São Paulo, 2000. Disponível em: <https://bit.ly/36fFoek>. Acesso em 19 abril 2019

LEITE, Januaria Cecilia Pereira Simões; NETO, Mario Teixeira Reis. Meio ambiente e os embates da construção civil. **CONSTRUINDO**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, jul/dez. 2014. Disponível em: <https://bit.ly/2NlxeZf>. Acesso em 19 abril 2019.

Concreto produzido com resíduo cerâmico

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://bit.ly/347c5Ja>. Acesso em 24 Abril 2019.

LEITE, Mônica Batista; MOLIN, Denise Dal. Avaliação da atividade pozolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo de C&D. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 26, p. 111-130, jan/jul. 2002. Disponível em: <https://bit.ly/2Nik3bO>. Acesso em: 12 abril 2019.

MEDEIROS, Henrique et al. Resíduo de cerâmica vermelha e fíler calcário em compósito de cimento Portland: efeito no ataque por sulfatos e na reação álcali-sílica. **Revista Matéria**, v. 21, n. 2, p. 282-300, 2016.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. 2. Ed. Bookman Editora, 2013.

PINTO, Rodrigo Barcelos et al. Resíduos da Construção Civil: matéria prima verde a ser investigada/Civil Construction Waste: green raw material to be investigated. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 2, p. 1339-1351, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/31YKAQN>. Acesso em: 15 abril 2019

SALES, Angela Teresa Costa ; ALFERES FILHO, Ricardo dos Santos. Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 113-125, jan./mar. 2014. Disponível em: <https://bit.ly/2BPfnVx>. Acesso em: 11 abril 2019.

VIEIRA , Andressa de Araújo Porto. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Programa de pós-graduação, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005. Disponível em: <https://bit.ly/2WIBRqi>. Acesso em: 12 abril 2019.

ZAMPIERI, Valdir Aparecido. **Mineralogia e mecanismos de ativação e reação das pozolanas de argilas calcinadas**. 1989. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. Disponível em: <https://bit.ly/2pZpvYW>. Acesso em 20 abril .