

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

**DIEGO HENRIQUE DE ALMEIDA**

**ADIÇÃO DE RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA COMO AGREGADO  
EM DIFERENTES FORMULAÇÕES DE CONCRETO**

Poços de Caldas/MG  
2017

**DIEGO HENRIQUE DE ALMEIDA**

**ADIÇÃO DE RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA COMO AGREGADO  
EM DIFERENTES FORMULAÇÕES DE CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Alfenas *campus* Poços de Caldas – MG como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais. Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais.  
Orientadora: Profa. Dra. Carolina Del Roveri  
Co-orientadora: Profa. Dra. Sylma Carvalho Maestrelli

Poços de Caldas/MG  
2017

A447a Almeida, Diego Henrique de.

Adição de resíduo de louça sanitária como agregado em diferentes formulações de concreto / Diego Henrique de Almeida. – Poços de Caldas, 2017.

62 f. –

Orientadora: Carolina Del Roveri.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2017.

Bibliografia.

1. Concreto. 2. Resíduos sólidos. 3. Agregados (Materiais de construção). I. Del Roveri, Carolina. II. Título.

CDD: 620.136

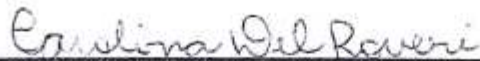
**DIEGO HENRIQUE DE ALMEIDA**

**ADIÇÃO DE RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA COMO AGREGADO  
EM DIFERENTES FORMULAÇÕES DE CONCRETO**

A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Alfenas.

Área de Concentração:  
Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais.

Aprovada em: 02 de outubro de 2017.



\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Carolina Del Roveri (Orientador)  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Gabriel Maluf Soler  
Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC-MG



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Fábio Ferrazo  
Instituição: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL-MG

*Dedico esta dissertação ao meu pai  
Salomão, à minha mãe Terezinha, ao meu  
irmão Tiago e à minha irmã Ingrid.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS que me proporciona muitas oportunidades e me ampara em todos os momentos.

Aos meus pais, Salomão de Almeida e Terezinha do Carmo Ferreira de Almeida e aos meus irmãos Tiago e Ingrid.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carolina Del Roveri, pela orientação deste trabalho, pelos valiosos ensinamentos transmitidos e pela amizade.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Sylma Carvalho Maestrelli, pela co-orientação e ajuda no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Prof. Msc. Rodolfo Henrique Freitas Grillo, pela ajuda na realização dos experimentos no Instituto Federal do Sul de Minas, *Campus* Pouso Alegre (MG).

Aos alunos de iniciação científica que ajudaram na realização dos corpos de prova de concreto: Rubia, Jeremias, Camilla e Luis Gustavo (Instituto Federal do Sul Minas, *Campus* Pouso Alegre-MG); Ana Claudia (Faculdade Pitágoras, *Campus* Poços de Caldas (MG)).

Ao técnico Guilherme, do laboratório das Engenharias da UNIFAL *Campus* Poços de Caldas (MG), pela ajuda no desenvolvimento dos experimentos.

À Caroline Moreira da Cruz e à empresa TOGNI Materiais Refratários S/A pela doação do resíduo de louça sanitária e ensaio de fluorescência de Raios-X.

Aos professores Dr. Fábio Ferraço, Dr. Matheus Fernando Ancelmi e Dr. Fabiano Cabañas Navarro pelas sugestões para melhoria do trabalho no exame de qualificação.

Ao laboratório de Cristalografia da UNIFAL (MG), *Campus* Alfenas, pela realização da difração de Raios-X.

Aos corpo docente e funcionários do PPG-CEM.

Às amigas conquistadas durante o período de disciplinas: Luan, Virgílio, Sr. Nelson, Isadora e Ana Storion.

Aos grandes amigos de Poços de Caldas: Gustavo, Luciene, Ananda, Geovana, Brito, Marília e Lincon.

Aos amigos de república: Felipe, Matheus, Caio, Mateus, Hugo e Einstein.

Aos colegas e funcionários da Faculdade Pitágoras, *Campus* Poços de Caldas (MG), onde eu lecionei e coordenei cursos de graduação e tive experiências profissionais fantásticas.

A todos que de uma maneira ou de outra me ajudaram a vencer mais esta importante etapa da minha vida!

## RESUMO

Dentre os insumos utilizados na construção civil, o concreto é um dos mais empregados. O concreto pode ser confeccionado para fins estruturais (pontes, edifícios e demais estruturas de concreto armado ou pré-moldado) ou para fins não estruturais (calçadas, pavimentos, postes, dormentes, blocos para calçamentos, entre outros). Na confecção de concretos são utilizados o cimento (o Cimento *Portland* é o mais empregado), a água e os agregados, estes últimos divididos em gráudo e miúdo. Com a utilização de diversas matérias-primas a geração de resíduos é inevitável, tanto na construção civil, quanto em outros setores, tais como, as indústrias produtoras de materiais cerâmicos. Dentre os tipos de resíduos provenientes de tais indústrias, têm aqueles provenientes da produção de louças sanitárias (denominado nesta pesquisa como *scrap* cerâmico). De acordo com o exposto, o objetivo desta pesquisa foi estudar a adição de *scrap* cerâmico em substituição ao agregado gráudo em diferentes formulações de concreto. Para isso foi selecionado o resíduo de uma indústria instalada no sul do estado de Minas Gerais, e preparados concretos para determinação de propriedades físicas (*slump* teste, segregação e porosidade) e mecânica (resistência à compressão). Foram fabricadas cinco formulações, uma de referência (CR) e quatro com *scrap* cerâmico em substituição ao agregado gráudo (brita 1) nas proporções de 25% (CSC-I), 50% (CSC-II), 75% (CSC-III) e 100% (CSC-IV). No estado fresco, duas formulações não apresentaram segregação (CSC-III e CSC-IV) e duas um pequeno escorrimento de água (CSC-I e CSC-II), porém, sem comprometer a trabalhabilidade do concreto, sendo classificado, de acordo com a consistência para utilização em elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras. Em relação à resistência à compressão, os valores médios apresentados foram muito bons, inclusive a formulação com 100% de *scrap* cerâmico ( $f_{cm} = 47,78$  MPa). As formulações de concreto com resíduos foram classificadas como C35 e C40, de acordo com os valores de  $f_{ck}$ , sendo possível serem utilizados em estruturas. Um aspecto importante observado nos modos de ruptura dos corpos de prova; foi a pequena aderência entre o *scrap* cerâmico e a argamassa, devido ao esmalte no contorno do resíduo. Quanto à porosidade dos concretos, aqueles com 25%, 75% e 100% de *scrap* cerâmico na sua composição, apresentaram valores médios inferiores ao concreto de referência.

Palavras-chave: Concreto. Resíduos. Louça Sanitária. Substituição.

## ABSTRACT

Among the inputs used in civil construction, concrete is one of the most used. Concrete can be made for structural purposes (bridges, buildings and other structures of reinforced or precast concrete) or for non-structural purposes (sidewalks, pavements, posts, dormant, blocks for shoes, among others). In concrete manufacture, cement (*Portland* cement is the most used), water and aggregates (classified into coarse and fine). With the use of several raw materials the generation of waste is inevitable, both in construction and in other sectors, such as the industries producing ceramic materials. Among the types of residues coming from such industries, there are those from the production of sanitary ware (called in this research as ceramic scrap). The aim of this research was to study the addition of ceramic scrap in substitution to the coarse aggregate in different concrete formulations. For this purpose, scrap ceramic was selected in an industrial plant in the southern state of Minas Gerais, and different mixes of concrete were prepared to determine physical properties (slump test, adhesiveness and porosity) and mechanical property (compressive strength). Five formulations, one reference (CR) and four with ceramic scrap were prepared in proportions of 25% (CSC-I), 50% (CSC-II), 75% (CSC-III) and 100% (CSC-IV) in substitution of the coarse aggregate. In the fresh state, two formulations did not show adhesiveness (CSC-III and CSC-IV) and two a small water runoff (CSC-I and CSC-II), However, without compromising the workability of the concrete, being classified, according to the consistency class for use in slender structural elements or with high density of reinforcements. Regarding the compressive strength, the average values presented for all formulations were very good, including the formulation with 100% of ceramic scrap ( $f_{cm} = 47.78$  MPa). Concrete formulations with scrap ceramic are classified as C35 and C40, according to the values of  $f_{ck}$ , being possible to be used in structures. An important aspect observed in the rupture modes of the specimens was the small adhesion between the ceramic scrap and the mortar due to the enamel in the contour of the residue. As for the porosity of the concretes, those with 25%, 75% and 100% of ceramic scrap in their composition presented lower values than the reference concrete.

Keywords: Concrete. Wastes. Sanitary ware. Substitution.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	<i>Scrap</i> cerâmico bruto disponibilizado pela empresa.....	32
Figura 2 -	Cominuição do resíduo: (a) Britador de mandíbula; (b) <i>Scrap</i> cerâmico britado.....	32
Figura 3 -	Amostragem do resíduo: (a) Separador de amostras; (b) Amostra para análise granulométrica.....	33
Figura 4 -	Aparato para determinação da massa da amostra submersa em água.....	34
Figura 5 -	Preparação do concreto: (a) Matérias-primas utilizadas na fabricação do concreto; (b) Detalhe do <i>scrap</i> cerâmico; (c) Betoneira; (d) Detalhe da massa de concreto .....	35
Figura 6 -	Sequência do <i>slump</i> teste: (a) colocação do concreto no tronco de cone; (b) retirada do tronco de cone; (c) espalhamento do concreto sobre a placa metálica da base; (d) medida do abatimento. ....	36
Figura 7 -	Fabricação dos corpos de prova: (a) Moldes utilizados para fabricação dos corpos de prova de compressão; (b) Corpos de prova moldados...	37
Figura 8 -	Fabricação dos corpos de prova: (a) corpos de prova de concreto CR moldados; (b) Corpos de prova de concreto CSC-I moldados .....	38
Figura 9 -	Corpos de prova de concreto submersos em água para cura.....	38
Figura 10 -	Ensaio de compressão: (a) Prensa Solotest com capacidade de 500 kN; (b) corpo de prova de concreto instrumentado para realização de ensaio de compressão.....	39
Figura 11 -	Porosidade do concreto: (a) Corpos de prova na estufa; (b) Determinação da massa imersa do corpo de prova.....	40
Figura 12 -	Difratograma da amostra de <i>scrap</i> cerâmico. ....	41
Figura 13 -	Distribuição granulométrica média do <i>scrap</i> cerâmico. ....	42
Figura 14 -	Aspectos das massas dos concretos: (a) CR, (b) CSC-I, (c) CSC-II, (d) CSC-III e (e) CSC-IV.....	45
Figura 15 -	Massas dos concretos: (a) CR, (b) CSC-III e (c) CSC-IV sem segregação e escorrimento de água.....	46
Figura 16 -	Massas dos concretos: (a) CSC-I e (b) CSC-II que apresentaram pequeno escorrimento de água.....	47

Figura 17 -	Corpos de prova: (a) Ruptura do corpo de prova de concreto CSC-III na interface <i>scrap</i> cerâmico/ argamassa; (b) Detalhe do adensamento da argamassa na interface com o <i>scrap</i> cerâmico no corpo de prova de concreto CSC-II.....	49
Figura 18 -	Corpos de prova: (a) Detalhe da ruptura do <i>scrap</i> cerâmico no corpo de prova de concreto CSC-II; (b) Fragmento de <i>scrap</i> cerâmico no corpo de prova de concreto CSC-I com 14 dias de cura.....	50
Figura 19 -	Comparação entre valores médios de resistência à compressão entre diferentes formulações e dias de cura.....	51
Figura 20 -	Comparação entre valores médios e característicos dos concretos com 28 dias de cura.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais compostos químicos do cimento <i>Portland</i> . .....	18
Tabela 2- Classificação dos agregados. ....	20
Tabela 3- Nomenclatura adotada para as formulações dos concretos. ....	34
Tabela 4- Composição das formulações dos concretos. ....	35
Tabela 5- Análise química por fluorescência de raios-X do scrap cerâmico. ....	42
Tabela 6- Caracterização granulométrica da Amostra 1 (massa = 1365,40 g). ....	43
Tabela 7- Caracterização granulométrica da Amostra 2 (massa = 1009,80 g). ....	43
Tabela 8- Caracterização granulométrica da Amostra 3 (massa = 920,50 g). ....	44
Tabela 9- <i>Slump</i> teste das formulações de concreto. ....	47
Tabela 10- Resistência à compressão ( $f_c$ ) dos concretos com 7 dias de cura. ....	48
Tabela 11- Resistência à compressão ( $f_c$ ) dos concretos com 14 dias de cura. ....	48
Tabela 12- Resistência à compressão ( $f_c$ ) dos concretos com 28 dias de cura. ....	48
Tabela 13- Valores médios ( $f_{cm}$ ) e característicos ( $f_{ck}$ ) de resistência à compressão para concretos com 28 dias de cura. ....	52
Tabela 14- Porosidade média dos concretos (Dados em %). ....	53

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a	Água
Å	Angstrom
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
c	Cimento
cm	Centímetro
cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
cp	Corpo de prova
CP	Cimento <i>Portland</i>
CP I	Cimento <i>Portland</i> Comum
CP II	Cimento <i>Portland</i> Composto
CP II E	Cimento <i>Portland</i> Composto de Alto-Forno (6% a 34% de Escória)
CP II Z	Cimento <i>Portland</i> Composto com Pozolana (6% a 14% de Argila)
CP II F	Cimento <i>Portland</i> Composto com Filer
CP III	Cimento <i>Portland</i> de Alto-Forno (35% a 70% de Escória)
CP IV	Cimento <i>Portland</i> com Pozolânico (15% a 50% de Argila)
CP V	Cimento <i>Portland</i> com Alta Resistência Inicial
CR	Concreto de Referência (0% de <i>scrap</i> cerâmico)
CSC I	Concreto com 25% de <i>scrap</i> cerâmico em substituição à brita 1
CSC II	Concreto com 50% de <i>scrap</i> cerâmico em substituição à brita 1
CSC III	Concreto com 75% de <i>scrap</i> cerâmico em substituição à brita 1
CSC IV	Concreto com 100% de <i>scrap</i> cerâmico em substituição à brita 1
CV	Coefficiente de Variação
C35	Classe de resistência do concreto com $f_{ck}$ entre 35 MPa e 40 MPa
C40	Classe de resistência do concreto com $f_{ck}$ entre 40 MPa e 45 MPa
°C	Graus Celsius
DRX	Difração de Raios-X

DP	Desvio Padrão
FRX	Fluorescência de Raios-X
g	Gramas
kg	Quilograma
ICDD	<i>International Centre of Diffraction Data</i>
JCPDS	<i>Joint Committee on Powder Diffraction Standards</i>
LTDA	Limitada
MCMV	Minha Casa Minha Vida
mm	Milímetros
MG	Minas Gerais
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Norma Mercosul
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPG-CEM	Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais
RSCD	Resíduos Sólidos de Construção e Demolição
u.a.	Unidade Arbitrária
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas
SA	Sociedade Anônima
S10	Classe de consistência do concreto com abatimento entre 10 mm e 50 mm
S220	Classe de consistência do concreto com abatimento superior a 220 mm
TOGNI	Togni S/A Materiais Refratários
$x_m$	Valor médio

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A$	Área da seção transversal do corpo de prova de compressão
$f_i$	Resistência à compressão de um corpo de prova $i$
$f_c$	Resistência à compressão
$f_{ck}$	Resistência característica à compressão do concreto
$f_{cm}$	Resistência média à compressão do concreto
$F_c$	Força de compressão máxima resistida pelo corpo de prova
$m_a$	Massa da amostra submersa em água
$m_s$	Massa da amostra seca
$m_u$	Massa da amostra saturada
$n$	Número de corpos de prova
$P$	Porosidade
$P_m$	Porosidade média
$\rho$	Densidade
$\rho_{ap}$	Densidade aparente
$p_a$	Massa do corpo de prova de concreto submerso em água
$p_s$	Massa do corpo de prova de concreto seco
$p_u$	Massa do corpo de prova de concreto saturado

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.2	JUSTIFICATIVAS .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	17
2.1	CONCRETO .....	17
2.1.1	Cimento .....	17
2.1.2	Água .....	18
2.1.3	Agregados .....	19
2.2	RESÍDUOS SÓLIDOS .....	20
2.3	UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM CONCRETOS E ARGAMASSAS.....	21
2.4	RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA E SUA UTILIZAÇÃO EM CONCRETOS E ARGAMASSAS.....	26
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	30
3.1	MATERIAIS .....	30
3.2	MÉTODOS .....	31
3.2.1	Caracterização do <i>scrap</i> cerâmico .....	31
3.2.2	Formulações do concreto de referência e com <i>scrap</i> cerâmico .....	34
3.2.3	Fabricação do concreto em laboratório .....	35
3.2.4	Determinação do abatimento do concreto .....	36
3.2.5	Fabricação dos corpos de prova para ensaio de compressão .....	37
3.2.6	Determinação da resistência à compressão.....	38
3.2.7	Determinação resistência característica e classe de consistência.....	39
3.2.8	Determinação da porosidade do concreto .....	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO <i>SCRAP</i> CERÂMICO.....	41
4.2	CONCRETO NO ESTADO FRESCO .....	44
4.3	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO .....	47
4.4	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA E CLASSES DE CONSISTÊNCIA.....	51
4.5	POROSIDADE DO CONCRETO .....	53
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	54
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</b> .....	55
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil utiliza diversos tipos de materiais para realização das obras, entre eles: madeira, aço, cimento, água, areia e brita. Para o acabamento da construção e projetos elétricos e hidráulicos, outros materiais como vidros, plásticos, materiais cerâmicos cristalinos e tintas também são empregados (CALIL JUNIOR et al., 2003; CARVALHO JUNIOR, 2017; PRAVIA et al., 2013; VASCONCELOS, 2002).

O concreto é uma das principais matérias-primas utilizadas na construção civil. Dentre os constituintes da sua formulação, são utilizados o cimento *Portland* (que é dividido em cinco classes: comum, composto, alto forno, pozolânico e alta resistência inicial); a água é utilizada na mistura para desenvolver as propriedades do concreto e; os agregados, que podem ser divididos em duas categorias: graúdo (brita) e miúdo (areia) (GRILLO, 2014; METHA; MONTEIRO, 2008).

É importante que haja atividades adequadas que racionalizem a utilização de matérias-primas para minimizar a geração de resíduos, quer seja na construção civil e/ou nos demais setores da economia. Por esta razão, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) tem por objetivos a prevenção e redução na geração de resíduos sólidos, reciclagem e reutilização dos resíduos com valor econômico e destinação ambientalmente adequada (BRASIL, 2017).

Uma possibilidade da reciclagem ou da reutilização dos resíduos sólidos provenientes da construção civil e indústrias é sua utilização como constituinte na formulação de concretos, na substituição parcial ou integral de outra matéria-prima (FROTTÉ et al., 2017; GOMES et al., 2015; GONÇALVES et al., 2002; KANNAN et al., 2017; REZENDE et al., 2017).

Dentre os resíduos utilizados na formulação de concretos, existem os provenientes de indústrias que fabricam materiais cerâmicos (pisos, revestimentos, porcelanatos, louças sanitárias). Pesquisas com este tipo de resíduos são importantes, pois, além da reciclagem do resíduo, sua utilização no concreto pode permitir economia de outras matérias-primas utilizadas na formulação do concreto (BARTOSZ et al., 2016; GONÇALVES, 2007; GUERRA et al., 2009; HALICKA, et al., 2013; MEDINA et al., 2012a;).



## 1.1 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo determinar a influência da utilização de resíduos cerâmicos de louça sanitária em diferentes formulações de concreto. Os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) Realização de revisão bibliográfica a respeito da utilização de resíduos sólidos na formulação de concretos;
- b) Caracterização do resíduo cerâmico de louça sanitária por meio de curvas de distribuição granulométricas, análise química, análise de difração de raios-X, massa específica e massa específica aparente;
- c) Realização da formulação de referência do concreto e as demais formulações adicionando o resíduo;
- d) Realização de ensaios com o concreto fresco para determinação do abatimento (*slump* teste);
- e) Realização de corpos de prova de compressão para todas as formulações do concreto;
- f) Realização de ensaios de compressão dos corpos de prova após 7, 14 e 28 dias para determinação da resistência à compressão;
- g) Determinação da porosidade dos concretos com 28 dias de cura;
- h) Avaliação e comparação dos resultados utilizando análise estatística.

## 1.2 JUSTIFICATIVAS

Os resíduos sólidos gerados durante o processo produtivo de indústrias cerâmicas podem dificultar o desenvolvimento sustentável do setor, sendo necessária sua adequada destinação ou seu reaproveitamento nos processos produtivos da própria empresa que os gerou ou reaproveitando em outros seguimentos da economia.

A construção civil é um dos setores brasileiros com grande utilização dos recursos naturais e, por isso, pesquisas que apresentem possibilidades da utilização de resíduos de outras indústrias, por exemplo, incorporadas em formulações de concreto, sem diminuição dos critérios de segurança das mesmas, são de grande importância.

A reciclagem dos resíduos também é importante para atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos, pois incentiva o avanço tecnológico e ambiental, destinando os resíduos, antes descartados de maneira indiscriminada, para utilizações como parte integrante de outros produtos fabricados.

Espera-se com esse trabalho, contribuir com as pesquisas relacionadas com o reaproveitamento de resíduos na construção civil, apresentando os resultados da adição de resíduo cerâmico proveniente da indústria produtora de louças sanitárias como parte integrante em formulações de concretos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCRETO

O concreto é um dos principais materiais utilizados pelo homem, sendo seu emprego mais notável na construção civil (VASCONCELOS, 2002). O concreto pode ser classificado como um material compósito proveniente da junção de cimento, água, agregados (miúdo e graúdo) e aditivos (VAN VLACK, 1984).

De acordo com a finalidade de utilização do concreto, a dosagem (quantificação isolada dos materiais que o constituirão) pode ser alterada para obter-se o produto final com as propriedades requeridas (ASSUNÇÃO, 2002; NEVILLE, 1997).

A dosagem (ou formulação) do concreto, também conhecida como traço pelos engenheiros civis, deve ser considerada no desenvolvimento da tecnologia do mesmo, pois, a partir dela, pode-se conseguir as propriedades requeridas ao concreto (BOGGIO, 2000).

#### 2.1.1 Cimento

Alguns materiais cerâmicos familiares são classificados como cimento; entre eles, o próprio cimento, gesso de paris e cal. A característica especial desses materiais é que, quando misturados com água, formam uma pasta que, subsequentemente, reage e endurece (CALLISTER JUNIOR, 2011).

A resistência da pasta de cimento e água, já endurecida, estabelece a característica do concreto, porém, utilizam-se agregados, por exemplo, a areia, para tornar a produção mais barata e também para melhorar a resistência do concreto (VAN VLACK, 1984).

Dos tipos de cimentos mais utilizados pode-se destacar o Cimento *Portland* (CP). De acordo com Galvão (2003), os tipos de cimentos *Portland* podem ser classificados da seguinte maneira: CP I – comum; CP II – composto; CP III – Alto-Forno; CP IV – pozolânico; CP V – alta resistência inicial.

De acordo com Galvão (2003), o cimento *Portland* Comum é utilizado em serviços gerais, quando não são exigidas propriedades especiais do cimento.

Os cimentos *Portland* Compostos podem ser produzidos com Escória de Alto-Forno (CP II – E; com 6% a 34% de escória), com Pozolana (CP II – Z; com 6% a 14%

de argila) e com Fíler (CP II – F; com 6% a 10% de calcário) (PORTAL DO CONCRETO, 2017).

O cimento *Portland* III é uma mistura de cimento com Escória de Alto-Forno, (entre 35% e 70% de escória). A diferença entre o CP II – E e o CP – III reside na quantidade de escória adicionada ao cimento.

Segundo Galvão (2003), o Cimento *Portland* IV apresenta pozolanas em sua composição. As pozolanas podem ser artificiais (por exemplo a cinza volante pulverizada) ou naturais (por exemplo a palha de arroz) que contem sílica ativa. Geralmente é empregado entre 15% e 50% de argila ao cimento (PORTAL DO CONCRETO, 2017).

O cimento *Portland* de Alta Resistência Inicial (CP V), que apresenta a adição de até 5% de fíler calcário, é indicado quando se faz a retirada em menos tempo das formas do concreto para a sua reutilização ou quando é necessária certa resistência para o prosseguimento da construção (GALVÃO, 2003).

No caso do concreto, os agregados e o cimento fornecerão as propriedades e características de aplicação do produto final. Como cada tipo de cimento *Portland* possui propriedades físicas e químicas específicas, sendo importante conhecer o cimento que será utilizado na formulação. A Tabela 1 apresenta os principais compostos químicos, dos cimentos *Portland*.

Tabela 1- Principais compostos químicos do cimento *Portland*.

<b>Nome do composto</b>	<b>Composição em Óxidos</b>	<b>Abreviação</b>
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$
Sulfato de cálcio hidratado	$\text{CaSO}_4.2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CSH}_2$

Fonte: FUSCO (2008).

### 2.1.2 Água

A quantidade de água utilizada em concretos é definida a partir de uma relação em massa entre água (a) e cimento (c), conhecido como fator a/c. Este fator é responsável por grande parte das propriedades obtidas por um concreto, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (CAVALCANTI, 2006; GALVÃO, 2003;).

Quanto maior a quantidade de água no concreto, menor é a tensão limite de escoamento, aumentando a sua deformabilidade e diminuindo a viscosidade da mistura (CAVALCANTI, 2006).

O cimento *Portland* é conhecido como cimento hidráulico, pois suas propriedades mecânicas se desenvolvem por meio de reações químicas com a água. Neste sentido é fundamental o conhecimento do fator a/c empregado na preparação do concreto (CALLISTER JUNIOR, 2011; VAN VLACK, 1984).

Desde que não entrem quantidades excessivas de água na reação de hidratação, ela ocupará espaços e evitará ligação entre sólidos. O excesso de água eventualmente evapora proporcionando a ocorrência de fissuras capilares. Neste sentido, a formulação é elaborada com o fator a/c mais baixo possível (VAN VLACK, 1984).

### **2.1.3 Agregados**

Os agregados podem ser classificados em duas categorias: miúdo e graúdo. Essa classificação é possível a partir de análise granulométrica (VAN VLACK, 1984).

Os materiais agregados classificados como miúdos são aqueles que possuem granulometria inferior a 4,75 mm. Os agregados graúdos possuem granulometria superior a 4,75 mm (FUSCO, 2008). A matriz do concreto é formada pela pasta cimento/água e agregado miúdo e o reforço é constituído pelo agregado graúdo. Estes agregados devem apresentar resistência maior que aquela esperada pelo concreto final (FUSCO, 2008; VAN VLACK, 1984;).

A seleção do agregado é importante, visto que ele terá impacto no custo e trabalhabilidade do concreto fresco e poderá influenciar a resistência mecânica, estabilidade dimensional e durabilidade do concreto endurecido. A Tabela 2 apresenta a classificação das britas de acordo com a análise granulométrica; para a fabricação de concretos, normalmente são utilizadas as britas 0, 1 e 2 (FUSCO, 2008).

Tabela 2- Classificação dos agregados.

<b>Categoria</b>	<b>Dimensões (mm)</b>	<b>Máximo Diâmetro Característico (mm)</b>
Brita 0	4,8 – 9,5	9,5
Brita 1	9,5 – 19,0	19
Brita 2	19,0 – 25,0	25
Brita 3	25,0 – 50,0	50
Brita 4	50,0 – 76,0	76
Brita 5	76,0 – 100	100

Fonte: FUSCO (2008).

## 2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) entrou em vigor no Brasil em 2010, de acordo com a Lei nº 12305 (BRASIL:2017) para estabelecer princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações a serem adotadas no país, visando a gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

De acordo com a norma da ABNT NBR 10004:2004 “Resíduos sólidos: classificação”, resíduos sólidos resultam de atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição.

Estes resíduos podem ser classificados como Resíduo Classe I (Perigosos), Resíduos Classe II (Não Perigosos), Resíduos Classe IIA (Não Inertes) e Resíduos Classe IIB (Inertes) (ABNT NBR 10004:2004).

No ano de 2015, 79,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos foram produzidos no Brasil (resíduos domésticos, comerciais e de serviços de varrição). O montante coletado no mesmo período foi de 72,5 milhões de toneladas, cobertura de coleta de 90,8%, sendo o restante, com destino impróprio. Quanto à disposição final dos resíduos sólidos urbanos em 2015, 58,7% seguiram para aterros sanitários (ABRELPE, 2017).

Os resíduos industriais são dos mais variados tipos, pois, são provenientes de vários tipos de processamentos de matéria-prima, tais como, metalúrgicos, plásticos, madeireiros, cerâmicos e alimentícios. A utilização destes resíduos é uma alternativa interessante para agregar valor e diminuir os desperdícios e minimizar os impactos ambientais, fornecendo destinação favorável aos resíduos (GONÇALVES, 2011;

LEITE, 2001; LUCAS; BENATTI, 2008; SILVA, 2014; SILVA, 2012; SOUZA et al., 2014; ZORDAN, 1997).

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) classifica os resíduos sólidos da construção civil (Resíduos Sólidos de Construção e Demolição (RSCD)), da seguinte maneira: Classe A (resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados); Classe B (resíduos recicláveis para outras destinações, tais como, madeiras, vidros e metais); Classe C (resíduos que não apresentam tecnologias ou aplicações economicamente viáveis); Classe D (resíduos perigosos que resultam do processo de construção, entre eles tintas e óleos) (CONAMA, 2017).

Segundo Caetano et al. (2016) 92% dos resíduos gerados na etapa de acabamento em obras horizontais do padrão Minha Casa Minha Vida (MCMV) são passíveis de reciclagem. Segundo a análise qualitativa 16,09% estão relacionados com resíduos de concreto, argamassa e cerâmica (telhas, louças sanitárias, azulejos e outros). De acordo com os mesmos autores, os resíduos de construção civil da classe A eram provenientes de reparos em alvenarias e lajes; os de classe D eram produzidos nas etapas de pintura, hidráulica e instalação de esquadrias (tintas, colas, espumas, poliuretano); os resíduos de classe B estavam relacionados ao descarte das embalagens dos insumos, como por exemplos, os revestimentos.

O CONAMA (2002) define os termos reutilização e reciclagem de resíduos sólidos. A reutilização está relacionada com a reaplicação do resíduo sem transformação do mesmo; reciclagem é o reaproveitamento após a submissão do resíduo à transformação.

### 2.3 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM CONCRETOS E ARGAMASSAS

Zordan (1997) fabricou concreto com agregados graúdos e miúdos utilizando entulho da construção civil. O resíduo utilizado como agregado apresentou absorção de água superior ao agregado tradicional. Além disso, para um mesmo fator a/c, o resíduo reciclado possibilitou trabalhabilidade superior à oferecida pelos agregados tradicionais (areia e brita).

Leite (2001) estudou a avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Segundo a autora os resíduos utilizados na pesquisa tinham em sua composição rocha natural, argamassa e material cerâmico. Os resultados obtidos mostraram a

viabilidade na utilização do agregado miúdo e graúdo reciclado para produção de concreto.

Gonçalves et al. (2002) utilizaram resíduo de corte de granito como substituinte em 10% e 20% em relação à massa de cimento utilizada na formulação de concretos. Segundo os autores, a utilização deste tipo de resíduo é viável tecnicamente, e que 10% de adição é o teor que apresenta o melhor desempenho.

Vieira; Dal Molin (2004) realizaram pesquisa com o intuito de apresentar a viabilidade técnica e econômica da utilização de resíduos reciclados da construção civil em concreto. Os resultados alcançados pelas autoras indicaram que algumas propriedades dos concretos podem ser melhoradas, tais como, resistência à compressão e durabilidade. Além disso, de acordo com o preço dos resíduos reciclados e dos agregados convencionais, a viabilidade econômica também foi alcançada.

Evangelista et al. (2004) aplicaram resíduo da indústria cerâmica proveniente do tratamento de efluentes como adição mineral na produção de argamassas substituindo o cimento *Portland* em diferentes porcentagens. De acordo com os autores, houve uma diminuição de 15% na resistência à compressão da argamassa; porém, não inviabiliza sua utilização na construção civil, pois o resíduo apresenta teor de sílica que pode influenciar positivamente a atividade pozolânica, característica importante quando se trata da durabilidade de concreto e argamassas.

Vieira (2005) estudou a substituição do cimento por resíduos pulverulentos da indústria de cerâmica vermelha, na fabricação de concretos, nas proporções de 20% e 40% em massa. Segundo a autora, a resistência à compressão diminuiu em relação ao concreto de referência, porém, mesmo com a formulação com 40% de resíduo cerâmico, ainda a retiveram 89% da resistência à compressão.

Costa et al. (2005) pesquisaram a utilização de rejeitos da indústria de revestimentos cerâmicos planos (pisos cerâmicos esmaltados de corpo vermelho), como agregado reciclado em argamassas. Os agregados foram preparados por britagem e separação em granulometria similar à areia de rio utilizada em argamassas convencionais. De acordo com os autores, é viável a utilização deste tipo de resíduo como agregado em substituição ao agregado miúdo natural, de acordo com as propriedades compatíveis para as aplicações normais das argamassas.

Carrijo (2005) estudou a utilização de resíduos de construção e demolição divididos em diferentes grupos de acordo com a massa específica ( $\rho$ ) ( $\rho < 1,9 \text{ g/cm}^3$ ;



1,9 g/cm<sup>3</sup> <  $\rho$  < 2,2 g/cm<sup>3</sup>; 2,2 g/cm<sup>3</sup> <  $\rho$  < 2,5 g/cm<sup>3</sup>;  $\rho$  > 2,5 g/cm<sup>3</sup>) com o objetivo de determinar a influência da massa específica dos agregados graúdos no desempenho mecânico de concretos. Segundo a autora, a separação dos agregados em faixas de densidade garantiu um comportamento bastante homogêneo dos concretos, quando se utilizou agregados da mesma faixa.

Hood (2006) estudou a viabilidade técnica de utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. O autor utilizou o intervalo de teores entre 0% e 100% com o objetivo de entender o comportamento dos blocos produzidos perante as substituições. O teor de substituição que apresentou os melhores resultados (em relação à resistência à compressão, resistência à abrasão e absorção de água), foi com 25% de substituição pelo material reciclável.

Tenório (2007) estudou a utilização de resíduos da construção e demolição e resíduos de corpos de prova de concreto na fabricação de novos concretos, como agregados graúdos e agregados miúdos, misturando os dois tipos de resíduos. Segundo o autor, a utilização dos agregados graúdos e miúdos reciclados não foi vantajoso, mas as propriedades dos concretos foram tanto melhores quanto menor foi a porosidade dos agregados graúdos reciclados. O autor destaca que é importante restrições na utilização de concretos reciclados.

Gonçalves (2007) pesquisou as propriedades de concretos produzidos com resíduos da indústria cerâmica (produtora de tijolos de argila calcinada). Os resíduos utilizados atendiam as propriedades para sua utilização como material pozolânico e foram utilizados na fração de 20% em substituição ao cimento. Segundo os autores, a presença do resíduo cerâmico não influenciou significativamente na resistência à compressão, na resistência à tração por compressão diametral e na resistência à tração na flexão dos concretos aos 28 dias, independentemente da relação a/c.

Coliante et al. (2011) utilizaram resíduo de piso cerâmico esmaltado para substituir em 100% a areia na produção de argamassas. Segundo os autores, os corpos de prova fabricados com o resíduo apresentaram resistência à compressão e à flexão igual ou superior àqueles fabricados com areia de rio, sugerindo a viabilidade da utilização do resíduo.

Costa et al. (2011) desenvolveram argamassas com cimento *Portland*, cal hidratada e dois tipos de agregados: reciclado (resíduo de cerâmica vermelha – tijolos e telhas) e areia natural. Segundo os autores, a utilização do agregado reciclado

resultou em melhores propriedades físicas e maiores níveis de resistência mecânica quando comparados a formulações similares produzidas com areia de rio.

Gonçalves (2011) analisou a viabilidade técnica de utilização de resíduos de concreto oriundos da pré-fabricação como agregado graúdo (com teor de 50% de substituição) para a produção de novos concretos. Segundo a autora, os concretos fabricados com resíduos da pré-fabricação de concretos apresentaram acréscimo nas propriedades de resistência à compressão e à tração.

Paixão (2013) estudou a substituição do agregado miúdo natural por agregado miúdo proveniente da reciclagem de resíduo de construção e demolição em cinco diferentes formulações para fabricação de argamassas. Foram determinados os teores de ar incorporado, a massa específica e a consistência da massa no estado fresco. Para o estado endurecido foi determinada a resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias, resistência à tração por compressão diametral aos 3, 7 e 28 dias e densidade da massa no estado seco aos 28 dias. De acordo com a autora, o uso dos agregados reciclados é viável para produção de argamassas de revestimento.

Mo et al. (2014) apresentaram revisão bibliográfica a respeito da utilização de resíduos provenientes da indústria agrícola como agregado leve (cascas de palmeiras e cascas de côco). Segundo os autores, em pesquisas realizadas com concreto armado utilizando estes resíduos, foi constatado menores fendas em ensaios de flexão estática, além disso, os elementos de concreto onde foram empregados tais resíduos apresentaram melhores valores médios de propriedades mecânicas em comparação ao concreto de referência.

Ribeiro (2014) estudou a utilização de resíduos de isoladores elétricos de porcelana como agregado graúdo na formulação de concreto permeável. Os resultados apresentados para as propriedades do concreto permeável fresco e seco demonstram que é possível utilizar resíduos de isoladores elétricos de porcelana em substituição a agregados graúdos de até 100% em concretos permeáveis.

Izquierdo (2015) estudou a incorporação de dois tipos de pós-residuais (provenientes de lixo orgânico e pó de pedra) substituindo o cimento e a areia no concreto para a fabricação de blocos e elementos de alvenaria estrutural. Os resultados mostraram que os pós residuais podem ser utilizados no concreto substituindo parte da matéria-prima, sem detrimento das propriedades mecânicas dos blocos de concreto e da argamassa.

Anderson et al. (2016) estudaram resíduos de revestimentos cerâmicos e resíduos cerâmicos obtidos de demolições em diferentes formulações de concreto (entre 20 e 100%) em substituição ao agregado graúdo natural. Segundo os autores, os resíduos utilizados nas formulações de concreto são uma boa alternativa, pois não alteraram significativamente os valores das propriedades de resistência em relação ao concreto de referência.

Awoyera et al. (2016a) estudaram as propriedades da fabricação de concreto com resíduos cerâmicos (azulejos) provenientes entulhos da construção civil e laterita (material cerâmico obtido na Nigéria). Segundo os autores, a formulação com 10% de laterita (em substituição ao agregado miúdo natural) e 75% de resíduos cerâmicos (em substituição ao como agregado graúdo natural) apresentaram maior resistência à compressão após 28 dias quando comparado ao concreto de referência.

Awoyera et al. (2016b) estudaram a utilização de resíduos cerâmicos obtidos de demolições na fabricação de concretos. Os resíduos cerâmicos foram divididos em finos (2,24 mm) e graúdos (6,88). Foram fabricados concretos de referência utilizando agregados naturais e em diferentes proporções de substituições pelos resíduos cerâmicos finos e graúdos. Com exceção da formulação com 100% de resíduo cerâmico graúdo, quando comparado ao concreto de referência, todas as outras formulações apresentaram resistências à compressão superiores.

Rezende et al. (2017) estudaram a substituição parcial do cimento Portland pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar em habitações de interesse social. Os resultados apresentados pelos autores mostram que a substituição pode gerar reduções de custos da obra e nas emissões de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono), o que é muito interessante do ponto de vista ambiental.

Mohammadhosseini et al. (2017) estudaram o efeito nas propriedades mecânicas (resistências à compressão, flexão e impacto) da adição de resíduos de fibras de polipropileno na formulação de concreto. Segundo os autores, a utilização deste tipo de resíduo em diferentes proporções (de 0 a 1,25%) diminui os valores de slump teste do concreto fresco, afetando sua trabalhabilidade. Além disso, a inclusão do resíduo de fibras de polipropileno não aumentou os valores de resistência à compressão, porém, melhorou a resistência ao impacto. Os autores recomendam este tipo de concreto para sua utilização em lajes e pavimentação de rodovias.

Kannan et al. (2017) utilizaram pó obtido do polimento de azulejo como substituinte parcial do cimento em formulações de concreto. Foram avaliadas

substituições do cimento *Portland* entre as frações de 10% a 40% pelo pó cerâmico. Segundo os autores, as proporções entre 20% e 40% apresentaram os melhores resultados em relação à resistência à compressão do concreto. Os autores ressaltam que o concreto com o resíduo apresentou maior durabilidade em relação ao concreto padrão.

Wang et al. (2017) avaliaram a utilização de agregados de resíduos de concreto tratados em solução de ácido acético. A utilização do resíduo de concreto tratado pode melhorar a resistência à compressão em até 14% em 28 dias em relação à formulação padrão. Os autores ainda ressaltam que o resíduo do tratamento químico com ácido acético também pode ser empregado na formulação do concreto, sem geração de mais resíduos.

Ahmadi et al. (2017) realizaram pesquisa com o intuito de analisar a influência de aço obtido da reciclagem de pneus em concretos (adição de 0,5% e 1%) onde foram utilizados agregados naturais e resíduos reciclados da construção civil como agregados graúdos (concretos, pedras de fachadas, louças e tijolos). Segundo os autores, a tenacidade, a resistência à tração e a resistência à flexão aumentaram com o incremento de fibras de aço. Incrementos de 1% de fibra de aço resultou em diminuição da resistência à compressão do concreto.

Morales et al. (2017) estudaram o efeito da utilização de agregados miúdos e graúdos reciclados na fabricação de blocos ocós de concreto utilizados na civil. Foram pesquisadas cinco diferentes formulações utilizando os resíduos e os resultados das propriedades físicas e mecânicas foram comparados com o padrão desenvolvido de acordo com os fabricantes. De acordo com os autores, a utilização dos resíduos não comprometeu os resultados, atendendo aos parâmetros para comercialização do bloco de concreto. Os autores também destacam que o método de fabricação dos blocos de concreto (técnica de vibro-compactação) não foi afetada pela utilização dos resíduos.

#### 2.4 RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA E SUA UTILIZAÇÃO EM CONCRETOS E ARGAMASSAS

Dentre os tipos de materiais cerâmicos produzidos, existe a cerâmica branca, que pode ser dividida em função da utilização dos produtos, tais como: louça sanitária, louça de mesa, isoladores elétricos para linha de transmissão e de distribuição, utensílios domésticos, entre outros (CAVALCANTE, 2005).

A louça sanitária vitrificada é o corpo cerâmico, geralmente moldado por colagem de barbotinas defloculadas em moldes (gesso ou resinas microporosas), recoberta com fina camada de esmalte e sinterizada por meio de queima à temperatura entre 1200 °C e 1350 °C, a qual contém como características a absorção nula de água e elevada resistência mecânica (CAVALCANTE, 2005).

A produção da louça sanitária pode envolver alguns métodos artesanais. Dentre as principais etapas de produção de louça sanitária destacam-se: produção da massa, produção do molde, produção do esmalte, conformação da peça (ou fundição), secagem, aplicação do esmalte e queima (ou sinterização) (CAVALCANTE, 2005).

Os resíduos provenientes das indústrias produtoras de louças sanitárias geralmente consistem em cacos da louça pós-queima, provenientes da quebra do material durante o processo ou na sua movimentação e estoque, ou então, peças que não passaram nas etapas de controle de qualidade.

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM), a indústria brasileira de louça sanitária é uma das principais produtoras mundiais apresentando um dos melhores níveis tecnológicos, contando com aproximadamente 20 empresas situadas nos estados do Ceará, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São Paulo (ABCERAM: 2017).

Silva Junior et al. (2002) desenvolveram argamassa reciclando resíduos de louça sanitária. A argamassa produzida apresentava proporção 1:2:9 (cimento:cal:agregado) na consistência padrão para argamassas de revestimento. Segundo os autores, a argamassa desenvolvida pode ser utilizada em substituição às argamassas convencionais, com benefícios de custo e ao meio ambiente.

Martins et al. (2004) estudaram a fabricação e a resistência à compressão após 7, 28 e 91 dias de concretos com resíduos de louça sanitária em substituição total ao agregado natural. Os autores destacaram que a fabricação do concreto com resíduo de louça sanitária não apresentou diferenças técnicas em relação ao concreto convencional. Além disso, com 28 dias a resistência à compressão do concreto com resíduo foi igual a 26,6 MPa, sugerindo sua utilização como concreto estrutural, porém, com a ressalva de mais testes serem realizados.

Guerra et al. (2009) estudaram a utilização de resíduos sanitários de porcelana, substituindo o agregado graúdo natural em concretos. O resíduo foi obtido diretamente da fabricante e, no laboratório, britado. As frações de resíduos que passaram da peneira de 20 *mesh* e retidos na peneira de 5 *mesh*, foram utilizados na pesquisa. Os

autores utilizaram uma formulação de concreto de referência e nas demais, utilizaram frações de 3%, 5%, 7% e 9% de porcelana. Após 28 dias, a formulação com 9% de porcelana sanitária apresentou resistência à compressão igual a 45,2 MPa, maior que a obtida pelo concreto com formulação de referência (41,4 MPa).

Costa et al. (2011) desenvolveram argamassas com cal hidratada, cimento Portland e dois tipos de agregados: areia de rio e reciclado (resíduo de louça sanitária proveniente de fábrica do estado de Minas Gerais). Segundo os autores, a utilização do agregado reciclado resultou em melhores propriedades físicas e maiores níveis de resistência mecânica quando comparados às formulações similares produzidas com areia de rio.

Medina et al. (2012a) estudaram a influência da utilização de resíduos de louça sanitária nas propriedades de concretos. Foram fabricadas quatro formulações de concreto, sendo uma delas de referência e as demais com 15%, 20% e 25% de resíduo de louça sanitária em substituição ao agregado graúdo. De acordo com os autores, foram observados aumentos na resistência à compressão do concreto com o aumento da proporção e resíduo. A microestrutura dos concretos na interface argamassa e resíduo de louça sanitária apresentou maior compactação e estabilidade em relação à interface argamassa e agregado graúdo.

Medina et al. (2012b) estudaram a permeabilidade de gás em concretos fabricados com agregado graúdo natural e com resíduos de louça sanitária (20% e 25% em substituição ao agregado graúdo). De acordo com os autores, porosidade ligeiramente maior dos concretos com resíduos não se traduz em maior permeabilidade ao gás, além disso, o concreto com resíduo de louça sanitária mostrou durabilidade tanto quanto o concreto de referência. Os concretos com emprego do resíduo de louça sanitária apresentaram melhor comportamento em relação às propriedades mecânicas quando comparados ao concreto de referência.

Medina et al. (2012c) determinaram correlação linear entre a porcentagem de utilização de resíduos de louça sanitária e o slump test (coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 98,78%) de concretos fabricados com diferentes porcentagens de resíduos em substituição ao agregado graúdo natural (15%, 20% e 25%). A correlação linear adotada para estimativa da densidade do concreto em função do conteúdo de resíduo de louça sanitária apresentou coeficiente de determinação igual a 91,43%. Além disso, os autores determinaram aumento da resistência à compressão conforme aumento do teor de resíduos de louça sanitárias para 7, 28 e 90 dias.

Medina et al. (2013) determinaram a resistência à permeabilidade de concretos fabricados com resíduos de louça sanitária (frações de 20% e 25% em substituição ao agregado graúdo). Segundo os autores, a pequena porosidade do concreto não traduz em permeabilidade, quando comparado ao concreto de referência, além disso, a profundidade máxima de penetração de água não é maior no concreto com resíduo de louça sanitária, nunca excedendo a 30 mm.

Halicka et al. (2013) estudaram a utilização de resíduos de louça sanitária em formulações de concreto. Foram realizados ensaios para determinação da resistência à alta temperatura (1000 °C) dos concretos de referência e com 100% de resíduo de louça sanitária em substituição ao agregado graúdo e, segundo os autores, os corpos de prova com resíduo mantiveram a coesão e não foram deformados. Após o ciclo de aquecimento, houve diminuição em 46% da resistência à compressão do concreto com resíduo de louça sanitária, porém, de acordo com os autores, a perda de resistência foi semelhante ao concreto de referência.

Bartosz et al. (2016) estudaram a utilização de resíduos de louça sanitária na produção de concretos de ultra-alta resistência em dois intervalos de granulometria (0 a 4 mm e de 4 mm a 8 mm). Segundo os autores, com este tipo de resíduo é possível produzir concretos com alta resistência à compressão (acima de 120 MPa), além disso, os concretos com resíduos de louça sanitária apresentaram resistência à compressão e à tração superiores ao concreto de referência em 24,74% e 34,25%, respectivamente.

Medina et al. (2016) estudaram diferentes formulações de concreto fabricados com agregado graúdo natural e com resíduos de louça sanitária (20% e 25% em substituição ao agregado graúdo). Segundo os autores, este tipo de resíduo pode ser empregado na fabricação de concretos, pois, os resultados dos parâmetros relacionados com durabilidade (resistência à compressão, resistividade elétrica, penetração de água sob pressão) apresentaram bom desempenho em relação ao concreto de referência.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios para caracterização dos materiais foram realizados no Laboratório das Engenharias da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL/MG), *Campus* Poços de Caldas, no Laboratório de Cristalografia da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL/MG), *Campus* Alfenas e na empresa Togni S/A Materiais Refratários (TOGNI S/A), situada em Poços de Caldas/MG. Para fabricação do concreto, ensaios no estado fresco, confecção dos corpos de prova e ensaios de compressão foram utilizadas as instalações do Laboratório de Tecnologia do Concreto do Instituto Federal do Sul de Minas, *Campus* Pouso Alegre.

#### 3.1 MATERIAIS

As matérias-primas utilizadas nesta pesquisa para fabricação do concreto de referência e dos concretos com substituições são apresentadas a baixo. A seleção dos materiais foi realizada de modo se obter um concreto padrão utilizado na construção civil (GRILLO, 2014).

- Cimento *Portland* tipo CP II E 32 do fabricante Lafarge;
- Pó de brita comercial, como agregado miúdo, da região do município de Pouso Alegre/MG;
- Brita 1 comercial (com dimensões máximas de 19 mm), como agregado graúdo, da região do município de Pouso Alegre/MG;
- Aditivo superplastificante de terceira geração de nome comercial *Glenium51*<sup>®</sup> do fabricante *Basf*, cujas características em relação à base química são classificadas como éter policarboxílico, densidade variável de 1,067 g/cm<sup>3</sup> a 1,107 g/cm<sup>3</sup>;
- Água da rede pública obtida no laboratório;
- Resíduo de louça sanitária obtido de indústria fabricante do município de Poços de Caldas/MG. Daqui em diante nesta pesquisa o resíduo de louça sanitária será denominado *scrap* cerâmico, mesma nomenclatura adotada pela empresa fornecedora. Este resíduo é proveniente dos processos de controle de qualidade, onde os produtos cerâmicos com defeitos (trincas, por exemplo), foram descartados.



## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Caracterização do *scrap* cerâmico

Para caracterização do *scrap* cerâmico foram realizados ensaios de difração de raios-X (DRX), análise química por fluorescência de raios-X (FRX), análise via distribuição granulométrica por método de peneiramento, densidade específica e densidade específica aparente.

- **Difração de Raios-X (DRX)**

Os ensaios de Difração de Raios-X (DRX) do *scrap* cerâmico foram realizados na Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL/MG), *Campus* Alfenas, no Laboratório de Cristalografia, no equipamento *Rigaku Optima* com radiação de cobalto com comprimento de onda de 1,7893 Å e passo de 0,05°. A identificação das fases foi realizada utilizando o programa *Crystrallographica Search Match* indexado ao banco de dados cristalográficos PDF 2003 (*Powder Diffraction File*) da JCPDS-ICDD (*Joint Commitee on Powder Diffraction Standards - International Centre for Diffraction Data*).

- **Análise Química**

Foi realizada a análise química semiquantitativa, pela técnica de Fluorescência de Raios-X (FRX) na empresa de refratários TOGNI S/A; o modelo do equipamento utilizado foi o *Axios PW 4400/40 DY1686*.

- **Análise Granulométrica**

A partir do material disponibilizado pela indústria (*bag* com 50 kg), foi coletada uma amostra de aproximadamente 7 kg de maneira aleatória (Figura 1).



Figura 1 - *Scrap* cerâmico bruto disponibilizado pela empresa.

Fonte: Do autor.

A cominuição da amostra ocorreu no britador de mandíbulas da marca *Pavitest*, modelo I4198, do fabricante *Conteco Indústria e Comércio LTDA*. O britador foi regulado para diminuir os fragmentos para dimensões da ordem de 3 cm (Figura 2). Após esta etapa, foram obtidas três amostras (Amostras 1, 2 e 3) utilizando um separador de amostras, cada uma delas com aproximadamente 1 kg (Figura 3).



(a)



(b)

Figura 2 - Cominuição do resíduo: (a) Britador de mandíbula; (b) *Scrap* cerâmico britado.

Fonte: Do autor.

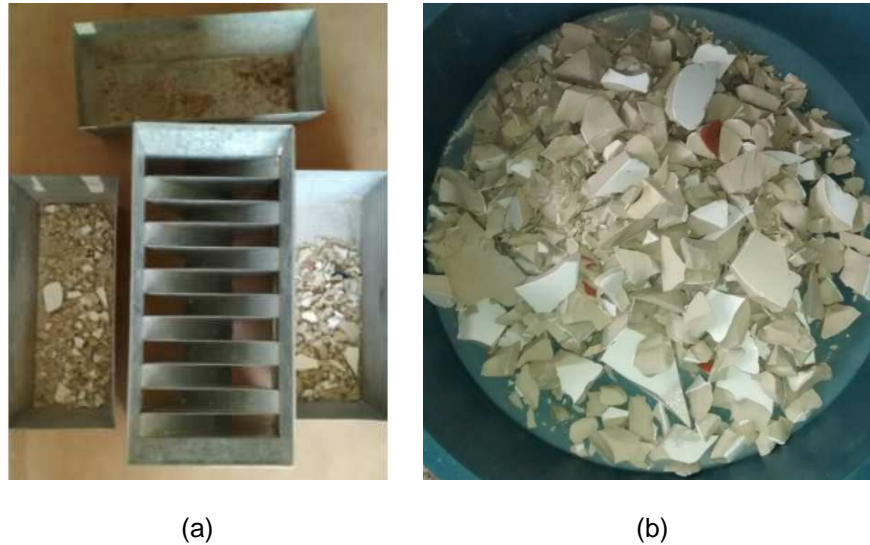


Figura 3 - Amostragem do resíduo: (a) Separador de amostras; (b) Amostra para análise granulométrica.

Fonte: Do autor.

A curva de distribuição granulométrica foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR NM 248:2011 “Agregados: determinação da composição granulométrica”, utilizando a sequência de peneiras de 25 mm a 0,15 mm, para cada uma das três amostras. O ensaio foi realizado em triplicata.

- **Massa específica e massa específica aparente**

Os ensaios para determinação da massa específica ( $\rho$ ) e da massa específica aparente ( $\rho_{ap}$ ) do *scrap* cerâmico foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR NM 53:2003 “Agregado graúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água”.

Amostras do resíduo foram secas em estufa regulada a 100°C por 24 horas. Em seguida, na balança analítica de precisão foi obtida a massa da amostra seca ( $m_s$ ). As amostras foram deixadas por mais 24 horas submersas em água, e após, foi determinada a massa da amostra saturada ( $m_u$ ). Logo em seguida, foi determinada a massa da amostra submersa em água ( $m_a$ ) (Figura 4). A massa específica e a massa específica aparente são calculadas pelas Equações 1 e 2.

$$\rho = m_s / (m_u - m_a) \quad (1)$$

$$\rho_{ap} = m_s / (m_s - m_u) \quad (2)$$



Figura 4 - Aparato para determinação da massa da amostra submersa em água.

Fonte: Do autor.

### 3.2.2 Formulações do concreto de referência e com *scrap* cerâmico

A formulação do concreto de referência (CR) utilizada neste trabalho foi desenvolvida de acordo com o padrão utilizado no setor da construção civil (GRILLO, 2014; CRUZ, 2017). A partir do resultado da análise granulométrica, foi decidido utilizar o *scrap* cerâmico britado uma vez, utilizando todas as frações granulométricas obtidas, sempre em substituição à brita 1. A escolha pela utilização de todas as frações granulométricas se deu pelo fato de diminuição dos retrabalhos e economia na reciclagem do resíduo. Para todas as formulações estudadas a relação a/c foi igual a 0,42. A nomenclatura adotada e a composição das formulações dos concretos são apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3- Nomenclatura adotada para as formulações dos concretos.

Nomenclatura	Identificação
CR	Concreto de Referência (0% de <i>scrap</i> cerâmico)
CSC-I	Concreto com 25% de <i>scrap</i> cerâmico
CSC-II	Concreto com 50% de <i>scrap</i> cerâmico
CSC-III	Concreto com 75% de <i>scrap</i> cerâmico
CSC-IV	Concreto com 100% de <i>scrap</i> cerâmico

Fonte: Do autor.

Tabela 4- Composição das formulações dos concretos.

Componentes	Concretos				
	CR	CSC-I	CSC-II	CSC-III	CSC-IV
Cimento (kg)	23,08	23,08	23,08	23,08	23,08
Brita 1 (kg)	34,67	26,00	17,34	8,67	0
Scrap Cerâmico (kg)	0	8,67	17,34	26,00	34,67
Pó Brita (kg)	28,24	28,24	28,24	28,24	28,24
Água (kg)	9,62	9,62	9,62	9,62	9,62
Aditivo (g)	92,00	92,00	92,00	92,00	92,00
Relação a/c	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42

Fonte: Do autor.

### 3.2.3 Fabricação do concreto em laboratório

Os concretos foram fabricados de acordo com o procedimento padrão, utilizando-se as normas ABNT NBR NM 12655:2006 “Concreto: preparo, controle e recebimento” e ABNT NBR NM 33:1998 “Concreto: amostragem de concreto fresco”. Para cada formulação (Tabela 4) os componentes foram pesados separadamente (Figura 5) e colocados em uma betoneira para preparação do concreto.



Figura 5 - Preparação do concreto: (a) Matérias-primas utilizadas na fabricação do concreto; (b) Detalhe do scrap cerâmico; (c) Betoneira; (d) Detalhe da massa de concreto

Fonte: Do autor.

### 3.2.4 Determinação do abatimento do concreto

A determinação do abatimento foi realizada logo após a preparação do concreto de acordo com o procedimento padrão estabelecido pela norma ABNT NBR NM 67:1998 “Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”. Este procedimento é mais conhecido no setor da construção civil como *slump* teste e é uma medida da sua consistência (Figura 6).



Figura 6 - Sequência do *slump* teste: (a) colocação do concreto no tronco de cone; (b) retirada do tronco de cone; (c) espalhamento do concreto sobre a placa metálica da base; (d) medida do abatimento.

Fonte: Do autor.

Vale ressaltar que, para todas as formulações estudadas, não foram necessários os golpes no concreto no momento da sua colocação no tronco de cone devido à boa trabalhabilidade obtida.



Após a determinação do parâmetro de abatimento, foi realizada análise visual da massa de concreto sobre a placa metálica para verificação de segregação (ou escorrimento de água).

### 3.2.5 Fabricação dos corpos de prova para ensaio de compressão

Os corpos de prova para realização do ensaio de compressão foram fabricados de acordo com os procedimentos padronizados pela ABNT NBR 5738:2015 “Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”.

Os corpos de prova foram moldados em formato cilíndrico com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. O preenchimento do molde (untado previamente com óleo vegetal para facilitar o desmolde) com a massa de concreto, foi realizado de uma vez, sem a necessidade dos golpes, devido à boa trabalhabilidade obtidas por ambas as formulações (Figura 7). Para cada uma das formulações foram fabricados 6 corpos de prova para cada idade (7, 14 e 28 dias), totalizando 90 corpos de prova (Figura 8).



Figura 7 - Fabricação dos corpos de prova: (a) Moldes utilizados para fabricação dos corpos de prova de compressão; (b) Corpos de prova moldados.

Fonte: Do autor.



Figura 8 - Fabricação dos corpos de prova: (a) corpos de prova de concreto CR moldados; (b) Corpos de prova de concreto CSC-I moldados

Fonte: Do autor.

Após 24 horas (início do processo de cura) os corpos de prova foram desmoldados e submersos em tanque com água à temperatura ambiente do laboratório (Figura 9).



Figura 9 - Corpos de prova de concreto submersos em água para cura.

Fonte: Do autor.

### 3.2.6 Determinação da resistência à compressão

Para determinação da resistência à compressão do concreto, foi utilizada uma prensa hidráulica manual com capacidade de carga de 500 kN, com mostrador digital, da marca Solotest (Figura 10). A resistência à compressão ( $f_c$ ) de cada um dos corpos de prova foi determinada pela razão entre a força de compressão máxima resistida pelo corpo de prova ( $F_c$ ) e a área da seção transversal do corpo de prova de compressão ( $A$ ) (Equação 3).



$$f_c = F_c/A \quad (3)$$

Foram rompidos 6 corpos de prova para cada idade de estudo (7, 14 e 28 dias) e para cada uma das formulações estudadas. Os ensaios ocorreram de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2007 “Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos”.

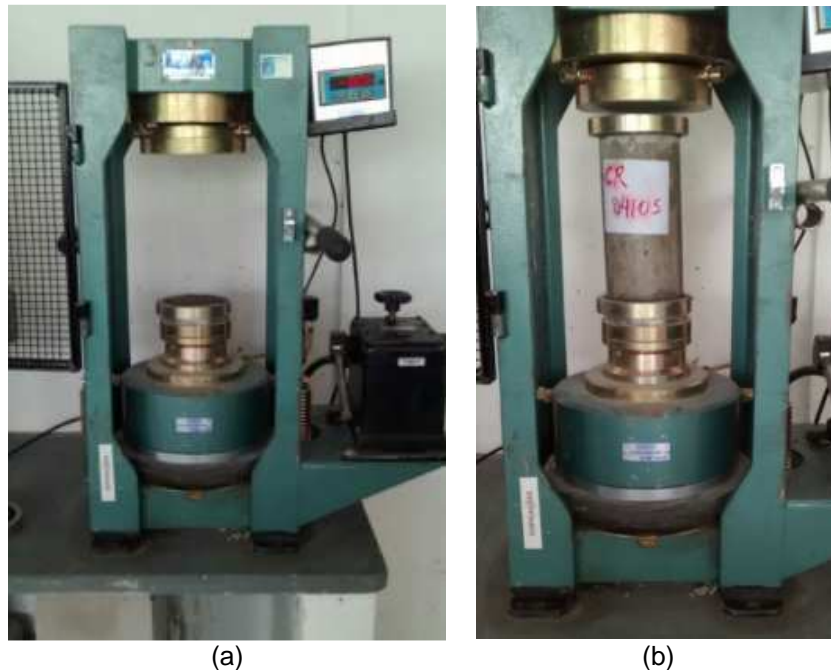


Figura 10 - Ensaio de compressão: (a) Prensa Solotest com capacidade de 500 kN; (b) corpo de prova de concreto instrumentado para realização de ensaio de compressão.

Fonte: Do autor.

### 3.2.7 Determinação resistência característica e classe de consistência

Para estimativa da resistência característica à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) das diferentes formulações do concreto, foram utilizadas as recomendações da norma ABNT NBR NM 12655:2006. De acordo com a norma, são necessários no mínimo 6 corpos de prova para concretos do Grupo I (classes de resistência até C50). As classificações dos concretos de acordo com as classes de resistência são apresentadas na norma ABNT NBR 8953:2015 “Concreto para fins estruturais: classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência”.

Para lotes com número de exemplares maior ou igual a 6 e menor ou igual a 20 corpos de prova, o valor estimado de resistência característica à compressão, na idade especificada (no caso desta pesquisa com 28 dias de cura) pode ser calculada pela Equação 4.

$$f_{ck} = 2 \cdot [(f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}) / (m-1)] - f_m \quad (4)$$

Da Equação 4 denotam:  $f_1$ ,  $f_2$  e  $f_m$  = valores das resistências dos corpos de prova, em ordem crescente;  $m = n/2$ , onde  $n$  = número de corpo de prova da amostra.

As classes de consistência dos concretos são apresentadas na norma ABNT NBR 8953:2015 e são determinados a partir dos resultados do *slump* teste variando entre as classes S10 (*slump* teste variando entre 10 mm e 50 mm) e S220 (*slump* teste maior ou igual a 220 mm).

### 3.2.8 Determinação da porosidade do concreto

Após o tempo total de cura do concreto (28 dias), os corpos de prova já rompidos foram colocados em estufa à temperatura de 100°C por 24 horas e, após esse período, foi determinada a massa seca ( $p_s$ ) de cada um deles. Logo em seguida, os corpos de prova foram submersos em água à temperatura ambiente, por 24 horas e, após este período, foi determinada a massa saturada ( $p_u$ ) dos corpos de prova. Após esta etapa, foi obtida a massa imersa em água ( $p_a$ ) dos corpos de prova pelo método gravimétrico (Figura 11). A porcentagem de porosidade ( $P$ ) foi calculada pela Equação 5.

$$P = [(p_u - p_s) / (p_u - p_a)] \cdot 100 \quad (5)$$



(a)



(b)

Figura 11 - Porosidade do concreto: (a) Corpos de prova na estufa; (b) Determinação da massa imersa do corpo de prova.

Fonte: Do autor.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os da caracterização dos materiais utilizados e os resultados dos concretos de referência e com diferentes proporções de utilização do *scrap* cerâmico em substituição à brita 1, nos estados frescos e endurecidos.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SCRAP CERÂMICO

- **Difração de Raios-X (DRX)**

A Figura 12 apresenta o difratograma obtido para a amostra de *scrap* cerâmico submetida ao ensaio de Difração de Raios-X. É possível observar que foram identificadas as fases quartzo (fase cristalina de sílica, ficha JCPDS 46-1045) e mulita (fase constituída por alumina e sílica, ficha JCPDS 79-1275). Os resultados da difração de raios-X da amostra estão iguais aos determinados por Medina et al. (2012a).

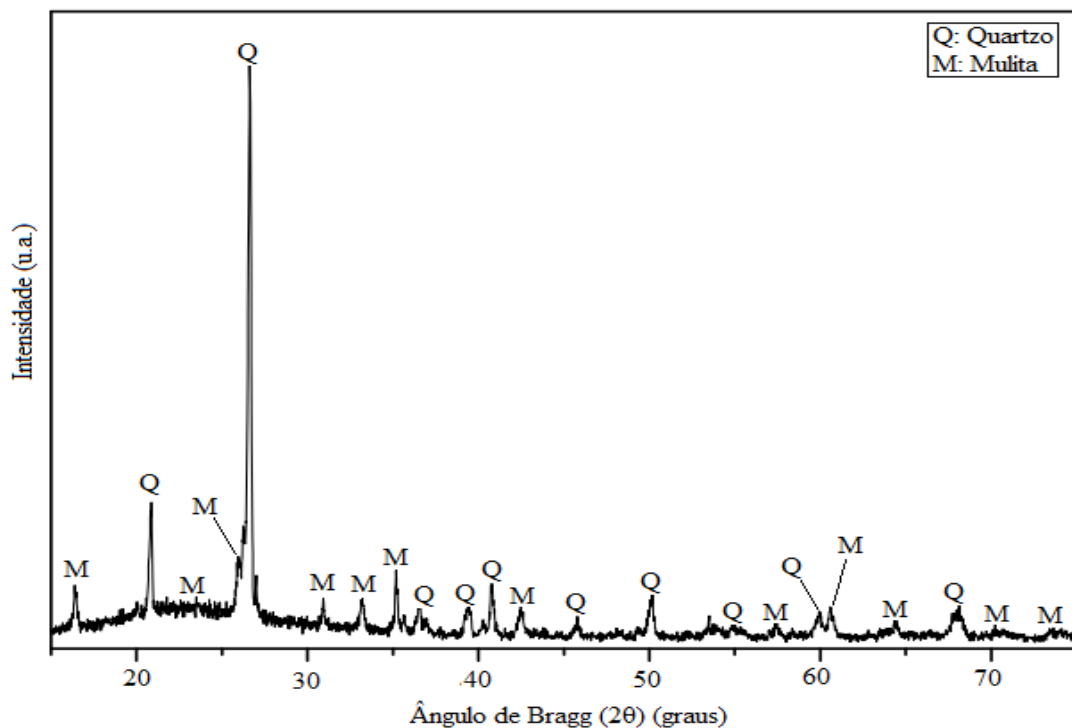


Figura 12 - Difratograma da amostra de *scrap* cerâmico.

Fonte: Do autor.

- **Análise Química**

A Tabela 5 apresenta os componentes e as respectivas concentrações contidos no *scrap* cerâmico obtidos por meio de análise química por Fluorescência de Raios-

X. O *scrap* apresenta  $\text{SiO}_2$  (Óxido de Silício) em maior parte da sua composição. De acordo com a análise química o *scrap* cerâmico também apresenta 0,31% de perda ao fogo. Halicka et al. (2013) também determinaram os mesmos componentes para a amostra de resíduo de louça sanitária caracterizada por eles para utilização em concretos.

Tabela 5- Análise química por fluorescência de raios-X do *scrap* cerâmico.

Componentes	%	Componentes	%	Componentes	%
$\text{SiO}_2$	64,62	$\text{CaO}$	0,82	$\text{BaO}$	0,11
$\text{Al}_2\text{O}_3$	20,00	$\text{TiO}_2$	0,68	$\text{P}_2\text{O}_5$	0,10
$\text{K}_2\text{O}$	3,42	$\text{Na}_2\text{O}$	0,49	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0,06
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,66	$\text{ZrO}_2$	0,49	$\text{MnO}$	0,06
$\text{MgO}$	1,23	$\text{ZnO}$	0,27	$\text{Nb}_2\text{O}_5$	0,05

Fonte: Do autor.

- **Análise Granulométrica**

Nas Tabelas 6, 7 e 8 estão os dados da caracterização granulométrica para as amostras de *scrap* cerâmico estudadas. A Figura 13 apresenta a curva de distribuição granulométrica média obtida a partir do ensaio em triplicata.

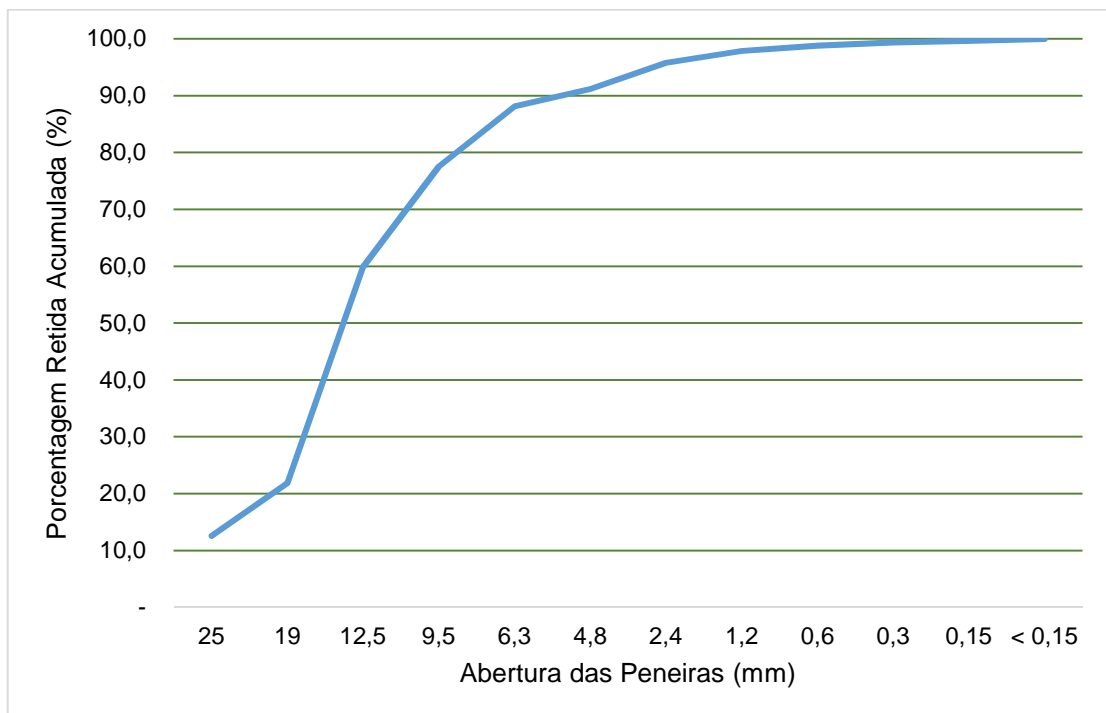


Figura 13 - Distribuição granulométrica média do *scrap* cerâmico.

Fonte: Do autor.

Tabela 6- Caracterização granulométrica da Amostra 1 (massa = 1365,40 g).

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>Massa Acumulada (g)</b>	<b>Quantidade Retida (%)</b>	<b>Quantidade Retida Acumulada (%)</b>
25	171,80	171,80	12,59	12,59
19	127,00	298,80	9,31	21,89
12,5	519,00	817,80	38,03	59,93
9,5	240,80	1058,60	17,64	77,57
6,3	144,40	1203,00	10,58	88,15
4,8	41,30	1244,30	3,03	91,18
2,4	63,30	1307,60	4,64	95,82
1,2	28,40	1336,00	2,08	97,90
0,6	12,10	1348,10	0,89	98,78
0,3	7,60	1355,70	0,56	99,34
0,15	4,50	1360,20	0,33	99,67
<0,15	4,50	1364,70	0,33	100,00
<b>Total</b>	<b>1364,70</b>	<b>1364,70</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Do autor.

Tabela 7- Caracterização granulométrica da Amostra 2 (massa = 1009,80 g).

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Massa Retida (g)</b>	<b>Massa Acumulada (g)</b>	<b>Quantidade Retida (%)</b>	<b>Quantidade Retida Acumulada (%)</b>
25	105,90	105,90	10,50	10,50
19	138,60	244,50	13,74	24,23
12,5	407,10	651,60	40,35	64,58
9,5	155,90	807,50	15,45	80,03
6,3	89,10	896,60	8,83	88,86
4,8	32,50	929,10	3,22	92,08
2,4	43,10	972,20	4,27	96,35
1,2	18,70	990,90	1,85	98,21
0,6	7,90	998,80	0,78	98,99
0,3	4,40	1003,20	0,44	99,43
0,15	2,70	1005,90	0,27	99,69
<0,15	3,10	1009,00	0,31	100,00
<b>Total</b>	<b>1009,00</b>	<b>1009,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Do autor.

Tabela 8- Caracterização granulométrica da Amostra 3 (massa = 920,50 g).

Peneiras (mm)	Massa Retida (g)	Massa Acumulada (g)	Quantidade Retida (%)	Quantidade Retida Acumulada (%)
25	58,20	58,20	6,33	6,33
19	135,00	193,20	14,69	21,02
12,5	361,40	554,60	39,31	60,33
9,5	165,40	720,00	17,99	78,32
6,3	95,30	815,30	10,37	88,69
4,8	28,10	843,40	3,06	91,74
2,4	42,80	886,20	4,66	96,40
1,2	17,40	903,60	1,89	98,29
0,6	6,70	910,30	0,73	99,02
0,3	4,10	914,40	0,45	99,47
0,15	2,30	916,70	0,25	99,72
<0,15	2,60	919,30	0,28	100,00
Total	919,30	919,30	100,00	100,00

Fonte: Do autor.

Vale lembrar que foram utilizadas todas as frações do *scrap* cerâmico em substituição da brita 1. Como pode ser verificado nas Tabelas 6, 7 e 8, a maior parte dos fragmentos ficaram retidos até a peneira com abertura de 9,5 mm.

- **Massa específica e massa específica aparente**

A massa específica e a massa específica aparente do *scrap* apresentaram o mesmo valor (igual a 2,40 g/cm<sup>3</sup>). Os resultados desta pesquisa estão próximos aos determinados por Medina et al. (2016), Halicka et al. (2013) e Guerra et al. (2009), que determinaram valores para a massa específica de resíduo de louça sanitária iguais a 2,39 g/cm<sup>3</sup>, 2,36 g/cm<sup>3</sup> e 2,36 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

#### 4.2 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Em relação às propriedades do concreto fresco, aqueles com *scrap* cerâmico em sua composição não apresentaram diferenças em comparação ao concreto de referência. Além disso, todos apresentaram boa trabalhabilidade e homogeneidades (sem acúmulo de agregados em apenas uma das porções da massa) (Figura 14).

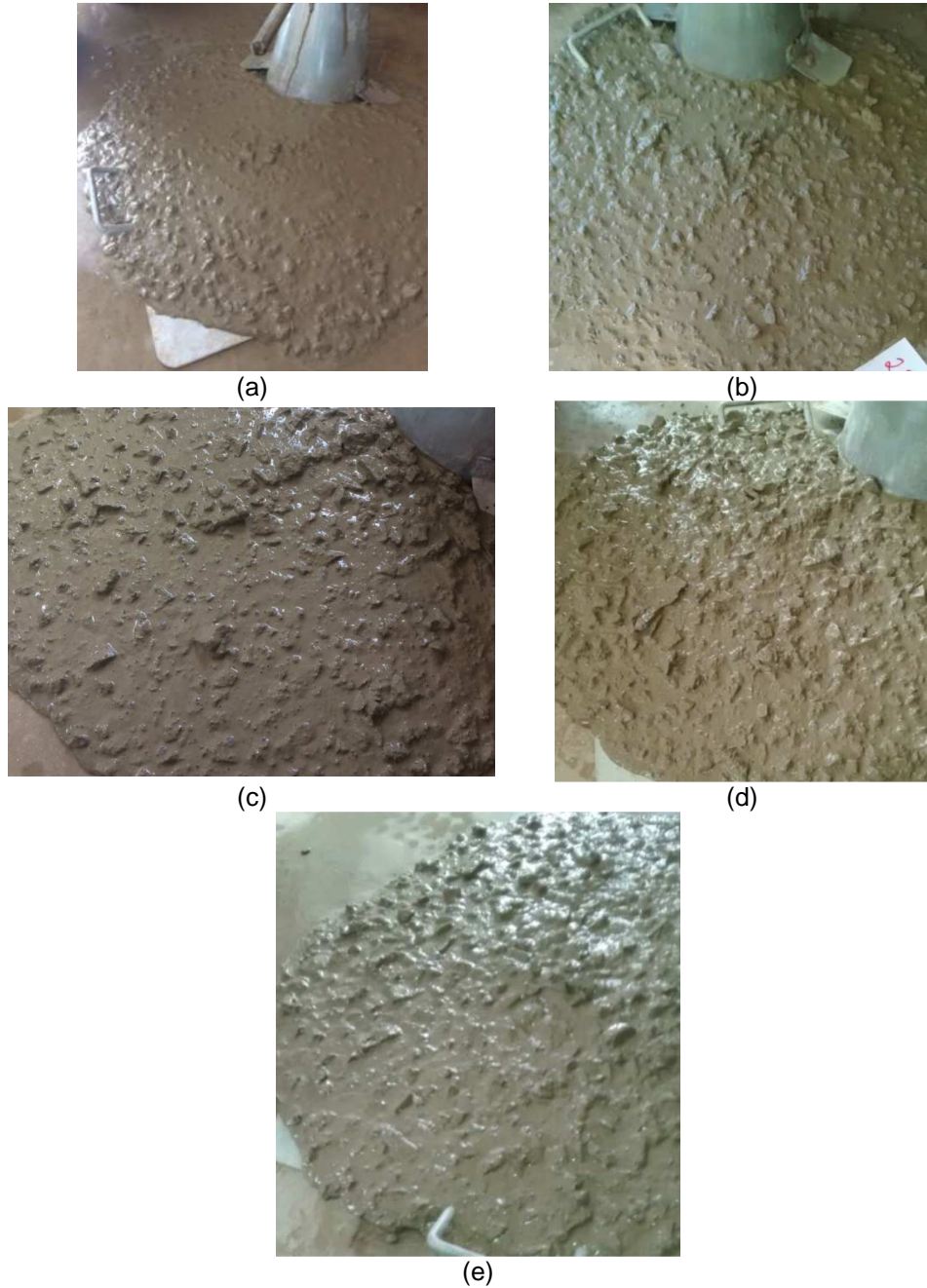


Figura 14 - Aspectos das massas dos concretos: (a) CR, (b) CSC-I, (c) CSC-II, (d) CSC-III e (e) CSC-IV.

Fonte: Do autor.

Nos concretos CR, CSC-III e CSC-IV não foram observados indícios de segregação (Figura 15). Nos concretos CSC-I e CSC-II, foram determinadas pequenas segregações e escorrimento de água da massa poucos minutos após a sua preparação (Figura 16).

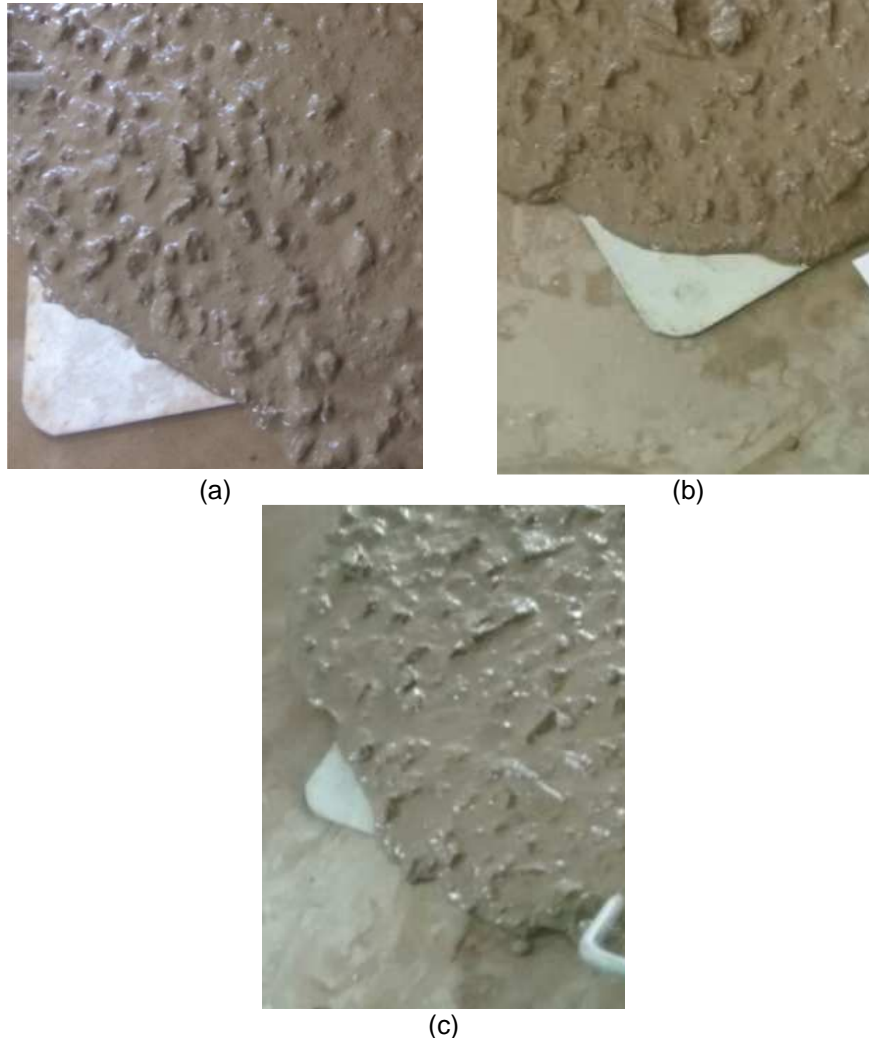


Figura 15 - Massas dos concretos: (a) CR, (b) CSC-III e (c) CSC-IV sem segregação e escorrimento de água.

Fonte: Do autor.





Figura 16 - Massas dos concretos: (a) CSC-I e (b) CSC-II que apresentaram pequeno escoamento de água.

Fonte: Do autor.

Os concretos CSC-III e CSC-IV apresentaram maior fluidez quando comparado ao concreto CR. O concreto CSC-I apresentou o maior valor de *slump* teste (26,90 cm). Os concretos obtidos com o scrap cerâmico apresentam boa trabalhabilidade, de acordo com a análise dos resultados obtidos a partir do *slump* teste (Tabela 9).

Tabela 9- *Slump* teste das formulações de concreto.

<b>Formulação</b>	<b><i>Slump</i> teste (cm)</b>
CR	25,90
CSC-I	26,90
CSC-II	26,80
CSC-III	24,40
CSC-IV	24,30

Fonte: Do autor

#### 4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

As Tabelas 10, 11 e 12 apresentam os valores de resistência à compressão ( $f_c$ ) para cada uma das formulações de concreto estudadas, para as idades de cura de 7, 14 e 28 dias, respectivamente. Além disso, apresenta os valores de resistência média à compressão do concreto ( $f_{cm}$ ), o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV).

Tabela 10- Resistência à compressão ( $f_c$ ) dos concretos com 7 dias de cura.

<b>Idade (dias)</b>	<b>CR</b>	<b>CSC-I</b>	<b>CSC-II</b>	<b>CSC-III</b>	<b>CSC-IV</b>
7	28,18	28,42	30,03	24,47	31,00
	33,64	35,85	29,08	33,71	29,56
	29,34	33,42	32,09	35,41	30,35
	32,68	31,91	27,18	33,94	33,52
	31,89	33,41	26,34	32,74	32,45
	34,19	35,15	30,75	33,12	32,06
$f_{cm}$ (MPa)	31,65	33,03	29,25	32,23	31,49
DP (MPa)	2,40	2,66	2,18	3,91	1,46
CV (%)	8	8	7	12	5

Fonte: Do autor

Tabela 11- Resistência à compressão ( $f_c$ ) dos concretos com 14 dias de cura.

<b>Idade (dias)</b>	<b>CR</b>	<b>CSC-I</b>	<b>CSC-II</b>	<b>CSC-III</b>	<b>CSC-IV</b>
14	38,70	25,44	39,56	37,21	38,72
	37,32	39,72	30,33	37,78	38,28
	36,82	38,75	33,54	37,30	38,20
	41,53	39,77	38,45	31,48	38,31
	37,72	41,74	29,52	32,68	38,62
	44,63	35,71	35,39	30,94	41,27
$f_{cm}$ (MPa)	39,45	36,86	34,47	34,56	38,90
DP (MPa)	3,04	5,93	4,13	3,20	1,18
CV (%)	8	16	12	9	3

Fonte: Do autor

Tabela 12- Resistência à compressão ( $f_c$ ) dos concretos com 28 dias de cura.

<b>Idade (dias)</b>	<b>CR</b>	<b>CSC-I</b>	<b>CSC-II</b>	<b>CSC-III</b>	<b>CSC-IV</b>
28	54,13	41,81	43,35	40,59	50,46
	46,04	48,83	41,14	48,15	49,46
	49,91	46,76	44,27	45,04	45,89
	47,55	48,35	46,50	46,30	49,15
	40,99	48,89	46,81	47,93	43,95
	52,01	46,73	46,24	47,65	47,75
$f_{cm}$ (MPa)	48,44	46,89	44,72	45,94	47,78
DP (MPa)	4,68	2,67	2,22	2,87	2,45
CV (%)	10	6	5	6	5

Fonte: Do autor

Para os corpos de prova de todas as idades de cura, os modos de ruptura predominantes foram na interface *scrap* cerâmico/argamassa (Figura 17), apresentando um adensamento da argamassa (cor mais escura) (Figura 17). Também foram observadas rupturas do *scrap* cerâmico (Figura 18). Vale ressaltar a homogeneidade do *scrap* cerâmico na sua distribuição pela massa de concreto e no corpo de prova, não havendo acúmulo do material em pontos específicos dos corpos de prova.

Os fragmentos maiores de *scrap* cerâmico que ficaram dispostos na direção paralela à aplicação da carga de ruptura contribuíram para a ruptura do corpo de prova na interface *scrap* cerâmico/argamassa, diminuindo a resistência do corpo de prova. Isso foi percebido no corpo de prova de concreto CSC-I com 14 dias de cura (Tabela 11) que apresentou  $f_c$  igual a 25,44 MPa (Figura 18), bem abaixo dos outros corpos de prova da mesma categoria.

Desta maneira, para trabalhos futuros, sugere-se melhor controle de britagem para melhoria no processo de cominuição do resíduo, de maneira que fragmentos acima de 25 mm sejam repassados pelo britador para sua diminuição dos mesmos.

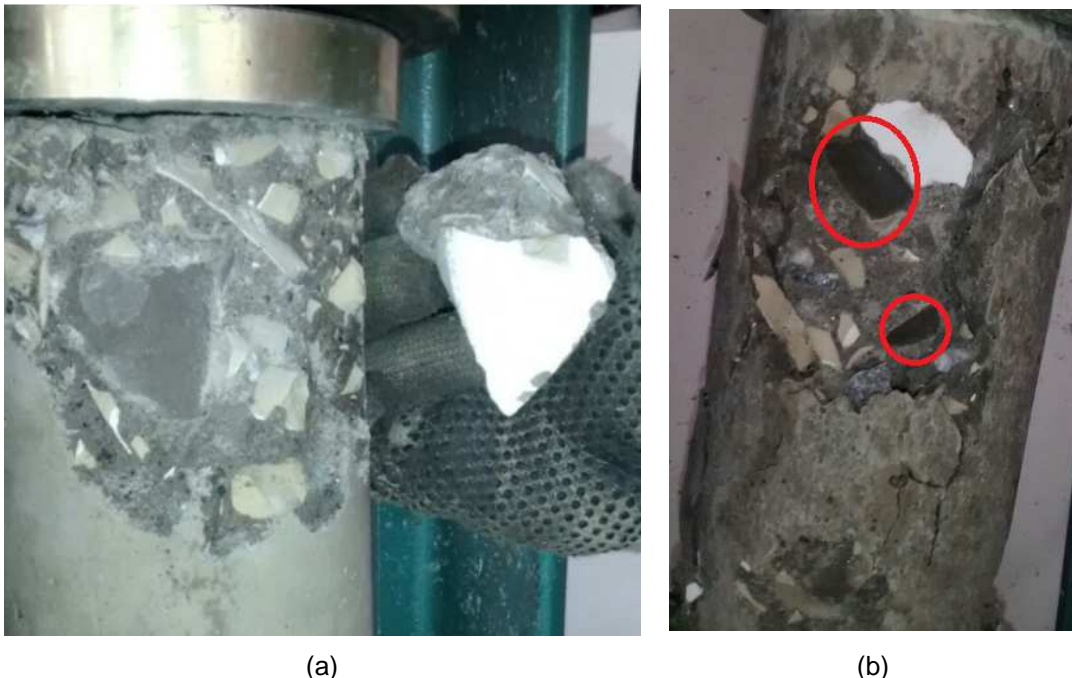


Figura 17 - Corpos de prova: (a) Ruptura do corpo de prova de concreto CSC-III na interface *scrap* cerâmico/ argamassa; (b) Detalhe do adensamento da argamassa na interface com o *scrap* cerâmico no corpo de prova de concreto CSC-II.

Fonte: Do autor.



Figura 18 - Corpos de prova: (a) Detalhe da ruptura do *scrap* cerâmico no corpo de prova de concreto CSC-II; (b) Fragmento de *scrap* cerâmico no corpo de prova de concreto CSC-I com 14 dias de cura.

Fonte: Do autor.

Os modos de ruptura podem ser explicados pelo fato do *scrap* cerâmico possuir a camada de esmalte, não permitindo aderência entre argamassa e resíduo. Apesar disso, os valores de coeficiente de variação apresentados por pelas formulações denotam pouca variabilidade dos resultados (exceção ao concreto CSC-I que apresentou coeficiente de variação igual a 16%) (Tabelas 10, 11 e 12).

Os concretos fabricados com *scrap* cerâmico apresentaram aumento da resistência à compressão conforme aumento do tempo de cura. Destaque para concreto CSC-IV (100% de *scrap* cerâmico em substituição à brita 1) que apresentou  $f_{cm}$  igual a 47,78 MPa, apenas 1,40% abaixo do valor obtido pelo concreto de referência (CR) (Figura 19).

Pela análise do desvio padrão obtido pelos corpos de prova, é possível destacar que a resistência à compressão média das formulações onde foram empregadas o *scrap* cerâmico, foram muito parecidas com o determinado pelo concreto de referência (Figura 19).

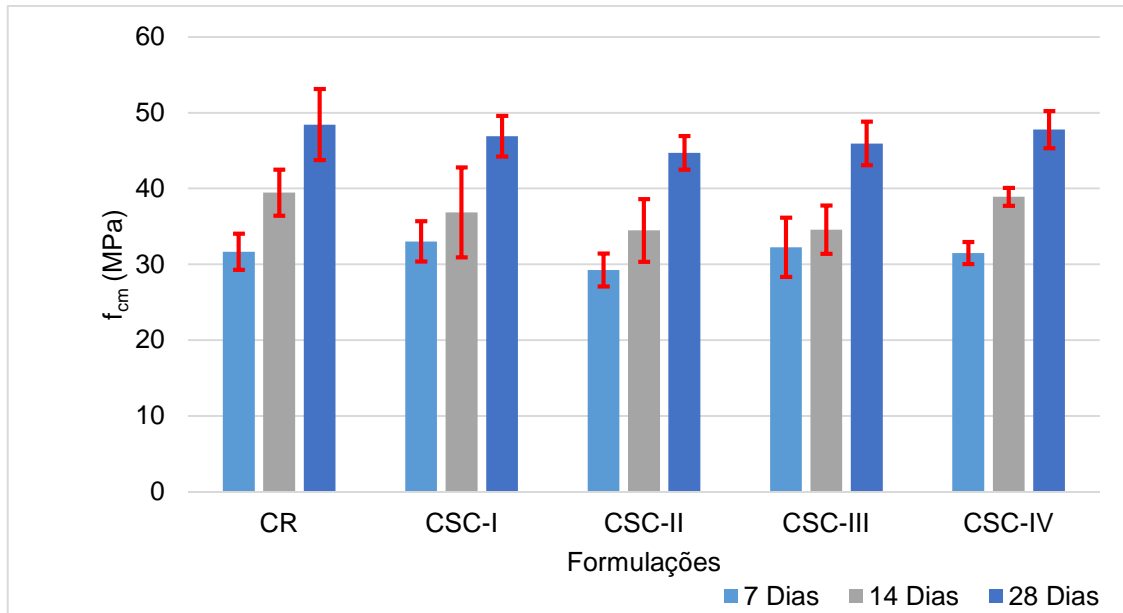


Figura 19 - Comparação entre valores médios de resistência à compressão entre diferentes formulações e dias de cura.

Fonte: Do autor.

Os valores médios de resistência à compressão obtidos neste trabalho são parecidos com os determinados pelas formulações propostas por Medina et al. (2012a) e Guerra et al. (2009). Estes autores encontraram para as formulações com resíduos de louça sanitária valores médios próximos (ou superiores) em comparação com o concreto de referência.

#### 4.4 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA E CLASSES DE CONSISTÊNCIA

A Figura 20 apresenta os valores médios e característicos de resistência à compressão para todas as formulações de concreto estudadas nesta pesquisa com 28 dias de cura. Os concretos CSC-I, CSC-II e CSC-IV foram enquadradas na classe de resistência Grupo I C40 e os concretos CR e CSC-III no Grupo I C35, de acordo com a norma ABNT NBR 8953:2015, desta maneira, de acordo com os valores de  $f_{ck}$ , os concretos com resíduos podem ser empregados em estruturas (Tabela 13). Entretanto, ressalva-se a importância da determinação de outras propriedades mecânicas para este material, tais como: módulo de elasticidade e módulo de ruptura na flexão estática, compressão diametral, durabilidade, entre outras determinações que sejam específicas para outras finalidades.

Tabela 13- Valores médios ( $f_{cm}$ ) e característicos ( $f_{ck}$ ) de resistência à compressão para concretos com 28 dias de cura.

Resistência	CR	CSC-I	CSC-II	CSC-III	CSC-IV
$f_{cm}$ (MPa)	48,44	46,89	44,72	45,94	47,78
$f_{ck}$ (MPa)	39	42	40	39	42

Fonte: Do autor.

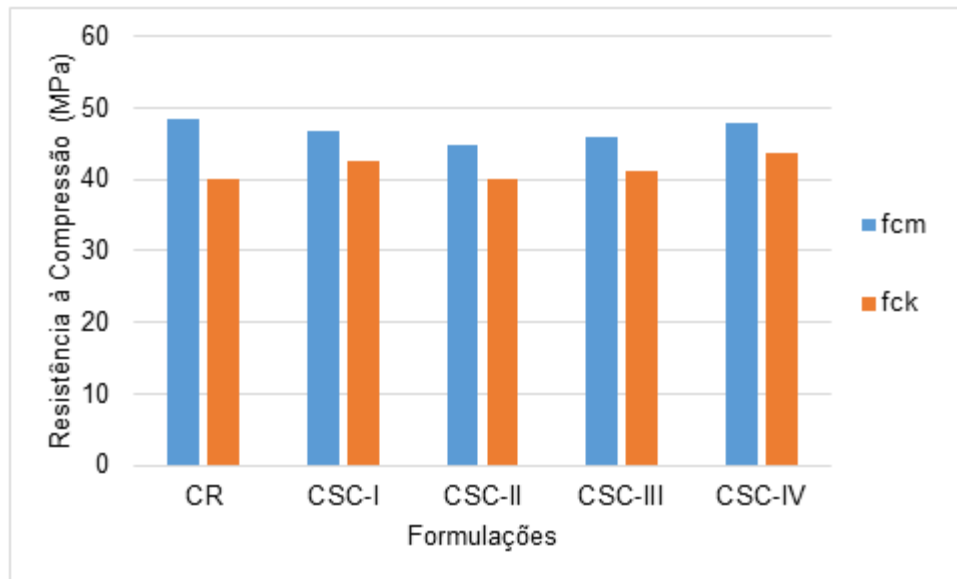


Figura 20 - Comparação entre valores médios e característicos dos concretos com 28 dias de cura.

Fonte: Do autor.

Em relação à consistência à partir do resultado do abatimento (*slump teste*), todas as formulações são enquadradas na classe S220 com abatimento maior ou igual a 220 mm, de acordo com a norma ABNT NBR 8953:2015. Segundo essa classificação, o concreto apresenta aplicação típica em elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras.

Vale lembrar que a utilização do concreto estrutural deve atender as recomendações da norma ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de Estruturas de Concreto: procedimento”. Esta norma apresenta os coeficientes de ponderação de resistência do concreto (entre eles a resistência à compressão característica), de ações na estrutura, de ponderação de resistência do aço (no caso de estruturas de concreto armado), classes de agressividade ambiental e qualidade do concreto.

#### 4.5 POROSIDADE DO CONCRETO

A Tabela 14 apresenta os valores de porosidade média ( $P_m$ ) determinados para o concreto de referência e para as demais formulações onde foram empregados o *scrap* cerâmico. A porosidade média do concreto CSC-I foi superior ao do concreto CR, porém, com menor coeficiente de variação. A maior porosidade do concreto CSC-II pode estar relacionada com o fato do *scrap* cerâmico possuir o esmalte no seu contorno e dificultar a aderência com a argamassa.

De acordo com Medina et al. (2012a) a interface resíduo de louça sanitária e argamassa é mais compacta e menos porosa em comparação com a interfase louça sanitária e agregado graúdo. Segundo os autores, explica a menor porosidade dos concretos com resíduos de louça sanitária sem diminuição dos valores de propriedades mecânicas.

Tabela 14- Porosidade média dos concretos (Dados em %).

<b>cp</b>	<b>CR</b>	<b>CSC-I</b>	<b>CSC-II</b>	<b>CSC-III</b>	<b>CSC-IV</b>
1	10,33	7,89	11,59	8,04	8,27
2	11,11	9,26	12,11	8,59	6,36
3	15,33	10,42	12,88	11,34	9,09
4	9,64	15,65	19,45	9,42	6,96
5	9,71	9,25	13,88	9,84	7,38
6	15,25	10,27	15,25	9,64	6,29
$P_m$ (%)	11,89	10,43	14,19	9,48	7,39
DP (%)	2,28	2,72	2,88	1,13	1,10
CV (%)	22,55	26,07	20,34	12,00	14,98

Fonte: Do autor.

## 5 CONCLUSÕES

Os concretos produzidos com *scrap* cerâmico apresentaram bons resultados quando comparados ao concreto de referência.

No estado fresco, duas formulações não apresentaram segregação (CSC-III e CSC-IV) e duas um pequeno escorrimento de água (CSC-I e CSC-II), porém, sem comprometer a trabalhabilidade do concreto.

Os valores de *slump* teste mostram a boa trabalhabilidade dos concretos com *scrap* cerâmico. O concreto CSC-IV, apresentou o melhor valor de abatimento (24,30 cm).

De acordo com os resultados do *slump* teste, todas as formulações de concreto foram enquadradas na classe de consistência S220, sendo possível aplicá-lo em elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras.

Em relação à resistência à compressão, todas as formulações estudadas apresentam aumento de resistência com o aumento do tempo de cura. Os valores médios apresentados foram muito bons, inclusive a formulação com 100% de *scrap* cerâmico (CSC-IV) ( $f_{cm} = 47,78$  MPa).

De acordo com os valores de  $f_{ck}$  com 28 dias de cura, as formulações de concreto estudadas nesta pesquisa ficaram entre as classes C35 (concretos CR e CSC-III) e C40 (CSC-I, CSC-II e CSC-IV).

A partir dos modos de ruptura dos corpos de prova foi possível observar que a disposição dos fragmentos de *scrap* cerâmico influencia a resistência do concreto. Corpos de prova que apresentam o fragmento na direção paralela à aplicação da força de compressão apresentam resistência à compressão inferior.

Outro aspecto importante observado nos modos de ruptura foi a pequena aderência entre o *scrap* cerâmico e a argamassa, devido ao esmalte no contorno do resíduo.

Quanto à porosidade dos concretos, aqueles com 25%, 75% e 100% de *scrap* cerâmico na sua composição, apresentaram valores médios inferiores ao concreto de referência.

É importante a condução de mais ensaios para determinação de outras propriedades físicas e mecânicas deste produto que, até agora, se mostrou promissor ambientalmente (pela utilização de resíduos na sua composição) e tecnologicamente (pela possibilidade de seu emprego em estruturas de concreto).



## 6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Diante das conclusões obtidas desta pesquisa, algumas sugestões para trabalhos futuros são descritas abaixo:

Realizar um melhor controle na distribuição granulométrica do *scrap* cerâmico de maneira que os fragmentos grandes sejam passados novamente pelo britador, sem encarecer o processo;

Para as formulações utilizadas nesta pesquisa, realizar ensaios para determinação de outras propriedades mecânicas de interesse, tais como: resistência à compressão diametral, módulo de elasticidade e módulo de ruptura na flexão estática; módulo de elasticidade na compressão.

Pensando na utilização do concreto estudado nesta pesquisa, realizar ensaios para verificação de sua durabilidade ao desgaste (simulando sua utilização em calçamentos ou lajotas) e ao intemperismo;

Realizar ensaios com técnicas microscópicas para compreender melhor a interface entre as matérias-primas utilizadas neste tipo de concreto;

Realizar pesquisas utilizando o *scrap* cerâmico com alterações na formulação do concreto, por exemplos: substituição em relação ao agregado miúdo, alterações na relação água/cimento e, também, formulações sem a utilização de superplastificantes;

Para a utilização do concreto estudado nesta pesquisa para fins estruturais, é necessário considerar as recomendações da norma ABNT NBR 6118:2014.

## REFERÊNCIAS

AHMADI, M. et al. Mechanical properties of the concrete containing recycled fibers and aggregates. **Construction and Building Materials**, v.144, p. 392-398, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.215

ANDERSON, D. J.; SMITH, S. T.; AU, F. T. K. Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v.117, p. 20-28, 2016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.153

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICAS (ABCERAM). **ABCERAM**. Cerâmica no Brasil: número do setor. Disponível em: <<http://abceram.org.br/numeros-do-setor/>>. Data de acesso: 20 abr. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **ABRELPE**. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_apresentacao.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm)>. Data de acesso: 20 abr. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 5738**. Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 8953**. Concretos para fins estruturais: classificação para massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 248**. Agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 5739**. Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12655**. Concreto: preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 10004**. Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 53**. Agregado graúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 33**. Concreto: amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 67**. Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSUNÇÃO, J. W. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados, confeccionados com materiais da região noroeste do Paraná.** 2002. 252 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

AWOYERA, P. O.; AKINMUSURU, J. O.; NDAMBUKI, J. M. Green concrete production with ceramic wastes and laterite. **Construction and Building Materials**, v.117, p. 29-36, 2016a. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.04.108

AWOYERA, P. O. et al. Characterization of ceramic waste aggregate concrete. **Housing and Building National Research Center**, *on-line*, p. 1-6, 2016b. DOI: 10.1016/j.hbrcj.2016.11.003

BARTOSZ, Z.; MACIEJ, S.; PAWEL, O. Ultra-high strength concrete made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes: the method of production and the interfacial transition zone. **Construction and Building Materials**, v.122, p. 736-742, 2016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.112

BOGGIO, A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland.** 2000. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 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. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 7 mar. 2017.

CAETANO, M. O.; SELBACH, J. B. O.; GOMES, L. P. Composição gravimétrica dos RCD para a etapa de acabamento em obras residenciais horizontais. **Ambiente Construído**, v.16, n.2, p. 51-67, 2016.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira.** Barueri: Manole, 2003.

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** 2005. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CARVALHO JUNIOR, R. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura.** 11 ed. São Paulo: Blucher, 2017.

CAVALCANTE, W. F. V. **Aproveitamento de resíduos cerâmicos da indústria de louça sanitária para produção de massas para revestimento cerâmico.** 2005. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

CAVALCANTI, D. J. H. **Contribuição ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais**. 2006. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

COLIANTE, J. G. R. et al. Caracterização de argamassas confeccionadas com resíduo de material cerâmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 53., 2011, Florianópolis, Santa Catarina. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2011. 1 CD-ROM.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **CONAMA**. Gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/\\_arquivos/36\\_09102008030504.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf)>. Data de acesso: 20 abr. 2017.

COSTA, J. S.; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. Caracterização da matriz de argamassas para alvenaria utilizando rejeitos das indústrias de cerâmica vermelha e de sanitários. **Cerâmica Industrial**, v.16, n.5-6, p. 25-29, 2011.

COSTA, J. S.; MARTINS, C. A.; BALDO, J. B. Argamassa de alvenaria usando agregado reciclado na indústria de piso cerâmico. **Cerâmica Industrial**, v.10, n.4, p. 28-31, 2005.

CRUZ, C. M. **Efeito da adição de sienito nas propriedades de concretos: estudo das equações de empacotamento e propriedades tecnológicas**. 2017. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2017.

EVANGELISTA, A. C. J. et al. Aplicação de resíduo cerâmico como adição mineral na produção de argamassas e concretos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 1., 2004, Florianópolis, Santa Catarina. **Anais...** Florianópolis, ICTR, 1 CD-ROM.

FROTTÉ, C. et al. Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. **Revista Matéria**, v.22, n.2, e11811, 2017.

FUSCO, P.B. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. São Paulo: Pini, 2008.

GALVÃO, J. C. A. **Estudo das propriedades dos concretos confeccionados com cimento CP V – ARI e CP II – F 32, sob diferentes temperaturas de mistura e métodos de cura**. 2003. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

GONÇALVES, M. S. **Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de concreto oriundos da pré-fabricação como agregado graúdo para a produção de novos concretos**. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

GONÇALVES, J. P. Utilização do resíduo da indústria cerâmica para produção de concretos. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 60, n.4, p. 639-644, 2007.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto. **Ambiente Construído**, v.2, n.1, p. 53-68, 2002.

GRILLO, R. H. F. **Estudos da influência de aditivos redutores de água em concretos da construção civil**. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

GUERRA, I. et al. Eco-efficient concretes: the effects of using recycled ceramic material from sanitary installations on the mechanical properties of concrete. **Waste Management**, v.29, p. 634-646, 2009. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.06.018

HALICKA, A.; OGRODNIK, P.; ZEGARDLO, B. Using ceramic sanitary ware waste as concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v.48, p. 295-305, 2013. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2013.06.063

HOOD, R. S. S. **Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

IZQUIERDO, I. S. **Utilização de pós residuais e fibra de sisal em blocos de concreto**. 2015. 244 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

KANNAN, D. M. et al. High performance concrete incorporating ceramic waste poder as large partial replacement of Portland cement. **Construction and Building Materials**, v.144, p. 35-41, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.115

LEITE, M. B. **Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 288 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.1, n.3, p. 405-418, 2008.

MARTINS, C. A. et al. Concretos não estruturais utilizando resíduos da indústria de louça sanitária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48., 2004, Curitiba, Paraná. **Anais...** Curitiba: ABCERAM, CD-ROM.

MEDINA, C. et al. Durability of recycled concrete made with recycled ceramic sanitary ware aggregate: inter-indicator relationships. **Construction and Building Materials**, v.105, p. 480-486, 2016. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.176

MEDINA, C.; ROJAS, M. I. S.; FRÍAS, M. Properties of recycled ceramic aggregate concretes: water resistance. **Cement and Concrete Composites**, v.40, p. 21-29, 2013. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2013.04.005

MEDINA, C.; FRÍAS, M.; ROJAS, M. I. S. Microstructure and properties of recycled concretes using ceramic sanitary ware industry waste as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v.31, p. 112-118, 2012a. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.075

MEDINA, C. et al. Gas permeability in concrete containing recycled ceramic sanitary ware aggregate. **Construction and Building Materials**, v.37, p. 597-605, 2012b. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.08.023

MEDINA, C.; ROJAS, M. I. S.; FRÍAS, M. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. **Cement and Concrete Composites**, v.34, p. 48-54, 2012c. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2011.08.015

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed., São Paulo: Ibracon, 2008.

MO, K. H.; ALENGARAM, U. J.; JUMAAT, M. Z. A review on the use of agriculture waste materials as lightweight aggregate for reinforced concrete structural members. **Advances in Materials Science and Engineering**, *on-line*, p. 147-157, 2014. DOI: 10.1155/2014/365197

MOHAMMADHOSSEINI, H.; AWAL, A. S. M. A.; YATIM, J. B. M. The impact resistance and mechanical properties of concrete reinforced with waste polypropilene carpet fibers. **Construction and Building Materials**, v.143, p. 147-157, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.109

MORALES, M. M. et al. Effect of recycled aggregate on physical-mechanical properties and durability of vibro-compacted dry-mixed concrete hollow blocks. **Construction and Building Materials**, v.145, p. 303-310, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.013

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997.

PAIXÃO, S. O. **Estudo do uso de resíduo cerâmico de obras como agregado miúdo para a fabricação de argamassas para revestimento de alvenarias**. 2013. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

PORTAL DO CONCRETO. **Tipos de cimento**. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/tiposcimento.html>>. Data de acesso: 01 ago. 2017.

PRAVIA, Z. M. C.; FABEANE, R.; FICANHA, R. **Projeto e cálculo de estruturas de aço: edifício industrial detalhado**. Rio de Janeiro: Campus, 2013.

REZENDE, M. F. et al. Substituição parcial do cimento *Portland* pela cinza de bagaço de cana-de-açúcar em habitações de interesse social. **Revista Agrogeoambiental**, v.9, n.1, p. 87-99, 2017. DOI: 10.18406/2316-1817v9n12017914

RIBEIRO, A. **Concreto permeável com agregados reciclados de resíduos de isoladores elétricos de porcelana**. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.

SILVA JUNIOR, J. E. S. et al. Argamassas obtidas a partir da reciclagem de louça sanitária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 15., 2002, Natal, Rio Grande do Norte. **Anais...** Natal: UFRN, 1 CD-ROM.

SILVA, M. B. L. **Novos materiais à base de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e Resíduos da Produção de Cal (RPC) para uso na construção civil**. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SILVA, R. H. L. **Incorporação de resíduo pós-sinterização da indústria de cerâmica hidrossanitária a sua própria formulação**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

SOUZA, L. M.; ASSIS, C. D.; SOUTO, S. B. G. Agregado reciclado: um novo material de construção. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital**, v.18, n.1, p. 273-278, 2014. DOI: 10.5902/2236117011297

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais**. 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência e tecnologia de materiais**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1984.

VASCONCELOS, A. C. **O concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos e fundações**. v. III. São Paulo: Studio Nobel, 2002.

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos**. 2005. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

VIEIRA, G. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. **Ambiente Construído**, v.4, n.4, p. 47-63, 2004.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto.** 1997. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

WANG, L. et al. An environmentally friendly method to improve the quality of recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, v.144, p. 432-441, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.03.191