

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
CAMPUS POÇOS DE CALDAS

EVANDRO CRIVELARI FIGUEIREDO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA
(SCRAP) COMO AGREGADO DE FORMATO HOMOGÊNEO EM VARIADAS
FORMULAÇÕES DE CONCRETO**

Poços de Caldas/MG
2020

EVANDRO CRIVELARI FIGUEIREDO

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA
(SCRAP) COMO AGREGADO DE FORMATO HOMOGÊNEO EM VARIADAS
FORMULAÇÕES DE CONCRETO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) *campus* Poços de Caldas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais. Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais. Orientadora: Prof^a. Dra. Carolina Del Roveri.

Poços de Caldas/MG

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca campus Poços de Caldas

Figueiredo, Evandro Crivelari.

F475a Avaliação do comportamento de resíduo de louça sanitária (Scrap) como agregado de formato homogêneo em variadas formulações de concreto / Evandro Crivelari Figueiredo. -- Poços de Caldas/MG, 2020. 55 f. –

Orientador(a): Carolina Del Roveri.
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas, 2020.
Bibliografia.

1. Concreto. 2. Resíduos sólidos. 3. Cimento Portland. 4. Material cerâmico. 5. Agregados (Materiais de construção). I. Del Roveri, Carolina. II. Título.

CDD – 620.11

EVANDRO CRIVELARI FIGUEIREDO

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE RESÍDUO DE LOUÇA SANITÁRIA (SCRAP) COMO AGREGADO DE FORMATO HOMOGÊNEO EM VARIADAS FORMULAÇÕES DE CONCRETO

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Desenvolvimento, caracterização e aplicação de materiais.

Aprovada em: 18 de dezembro de 2020

Profa. Dra. Carolina Del Roveri
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. José Gabriel Maluf Soler
Instituição: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Profa. Dra. Sylma Carvalho Maestrelli Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Sylma Carvalho Maestrelli, Professor do Magistério Superior**, em 18/12/2020, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carolina Del Roveri, Professor do Magistério Superior**, em 18/12/2020, às 16:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ GABRIEL MALUF SOLER, Usuário Externo**, em 18/12/2020, às 16:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 informando o código verificador **0426262** e o código CRC **FCF73752**.

Dedico esta dissertação primeiramente a Deus por me dar a sabedoria e discernimento e a minha amada Família fonte de acalento e alicerce principal de minha vida, minha mãe Regina, minhas irmãs Renata e Fernanda e minha parceira de todas as horas Amanda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus por todas as bênçãos derramadas a mim nesta trajetória, agradeço a minha orientadora Professora Dr^a Carolina Del Roveri, pela paciência e conhecimento transmitido, pela paciência, pela compreensão, pela amizade e responsabilidade que sempre teve para comigo.

Agradeço a todo colegiado do programa pelo apoio e parceria, em especial a Professora Dr^a Sylma Carvalho Maestrelli, que tive o privilégio de conhecer e poder apreciar do conhecimento que possui, agradeço também ao amigo e mentor Professor Dr^o José Gabriel Maluf Soler, que esteve comigo me apoiando desde a graduação até a data de hoje.

Agradeço a equipe da UNIFAL *campus* Poços de Caldas e a equipe da PUC Minas *campus* Poços de Caldas, pela oportunidade de experimentação e confecção prática deste trabalho.

Agradeço a minha família e amigos que jamais deixaram de me apoiar e me incentivar nesta trajetória e que hoje me deixa repleto de orgulho tê-los ao meu lado compartilhando desta conquista tão importante em minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

RESUMO

Muitos resíduos oriundos da fabricação de louças sanitárias são descartados todos os anos. Sendo assim, um plano de reutilização melhoraria os custos no processo, além de ser uma ação ambiental muito positiva. Como principal material na construção civil, tanto nos dias de hoje quanto no passado, o concreto só fica atrás do volume de água usado, justificando assim a importância de estudar e compreender suas funções físicas, químicas e mecânicas quando agregado a outros tipos de materiais. Na atualidade, é sabido que o concreto é utilizado desde pequenos reparos como vedações, até grandes elementos estruturais como estacas, fundações, vigas, pilares e lajes. Visando uma melhor performance da utilização do concreto, hoje composto na sua base por água, agregados miúdos e graúdos e o denominado cimento *Portland* é que este estudo se baseou. De maneira geral, esta pesquisa tem por objetivo utilizar o chamado *Scrap* cerâmico - resíduo de louças sanitárias provenientes de danos na produção ou até mesmo sobras e recorte de peças - como agregado graúdo na composição do concreto, em uma mistura com granulometria homogênea, uma vez que se torna um grande problema uma geometria não linear dos grãos de agregado, e posteriormente verificar sua resistência mecânica a compressão das formulações. A pesquisa abordou uma avaliação metodológica quantitativa, juntamente com seus respectivos procedimentos, desde a confecção das composições, passando pela elaboração dos corpos de prova, imersão em tanques de água para atingir maior resistência a compressão, teste de umidade das amostras, análises físicas dos corpos de prova e dos materiais, ensaio de abatimento do concreto e teste de resistência a compressão com o uso de equipamentos específicos. Ao final se classificou as amostras baseadas em suas composições de *Scrap* variando o percentual de cada uma, sendo o CP-25 (25% *Scrap*), CP-50 (50% *Scrap*), CP-75 (75% *Scrap*) e CP-100 (100% *Scrap*) bem como uma composição de referência denominada CR, obtendo valores de resistência à compressão que se mostraram excelentes e dentro dos padrões normativos, um destaque para as composições CP-50 e CP-75 obtendo um $f_{c,m}$ de 40,11 e 41,83 MPa respectivamente. As formulações de concreto com resíduos foram classificadas como C30 e C40, de acordo com os valores de f_{ck} , sendo possível serem utilizados em estruturas. Os valores das outras composições CR, CP-25 e CP-100 também tiveram bons resultados de $f_{c,m}$ de 37,94, 34,38 e 36,29 MPa respectivamente.

Palavras-chave: Concreto. Resíduo. Formulação. Cimento. Material Cerâmico. Agregado graúdo.

ABSTRACT

Many residues originate from sanitary ware manufacturing are disposable every year. Therefore, a reuse plan would optimize the process costs, in addition being a very positive environmental action. As the main material in civil construction, currently and in the past, concrete is only behind water volume applied, so, this justifies the importance of studying and understanding the physical, chemical and mechanical functions when bounded with other types of materials in the composition. Nowadays, it is known that concrete is used since small repairs as fences, to large structural elements such as piles, shallow foundations, beams, pillars and slabs. Seeking a better performance using concrete, today composed mainly with water, small and large aggregates and the 'Portland' cement, this study was based on. In general, this research aims to use the Ceramic Scrap - waste from sanitary ware generates from damage in production, leftovers and cutting pieces - as a coarse aggregate in the concrete composition, in a homogeneous granulometry, since the nonlinear geometry of aggregate grains becomes a big problem, and then compare compression mechanical resistance in the formulations. The research will address a quantitative methodological evaluation, with the respective procedures, starting with compositions creation, passing by sample preparation, deeping it in water tanks to achieve bigger compression resistance, testing the samples moisture, analyzing the physical properties, performing the concrete slump test and the compression mechanical resistance test using appropriate equipment. At the end, it will be possible to conclude the good workability of *Scrap* as a coarse aggregate in the compositions of the various concretes analyzed, obtaining satisfactory compression mechanical resistance values, respecting the normative parameters. At the end, the samples were classified based on scrap percentage in the compositions: CP-25 (25% Scrap), CP-50 (50% Scrap), CP-75 (75% Scrap) and CP- 100 (100% Scrap) as well a reference composition called CR. The compression mechanical resistance values found were excellent and totally aligned to Brazilian normative standards, specially the compositions CP-50 and CP-75 with a $f_{c,m}$ of 40,11 and 41,83 MPa respectively. Concrete formulations with scraps were classified as C30 and C40, according to the values of f_{ck} , being possible to be used in structures. The values of the other compositions CR, CP-25 and CP-100 also had good results of $f_{c,m}$ of 37,94, 34,38 and 36,29 MPa respectively.

Key words: Concrete. Waste. Formulation. Cement. Ceramic Material. Grand Aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das etapas para o desenvolvimento dos ensaios.....	27
Figura 2 - Britador PAVITEST	28
Figura 3 - Scrap na composição original, em cacos de variados tamanhos e formatos	29
Figura 4 - Scrap após a britagem obtendo a homogeneidade esperada.....	29
Figura 5 – Etapas das atividades práticas.....	32
Figura 6 - Fluxograma da composição do concreto	32
Figura 7 – Execução do teste de SLUMP	34
Figura 8 – Confecção dos corpos de prova.....	35
Figura 9 – Regularização das seções transversais dos corpos de prova.....	36
Figura 10 - Prensa utilizada para os ensaios de compressão.....	37
Figura 11 - Distribuição granulométrica do Scrap Cerâmico	38
Figura 12 - Dispersão da distribuição granulométrica do Scrap Cerâmico.....	39
Figura 13 - (A) Concreto fresco CR; (B) Concreto fresco CP-50.....	40
Figura 14 - (A) Slump Test CP-25; (B) Slump Test CR	41
Figura 15 - Comparação entre valores médios de resistência à compressão entre diferentes formulações e dias de cura.....	44
Figura 16 – Corpos de prova com seção transversal regularizada	45
Figura 17 - Corpo de prova após rompimento com 28 dias CP-75	46
Figura 18 - Lote CP-50 descartado, muito poroso e pouco adensado	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição dos cimentos Portland comuns e compostos	18
Tabela 2 - Tabela de porcentagem de massa retida acumulada de agregados da NBR-7211/2009	20
Tabela 3 - Nomenclaturas utilizadas para formulação das composições	30
Tabela 4 - Composição das formulações dos concretos em massa	31
Tabela 5 - Composição das formulações dos concretos em volume	31
Tabela 6 - Cronograma executivo	35
Tabela 7 - Características granulométrica da amostra 1	39
Tabela 8 - Características granulométrica da amostra 2	39
Tabela 9 - Slump teste das formulações de concreto.	41
Tabela 10 - Resistência à compressão (FC) dos concretos com 3 dias de cura (Dados em MPa).....	42
Tabela 11 - Resistência à compressão (FC) dos concretos com 7 dias de cura (Dados em MPa).....	42
Tabela 12 - Resistência à compressão (FC) dos concretos com 28 dias de cura (Dados em MPa).....	43
Tabela 13 - Valores de resistência a compressão do CP-50 descartado.....	47
Tabela 14 - Classes de resistência de concretos estruturais	48
Tabela 15 - Classes de consistência de concreto	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Água
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C30	Classe de resistência do concreto com $f_{c,k}$ entre 30 MPa e 35 MPa
C35	Classe de resistência do concreto com $f_{c,k}$ entre 35 MPa e 40 MPa
C40	Classe de resistência do concreto com $f_{c,k}$ entre 40 MPa e 45 MPa
Cm	Centímetro
Cm³	Centímetro cúbico
CP	Cimento portland
CP	Corpo de prova
CP II	Cimento Portland Composto
CP II E	Cimento Portland Composto de Alto-Forno (6% a 34% de Escória)
CP II E 32	Cimento Portland Composto(6% a 34% de Escória)
CP II F	Cimento Portland Composto com Fíler
CP II Z	Cimento Portland Composto com Pozolana (6% a 14% de Argila)
CP III	Cimento Portland de Alto-Forno (35% a 70% de Escória)
CP IV	Cimento Portland com Pozolânico (15% a 50% de Argila)
CP V	Cimento Portland com Alta Resistência Inicial
CP-100	Concreto com 100% de Scrap cerâmico em substituição à brita 0
CP-25	Concreto com 25% de Scrap cerâmico em substituição à brita 0
CP-50	Concreto com 50% de Scrap cerâmico em substituição à brita 0
CP-50	Concreto descartado
CP-75	Concreto com 75% de Scrap cerâmico em substituição à brita 0
CR	Concreto de Referência (0% de Scrap cerâmico)
CV	Coeficiente de Variação
DP	Desvio Padrão
$f_{c, m}$	Resistência característica média do concreto
f_{ck}	Resistência característica à compressão do concreto
g	Gramas
kg	Quilograma
LTDA	Limitada
MG	Minas Gerais
mm	Milímetros
MPa	Megapascal

NBR	Norma Brasileira Registrada
NM	Norma Mercosul
°C	Graus Celsius
PPGCEM	Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais
PUC-MG	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
S10	Classe de consistência do concreto com abatimento entre 10 mm e 50 mm
S100	Classe de consistência do concreto com abatimento entre 100 mm e 160 mm
S160	Classe de consistência do concreto com abatimento entre 160 mm e 220 mm
S220	Classe de consistência do concreto com abatimento superior a 220 mm
S50	Classe de consistência do concreto com abatimento entre 50 mm e 100 mm
Scrap	Resíduo de louça sanitária
TOGNI	Togni S/A Materiais Refratários
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
3	JUSTIFICATIVAS	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1	CONCRETO E SUAS COMPOSIÇÕES	16
4.1.1	Aglomerantes	17
4.1.1.1	<i>Cimentos Portland Comuns e Compostos</i>	18
4.1.2	Água	18
4.1.3	Agregados	19
4.2	RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	21
4.2.1	Resíduos sólidos como agregados graúdos em concreto	23
4.2.2	Resíduos de louça sanitária como agregados em concretos	24
5	MATERIAIS E MÉTODOS	26
5.1	MATERIAIS	26
5.2	MÉTODOS	27
5.2.1	Composição e proporção de agregado graúdo	27
5.2.2	Homogeneização do Scrap cerâmico	28
5.2.3	Massa específica e massa específica aparente	30
5.2.4	Formulações do concreto de referência e com Scrap cerâmico	30
5.2.5	Produção do concreto em laboratório	32
5.2.6	Determinação do abatimento do concreto	33
5.2.7	Elaboração dos corpos de prova para ensaio de compressão	34
5.2.8	Determinação da resistência à compressão	36
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
6.1	RESULTADOS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA	38
6.2	MASSA ESPECÍFICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE	40

6.3	CONCRETO NO ESTADO FRESCO	40
6.4	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO	42
6.5	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA E CLASSES DE CONSISTÊNCIA	48
7	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

O concreto dentro da construção civil é um dos principais materiais utilizados e possui uma vasta gama de possibilidades em suas diversas composições. No que se refere a trabalhabilidade, o concreto possui comportamento similar a outros materiais, cita-se aqui o aço por exemplo, que possuem coeficientes de dilatação térmica muito próximo ao do concreto, tornando viável a utilização de elementos mistos devido a boa aderência que se obtém.

Das possibilidades de diversificação na utilização de matérias-primas e nas composições de concreto, cita-se os resíduos que podem ser adicionados nas formulações. Uma possibilidade de uso de resíduos está relacionada aos materiais provenientes do processo produtivo de indústrias que fabricam cerâmicas (pisos, revestimentos, porcelanatos, louças sanitárias etc.).

Pesquisas com estes tipos de resíduos são importantes, pois, além da reciclagem, sua utilização no concreto pode permitir economia de outras matérias-primas utilizadas na formulação do concreto (BARTOSZ et al., 2016; HALICKA, et al., 2013; MEDINA et al., 2012a; GUERRA et al., 2009; GONÇALVES, 2007).

Diante do exposto, o presente estudo buscou-se, preparar e classificar o Scrap cerâmico, de maneira a conseguir homogeneizar as partículas, utilizando como agregado graúdo. A finalidade foi obter resistência mecânica a compressão dentro dos padrões normativos de um concreto com brita.

2 OBJETIVOS

Tendo em mente que é de grande importância a uniformidade do grão do agregado graúdo na composição de uma formulação de concreto, esta pesquisa visou obter uma homogeneização efetiva e linear mitigando assim a interferência negativa do Scrap cerâmico quanto às dimensões, na composição de concretos.

Assim, esta pesquisa teve como objetivo comparar valores de formulações e composições de concreto comumente encontrado no mercado, nos trabalhos de Rodolfo Henrique Freitas Grillo (2014) e Diego Henrique de Almeida (2017) com as desenvolvidas nesta pesquisa

É de suma importância elaborar uma estratégia para garantir uma homogeneização do Scrap cerâmico de maneira que se possa considerá-lo e enquadrá-lo, na mesma categoria dos agregados comuns, tendo em vista que a não uniformidade dos grãos poderá apresentar resultados distorcidos e pouco eficientes, daí a importância da busca de uma linearidade na geometria dos elementos de Scrap cerâmico.

3 JUSTIFICATIVAS

Ressalta-se que os resíduos que se obtém hoje da produção de louças sanitárias podem reduzir consideravelmente os custos na produção de concreto. Estes resíduos, hoje descartados, podem ter uma adequada destinação em outros seguimentos da economia, onde sua incorporação em outros materiais auxiliará na diminuição do impacto ambiental, uma vez que este tipo de reutilização atende a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e acompanhará uma tendência mundial de economia circular.

Segundo informações dadas pelo Setor de Pesquisa e Desenvolvimento da Lorenzetti Materiais Sanitários S/A , empresa localizada em Poços de Caldas – MG, a quantidade de Scrap (resíduo cerâmico) descartado todo mês em média é de 200 ton./mês.

Diante do exposto, esta pesquisa visa agregar informação e incentivar a utilização mais intensa e, até mesmo em escala industrial, do Scrap cerâmico na construção civil, otimizando assim, os custos e contribuindo com o meio ambiente. A ideia é demonstrar, através de uma análise quantitativa, que pode ser ter opções alternativas à utilização da brita como agregado graúdo em formulações de concreto.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CONCRETO E SUAS COMPOSIÇÕES

De acordo com Adão e Hemerly (2002), o concreto como se conhece tem sua definição como sendo uma mistura simples de cimento, agregados (miúdo e graúdo), água e aditivos. O cimento, por sua vez, é denominado aglomerante, pois possui uma propriedade de ser ligante, ou seja, permite que a areia e pedra, chamados de agregados, formem uma mistura que se liga com alguma homogeneidade, que após seca, torna-se sólida.

Na mesma linha de raciocínio, Leonhardt e Monnig (1977) trazem a concepção de que o concreto, mais do que ser constituído de aglomerante e agregados, é após o aglutinamento, uma rocha artificial. Ressalta ainda que além de água, elemento ao qual se faz a necessidade, podem ser acrescentados aditivos que influenciam as características físicas e químicas do concreto fresco ou endurecido.

Leonhardt e Monnig (1977) caracterizam concreto fresco como sendo o moldável em formas, e adensado com vibradores. O endurecimento do concreto começa após poucas horas e, de acordo com o tipo de cimento, atinge aos 28 dias cerca de 60 a 90% de resistência mecânica.

“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, é possível obter as propriedades requeridas ao concreto” (ALMEIDA, 2017, p. 35).

Ao se conceituar fundamentalmente o concreto e suas composições, Carvalho e Figueiredo Filho (2014) relatam em seu estudo os tipos de associações que existem além do concreto, tais como a pasta que tem em sua composição apenas o cimento e a água, a argamassa que compõe da pasta e os agregados miúdos e, além do concreto descrito de várias óticas diferentes anteriormente, tem-se o microconcreto, que nada mais é que um concreto em que o agregado graúdo tem dimensões reduzidas, e por fim, o concreto de alto desempenho, que em geral, possui resistência a compressão acima de 50 MPa.

4.1.1 Aglomerantes

O cimento ou aglomerante é obtido aquecendo-se calcário e argila até a sinterização ou como conhecido, “clínquer de cimento”. Após esta etapa mói-se a mistura até obter-se um produto de textura fina. Os cimentos, como aglomerantes hidráulicos determinam, inicialmente, as características do concreto (LEONHARDT, MONNIG, 1977).

Segundo a ABCP (2002), existem no Brasil vários tipos de cimentos Portland, diferentes entre si, principalmente em função de sua composição.

Os principais tipos oferecidos no mercado, ou seja, os mais empregados nas diversas obras de construção civil são:

- Cimento Portland comum;
- Cimento Portland composto;
- Cimento Portland de alto-forno;
- Cimento Portland pozolânico.

Em menor escala são consumidos, seja pela menor oferta, seja pelas características especiais de aplicação os seguintes tipos de cimento:

- Cimento Portland de alta resistência inicial;
- Cimento Portland resistente aos sulfatos;
- Cimento Portland branco;
- Cimento Portland de baixo calor de hidratação;
- Cimento para poços petrolíferos.

Em se tratando de atualidade de aglomerantes, outros tantos tipos e composições são lançados e estudados constantemente, assim sendo a lista poderia muito bem possuir uma maior extensão, porém, a pesquisa em questão abrange e utiliza apenas o cimento Portland comum e composto.

4.1.1.1 Cimentos Portland Comuns e Compostos

Dado que esta pesquisa tem por foco estudar o comportamento de cimento Portland comum alterando os agregados que o compõe, vale a ressalva de se exemplificar e apresentar uma definição apenas do mesmo.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), o primeiro cimento Portland lançado no mercado brasileiro foi o conhecido CP, correspondendo atualmente ao CP-I, um tipo de cimento Portland comum sem quaisquer adições além do gesso (utilizado como retardador da pega). Ele acabou sendo considerado na maioria das aplicações usuais como termo de referência para comparação com as características e propriedades dos tipos de cimento que surgiram posteriormente.

A tabela 1 apresenta a composição dos cimentos Portland comuns e compostos.

Tabela 1 - Composição dos cimentos Portland comuns e compostos

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (%em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CP I-S	99-95		01-5		
Composto	CP II-E	94-56	6-34		0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-		6-10	

Fonte: Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (2002)

4.1.2 Água

A razão entre a quantidade de água acrescida e a quantidade de cimento utilizada na produção do concreto é muito importante para determinar a sua resistência final. Moraes e Lopes (2010) destacam que quem primeiro reconheceu essa relação de dependência foi Abrams, em trabalho publicado em 1919.

Baseando-se em pesquisas de laboratório, Abrams demonstrou que a resistência do concreto dependia das propriedades da pasta endurecida, as quais eram função do fator água/cimento da mistura.

Segundo Yazigi (2007) a água faz com que a mistura fique em condições de trabalho, ajuda no deslocamento, fixação e adensamento e reage quimicamente com o cimento. O excesso de água permanece na argamassa até se evaporar, deixando canais capilares e pequenas bolhas no produto. Quanto mais água existir, maior será o número de vazios e tendência de uma mistura menos resistente.

4.1.3 Agregados

Os agregados são relativamente baratos e não entram em complexas reações químicas com a água. Por isso, têm sido comumente tratados como material de preenchimento inerte do concreto. No entanto, devido a uma melhor compreensão do papel desempenhado pelos agregados na determinação de muitas propriedades importantes do concreto, a visão tradicional do agregado como um material inerte vem sendo seriamente questionada (METHA, 2008).

Metha e Monteiro (2008) ainda trazem uma reflexão sobre a importância dos agregados, relatando que ao contrário do cimento e apesar de ocupar de 60 a 80% do volume do concreto, o agregado costuma ser visto como um material de preenchimento inerte e devido a isto não se dá grande importância aos seus possíveis efeitos sobre as propriedades do concreto, sendo que o agregado pode de fato, exercer grande influência sobre a resistência, a estabilidade dimensional, a durabilidade do concreto e ao custo da trabalhabilidade das misturas, por assim então temos que os agregados são tão importantes para a mistura quanto os aglomerantes.

De acordo com Van Vlack (1984), as categorias dos agregados são divididas em miúda e graúda; tal parâmetro e caracterização só é possível de se classificar através de uma análise granulométrica.

Sendo assim os materiais agregados classificados como miúdos são aqueles que possuem granulometria inferior a 4,75 mm quando passado por peneiramento. Os agregados graúdos possuem granulometria superior a 4,75 mm (FUSCO, 2008).

Como dito anteriormente, a matriz do concreto é formada pela pasta composta de 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 (VAN VLACK, 1984; FUSCO, 2008).

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 - Tabela de porcentagem de massa retida acumulada de agregados da NBR-7211/2009

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D^a				
	4.75/12.5	9.5/25	19/31.5	25/50	37.5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	87 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25 ^b	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15 ^b	65 ^b - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 ^b - 65 ^b	92 - 100	-	-
9,5 mm	2 - 15 ^b	80 ^b - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	40 ^b - 65 ^b	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

^a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo

^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: Adaptado da NBR-7211/2009

4.2 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

O termo resíduo deriva do latim “reliqua” significa resto. Os resíduos sólidos, uma das formas da poluição industrial, representam, quase sempre, perdas de matérias primas e insumos (JACOMINO et al., 2002). No entanto, a geração de resíduos sólidos na atividade industrial não se restringe às etapas do processo produtivo, nas quais ocorrem descartes de subprodutos. Nessas atividades, os sistemas de tratamento de águas residuárias e emissões atmosféricas são importantes geradores de resíduos sólidos (OLIVEIRA, 2005).

A destinação, tratamento e disposição final de resíduos sólidos devem seguir a Norma NBR 10.004 (ABNT, 2004a), que classifica os resíduos quanto à sua periculosidade para o ambiente e a saúde pública. Para a aplicação desta norma é necessário consultar as “Normas Complementares”, das quais fazem parte a lixiviação (ABNT, 2004b), a solubilização (ABNT, 2004c) e a amostragem de resíduos (ABNT, 2004d).

Os resíduos podem ser classificados em perigosos (classe I) e não perigosos (classe II), sendo estes subdivididos em não-inertes (classe IIA) e inertes (classes IIB). Os resíduos perigosos são aqueles que apresentam periculosidade ou uma das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Os resíduos não-inertes são aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos perigosos nem na de inertes, nos termos da referida norma. Os resíduos não-inertes podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao País no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. Segundo a referida Lei, em seu Art. 13. Para os efeitos desta Lei, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação: I - quanto à origem: [...] f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;

A PNRS foi um marco no setor por tratar de todos os resíduos sólidos (materiais que podem ser reciclados ou reaproveitados), sejam eles domésticos, industriais, eletroeletrônicos, entre outros; e também por tratar a respeito de rejeitos (itens que

não podem ser reaproveitados), incentivando o descarte correto de forma compartilhada.

Os resíduos industriais devem ser tratados isolando o componente que apresente uma das características acima descritas, e quanto à disposição final, devem ser isolados com segurança do ambiente, em aterros específicos para esse tipo de resíduo, ou encaminhados para reuso ou reciclagem. Outras formas de tratamento e destinação final de resíduos industriais incluem o coprocessamento, a incineração, a estabilização e solidificação e, no caso de resíduos não perigosos, a fertilização ou landfarming (FEEMA, 2000).

Os impactos causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos podem resultar na contaminação das águas, do ar ou do solo. A contaminação do solo pode ocorrer quando a disposição final de resíduos é feita de maneira inadequada, possibilitando que poluentes afetem o ambiente quando arrastados com água, lixiviados ou solubilizados (ZULAUF, 1977).

Duas alternativas, não excludentes, podem ser consideradas quando se busca a redução dos custos de deposição e tratamento de resíduos: a redução do volume de resíduos produzidos e a reciclagem dos resíduos (JOHN,1997). A redução do volume de resíduos produzidos apresenta, sempre, limites técnicos difíceis de ultrapassar em uma determinada base tecnológica. A reciclagem ou reutilização dos resíduos não apresenta, a priori, nenhum limite desta natureza e é a única maneira de tratá-los que pode gerar recursos financeiros (JOHN, 1997). Além disso, a reciclagem é uma necessidade para a preservação do ambiente, não apenas pelo risco de contaminação ambiental representado pelos resíduos, mas também pela possibilidade de reduzir o consumo de energia e recursos naturais não-renováveis, viabilizando o desenvolvimento sustentável.

Nesse cenário, o setor da indústria da construção civil entra como grande consumidor de materiais, sendo responsável pelo consumo de 15 a 50% dos recursos naturais extraídos (JOHN, 2000).

Assim, o processo de incorporação de resíduos sólidos industriais em produtos da construção civil apresenta-se como uma realidade aplicável, necessária, viável e econômica, pois contribui de forma direta para a diminuição de recursos naturais não renováveis da natureza, utilizando a reciclagem e aumentando a perspectiva de vida não só das pessoas, mas também do planeta.

4.2.1 Resíduos sólidos como agregados graúdos em concreto

Vários são os estudos existentes no campo da construção civil, quando se trata de utilização de outros elementos como agregados graúdos.

Leite (2001) estudou a avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Baseado nas informações do estudo da 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.

Ainda no estudo de utilização de resíduos de construção, Vieira e Dal Molin (2004) apresentaram a viabilidade técnica e econômica da utilização destes resíduos reciclados em concreto. De acordo com 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.

A substituição do cimento por resíduos pulverulentos na indústria de cerâmica vermelha, na fabricação de concretos, nas proporções de 20% e 40% em massa, foi estudada por Vieira (2005) e de acordo com este estudo da autora, a resistência à compressão diminuiu em relação ao concreto de referência, porém, mesmo com a formulação com 40% de resíduo cerâmico, ainda retiveram 89% da resistência à compressão, o que se mostrou muito eficiente.

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

Martín-Morales et al. (2017) estudaram o efeito da utilização de agregados miúdos e graúdos reciclados na fabricação de blocos ocios de concreto utilizados na civil. Este estudo pesquisou cinco diferentes formulações utilizando os resíduos e os resultados das propriedades físicas e mecânicas e foram comparados com o padrão desenvolvido de acordo com os fabricantes, ainda de acordo com os autores, a

utilização destes resíduos, não comprometeu os resultados, atendendo assim 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.

4.2.2 Resíduos de louça sanitária como agregados em concretos

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 através de queima à temperatura entre 1200 °C e 1350 °C, a qual pode conter como características a absorção nula de água e elevada resistência mecânica (CAVALCANTE, 2005).

Almeida (2017) relata a importância de se ter um estudo de reuso de louças sanitárias, e propõe um estudo objetivando uma equalização das resistências física e mecânica de um concreto composto por louça sanitária como agregado graúdo, comparando-se as diversas composições da utilização de brita.

Os resíduos provenientes das indústrias produtoras de louças sanitárias geralmente consistem em sobras e recortes 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, 2016), 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.

Complementando como citado na justificativa, hoje, segundo a empresa Lorenzetti S.A., a quantidade de Scrap gerada por mês é de 200 toneladas, em média.

Silva Junior et al. (2002) desenvolveram argamassa reciclando resíduos de louça sanitária. A argamassa produzida apresentava proporção volumétrica de 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.

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 volume 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 apresentaram maior compactação e estabilidade em relação à interface argamassa e agregado graúdo.

Medina et al. (2012b) determinaram a correlação linear entre a porcentagem de utilização de resíduos de louça sanitária e o teste de abatimento (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 através do conteúdo de resíduo de louça sanitária apresentou coeficiente de determinação igual a 91,43%.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A conformação dos corpos de prova e ensaios de estado fresco foi realizada no laboratório de Matérias da Construção Civil da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG).

Os ensaios de resistência a compressão desta pesquisa foram realizados em parceria com a empresa ETAPA Ltda, na cidade de Poços de Caldas, MG.

5.1 MATERIAIS

As matérias-primas utilizadas nesta pesquisa, para fabricação do concreto de referência e dos concretos com Scrap cerâmico, são apresentadas abaixo.

A seleção dos materiais foi realizada de modo a ser obter um concreto padrão utilizado na construção civil cuja formulação foi desenvolvida por Grillo (2014).

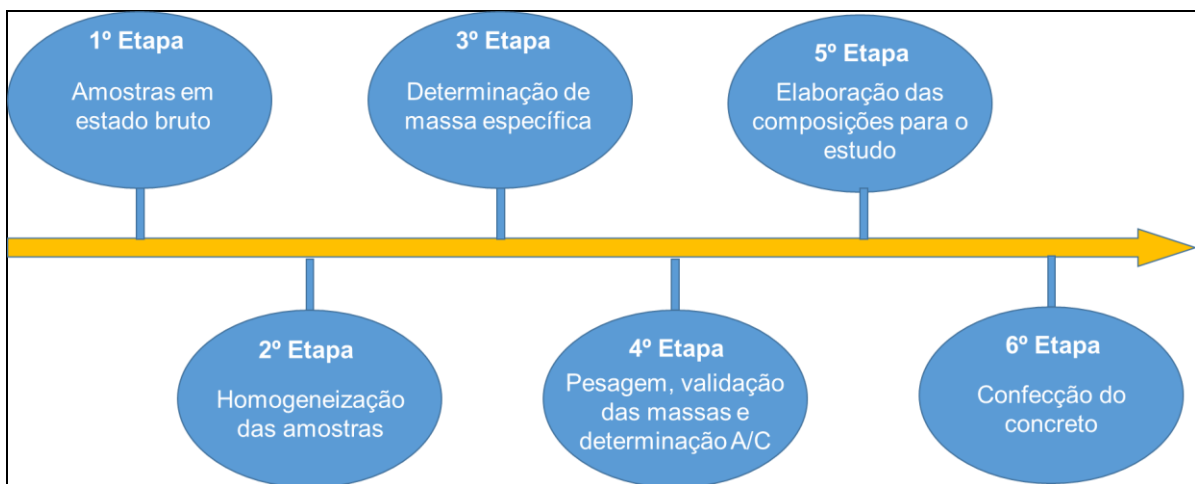
- Cimento Portland tipo CP II E 32, aglomerante mais comum em canteiros de obras e mais comumente localizado no mercado.
- Areia grossa da região do município de Poços de Caldas, Minas Gerais;
- Brita 0 ou pedrisco comercial (com dimensões entre 4,8 mm a 9,5 mm), como agregado graúdo, da região do município de Poços de Caldas, Minas Gerais com característica mineral sendo um granito/gnaiss
- Água da rede pública obtida no laboratório;
- Scrap cerâmico oriundo de resíduos de louças sanitárias obtidas de indústria fabricante do município de Poços de Caldas/MG, Lorenzetti S.A..

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Composição e proporção de agregado graúdo

Para esta pesquisa foi necessário elaborar um composição padrão analisando algumas utilizadas comercialmente e teoricamente, obtendo assim uma composição para os ensaios na proporção 1:1,2:1,5 em massa e 1:2:3 em volume, sendo 1 unidade de massa para cimento para 1,2 de agregado miúdo e 1,5 de agregado graúdo e por fim foi-se variando as proporções de agregado graúdo entre a brita 0 e o Scrap cerâmico. A proporção de água foi determinada pelo fator água/cimento ou água/aglomerante para esta pesquisa usou-se 0,42.

Figura 1 - Fluxograma das etapas para o desenvolvimento dos ensaios



Fonte: do autor

5.2.2 Homogeneização do Scrap cerâmico

Para uma melhor distribuição e composição e principalmente homogeneização, a mistura foi realizada no Laboratório de Ciências das Engenharias da UNIFAL-MG, campus Poços de Caldas. Foi realizada uma diminuição, nas dimensões do SCRAP, conforme se percebe nas imagens, utilizando um britador de mandíbulas da marca Pavitest, modelo I4198, do fabricante Conteco Indústria e Comércio LTDA. As mandíbulas foram ajustadas para fragmentos de dimensões entre 4,8 mm a 9,5 mm, para serem classificados como agregados graúdos na categoria pedrisco conforme ABNT NBR 7211:2009.

Figura 2 - Britador PAVITEST



Fonte: do autor

Posteriormente ao trabalho com o britador obteve-se uma amostra extremamente homogênea, alcançando o resultado esperado em menos de 2 horas de trabalho com mais de 100kg de produto.

Figura 3 - Scrap na composição original, em cacos de variados tamanhos e formatos



Fonte: do autor

Figura 4 - Scrap após a britagem obtendo a homogeneidade esperada



Fonte: do autor

5.2.3 Massa específica e massa específica aparente

Ensaio para determinação da massa específica (ρ) e da massa específica aparente (ρ_{ap}) do Scrap após a britagem, em acordo com a norma ABNT NBR NM 53:2009 “Agregado graúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água”.

O processo constitui em obter uma amostra do resíduo que foi seca em estufa regulada a 100°C por 24 horas, após esta etapa foi deixada em condições naturais para o resfriamento por 12 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) e a densidade da água (μ). A massa específica e a massa específica aparente são calculadas pelas Equações 1 e 2 os quantitativos foram obtidos usando uma balança de precisão analítica de bancada.

$$\rho = \frac{m_s}{(m_u - m_a)} \times \mu \quad (1)$$

$$\rho_{ap} = \frac{m_s}{(m_s - m_u)} \times \mu \quad (2)$$

5.2.4 Formulações do concreto de referência e com Scrap cerâmico

Objetivando uma massa mais estruturada, foi obtido uma composição da seguinte proporção, em massa 1:1, 2:1,5, em volume 1:2:3.

As composições foram classificadas como segue nas tabelas 4 e 5 abaixo:

Tabela 3 - Nomenclaturas utilizadas para formulação das composições

Nomenclatura	Identificação
CR	Concreto de Referência (0% de Scrap cerâmico)
CO-25	Concreto com 25% de Scrap cerâmico
CP-50	Concreto com 50% de Scrap cerâmico
CP-75	Concreto com 75% de Scrap cerâmico
CP-100	Concreto com 100% de Scrap cerâmico

Fonte: do autor

Tabela 4 - Composição das formulações dos concretos em massa

Componentes		CR	CP-25	CP-50	CP-75	CP-100
Cimento	kg	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Pedrisco (Brita 0)	kg	30,04	22,53	15,02	7,51	0,00
Scrap (Cerâmico)	kg	0,00	7,51	15,02	22,53	30,04
Areia	kg	24,47	24,47	24,47	24,47	24,47
Água	kg	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33
Fator a/c		0,42	0,42	0,42	0,42	0,42

Fonte: do autor

Tabela 5 - Composição das formulações dos concretos em volume

Volume		CR	CP-25	CP-50	CP-75	CP-100
Cimento	m3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Pedrisco (Brita 0)	m3	3,781	2,835	1,890	0,945	0,000
Scrap (Cerâmico)	m3	0,000	0,493	0,987	1,480	1,974
Areia	m3	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Água	m3	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42

Fonte: do autor

A proporção do fator água/cimento (A/C) ou água/aglomerante pode ser alterada, o que certamente alteraria os valores finais, entretanto, para o presente estudo este fator foi mantido constante, ficando a proposta para estudos futuros.

5.2.5 Produção do concreto em laboratório

Baseando-se nas normas da ABNT NBR NM 12655:2006 “Concreto: preparo, controle e recebimento” e NBR NM 33:1998 “Concreto: amostragem de concreto fresco”, foram elaboradas as composições, pesando-se os elementos separadamente na mesma balança e colocando na betoneira, imagens abaixo ilustram o passo-a-passo.

Figura 5 – Etapas das atividades práticas



Fonte: do autor

Legenda: (A) Laboratório de materiais PUC Minas;

(B) Balança;

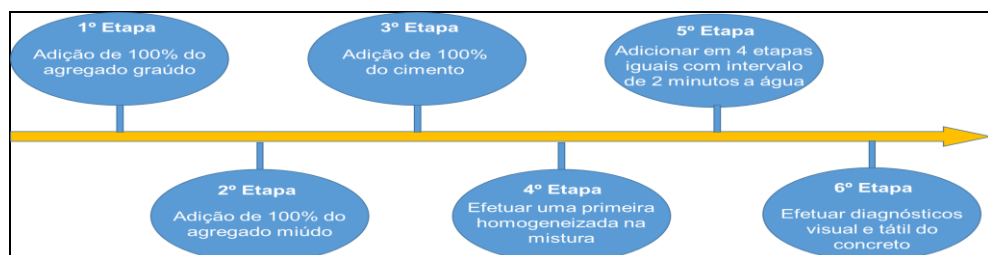
(C) Pesagem dos itens do concreto;

(D) Materiais pesados e separados para o lançamento na betoneira;

(E) Concreto finalizado na betoneira.

Para uma melhor compreensão do roteiro segue abaixo fluxograma utilizado para a composição do concreto.

Figura 6 - Fluxograma da composição do concreto



Fonte: do autor

5.2.6 Determinação do abatimento do concreto

Com o objetivo de avaliar a trabalhabilidade do concreto, baseando-se na norma ABNT NBR NM 67:1998 “Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”, foi elaborado no momento da confecção do concreto o chamado comercialmente de teste de SLUMP, que tem por finalidade avaliar a consistência do concreto quando acaba de ser preparado.

Basicamente o processo se resume nas seguintes etapas;

- Utilizando a massa fresca, se coloca o material em 3 partes iguais dentro de um cone cilíndrico contendo as seguintes dimensões;
 - Diâmetro da base inferior: 200 mm \pm 2 mm;
 - Diâmetro da base superior: 100 mm \pm 2 mm;
 - Altura: 300 mm \pm 2 mm.
- Utilizando um bastão metálico de 60cm de comprimento e o cone cilíndrico sobre uma base metálica plana e quadrada de 50cm, se coloca 3 camadas e entre os preenchimentos das camadas, se aplica 25 golpes com o bastão para adensamento da massa;
- Após a terceira camada que deverá preencher totalmente o cone cilíndrico, é feito a remoção do cone e após 5 a 10 segundo é feito a medição entre o topo da massa adensada e o topo do cone que deverá estar ao lado da massa e sobre a base metálica com a parte de diâmetro maior para cima.

Figura 7 – Execução do teste de SLUMP



Fonte: do autor

- Legenda: (A) Golpes de bastão metálico para adensamento;
 (B) Estabilização e início da remoção do cone;
 (C) Remoção e conseqüente abatimento do concreto;
 (D) Medição do abatimento do concreto.

5.2.7 Elaboração dos corpos de prova para ensaio de compressão

Seguindo a norma ABNT NBR 5738:2015 Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova foram elaborados os corpos de prova para o ensaio a compressão de todas as composições estudadas, nesta elaboração foram considerados 15 corpos de prova para cada composição, sendo esses divididos em 3 grupos de 5 para que fossem rompidos em 3 datas diferentes, 3, 7 e 28 dias, obtendo um total de 75 corpos de prova.

As dimensões dos corpos de prova utilizados foram os de formato cilíndrico com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, todos foram desformados no dia seguinte e submergidos em tanque de água, pelos respectivos períodos, a preparação pode ser vista nas imagens que se seguem.

Figura 8 – Confeção dos corpos de prova



Fonte: do autor

Legenda: (A) Confeção e identificação de um corpo de prova de um concreto CP-100;
 (B) Corpos de prova CP-100 finalizados;
 (C) Corpos de prova CP-75 concluídos e armazenado por 1 dia;
 (D) Corpos de prova submersos.

Esta etapa foi desenvolvida em diversas datas seguindo o cronograma abaixo, é possível notar que a formulação CP-50 foi realizado 2 vezes de modo que o resultado obtido na primeira concretagem não atendeu as expectativas devido a um adensamento inadequado e de maneira equivocada, devido a falha humana na montagem dos corpos de prova.

Tabela 6 - Cronograma executivo

	CR	CP-25%	CP50%	CP-75%	CP100%	CP-50% NOVO
Data da execução	19/08/19	19/08/19	20/08/19	20/08/19	02/09/19	02/09/19
Desforma e armazenagem em água	20/08/19	20/08/19	21/08/19	21/08/19	03/09/19	03/09/19
Data do rompimento 3 dias	23/08/19	23/08/19	23/08/19	23/08/19	06/09/19	06/09/19
Data do rompimento 7 dias	27/08/19	27/08/19	27/08/19	27/08/19	10/09/19	10/09/19
Data do rompimento 28 dias	17/09/19	17/09/19	17/09/19	17/09/19	01/10/19	01/10/19

Fonte: do autor

5.2.8 Determinação da resistência à compressão

Para ser realizado o ensaio de compressão, primeiramente foi necessário nivelar a superfície dos corpos de prova, através de um retificador manual. O equipamento em questão aplica-se à retífica de corpos de prova cilíndricos de concreto, argamassa e rocha com diâmetros de 5, 10 e 15 cm, o sistema de fixação do corpo de prova e a descida/subida do disco diamantado são realizados de forma manual, possui sistema de proteção para o motor e sistema de entrada de água para refrigeração do disco e um motor com 3 hp.

Figura 9 – Regularização das seções transversais dos corpos de prova



Fonte: do autor

Legenda: (A) Corpos de prova no estado bruto;
(B) Corpo de prova sendo regularizado;
(C) Corpos de prova regularizados.

Com a parceria da empresa ETAPA no município de Poços de Caldas, Minas Gerais, foram realizados todos os testes de resistência a compressão, para esta etapa foi utilizado uma prensa hidráulica manual com mostrador analógico com precisão de 1Ton, o equipamento da marca Zeloso, modelo PC com capacidade máxima de 100Ton.

Figura 10 - Prensa utilizada para os ensaios de compressão.



Fonte: do autor

Utilizando a fórmula abaixo foram obtidas as tensões mecânicas à compressão (σ) em ton/m², de cada um dos corpos de prova, que foi determinada pela razão entre a força de compressão máxima resistida pelo corpo de prova (F) em tonelada e a área da seção transversal do corpo de prova de compressão (A) em m².

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Para cada data do cronograma como dito (3,7 e 28 dias), foram rompidos 5 corpos de prova de modo a obter um resultado mais preciso, importante ressaltar que os ensaios ocorreram de acordo com a norma ABNT NBR 5739:2007 “Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos”.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

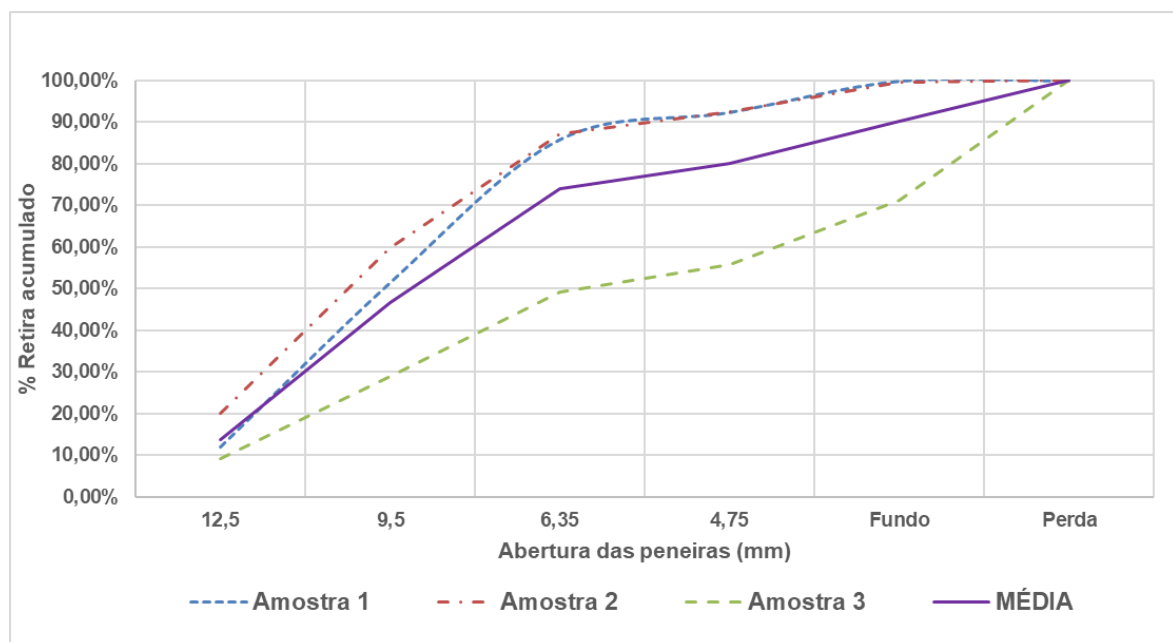
São apresentados e discutidos os resultados desta pesquisa, através de uma análise comparativa do concreto referência, utilizando pedrisco (Brita 0) como agregado graúdo e as amostras variando a proporção do Scrap cerâmico na mistura, quanto a resistência mecânica, a compressão viabilizando ou não a utilização deste componente em larga escala, podendo até mesmo, substituir a brita como agregado.

6.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA

As figuras que se seguem mostram os valores da distribuição granulométrica das 3 amostras analisadas, bem como a projeção da média delas, o ensaio da amostra 3 foi descartado devido a falhas no processo de execução, tornando o resultado não condizente com os valores reais.

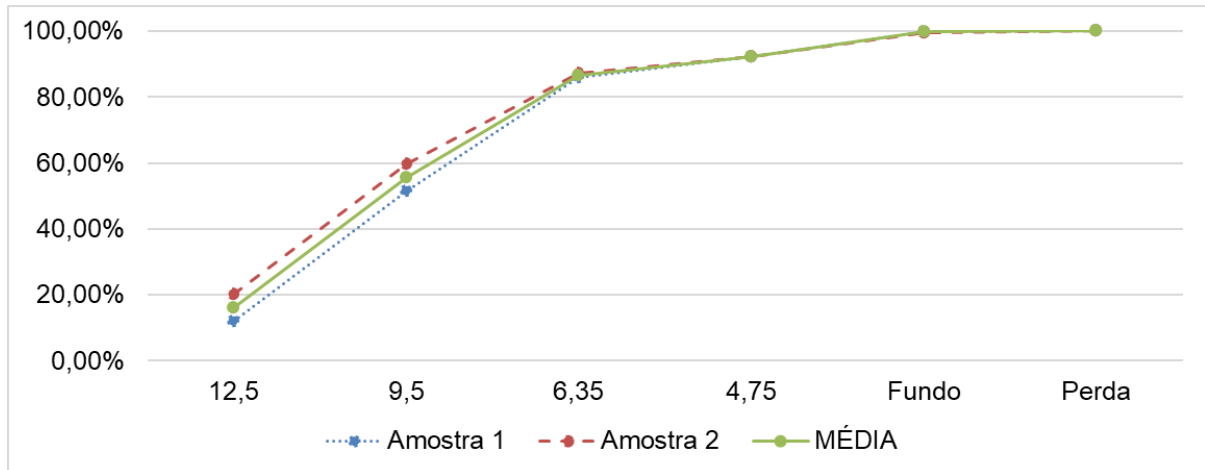
É possível notar nas tabelas que se seguem, que houve uma linearidade quanto as composições de retenção nas peneiras, tanto na amostra 1 quanto na amostra 2, em ambas a peneira #4,75 teve retenção acumulada maior que 90%, atestando a eficiência na britagem e assimilando o material as dimensões do pedrisco utilizado.

Figura 11 - Distribuição granulométrica do Scrap Cerâmico



Fonte: do autor

Figura 12 - Dispersão da distribuição granulométrica do Scrap Cerâmico



Fonte: do autor

Tabela 7 - Características granulométrica da amostra 1

Amostra 1			Massa 1000,02g	
Peneiras (mm)	Massa Retida (g)	% Retida (%)	Massa Acumulada (g)	% Retida Acumulada (%)
12,5	200,49	20,05%	200,49	20,05%
9,5	397,31	39,73%	597,80	59,78%
6,35	273,19	27,32%	870,99	87,10%
4,75	52,97	5,30%	923,96	92,39%
Fundo	71,93	7,19%	995,89	99,59%
Perda	4,13	0,41%	1000,02	100,00%

Fonte: do autor

Tabela 8 - Características granulométrica da amostra 2

Amostra 2			Massa 1000,04g	
Peneiras (mm)	Massa Retida (g)	% Retida (%)	Massa Acumulada (g)	% Retida Acumulada (%)
12,5	118,24	11,82%	118,24	11,82%
9,5	395,43	39,54%	513,67	51,36%
6,35	344,66	34,46%	858,33	85,83%
4,75	65,48	6,55%	923,81	92,38%
Fundo	75,3	7,53%	999,11	99,91%
Perda	0,93	0,09%	1000,04	100,00%

Fonte: do autor

Como se pode perceber nas tabelas 7 e 8 a maior concentração de Scrap cerâmico retida foi na faixa entre as peneiras 9,5 e 4,75mm, caracterizando-se assim como um Scrap de diâmetro similar ao do pedrisco (Brita 0).

6.2 MASSA ESPECÍFICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE

Para os valores de massa específica e a massa específica aparente do Scrap cerâmico a pesquisa prática obteve os mesmos valores, 2.375 kg/m^3 ou $2,375 \text{ g/cm}^3$. Os resultados obtidos se aproximam aos estudos feitos 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 $2,39 \text{ g/cm}^3$, $2,36 \text{ g/cm}^3$ e $2,36 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

6.3 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Ao analisar o concreto logo após a sua confecção tendo as variações de Scrap em comparação ao concreto referência (CR), notou-se que não houve diferença quanto ao adensamento e a sua trabalhabilidade, bem como foi possível notar uma excelente homogeneização das misturas da brita com o Scrap.

Figura 13 - (A) Concreto fresco CR; (B) Concreto fresco CP-50



Fonte: do autor

Foi preparada uma amostra para cada composição, com o intuito de realizar o teste de abatimento, pôde-se perceber um valor muito próximo ao abatimento da composição de concreto referência (CR), tendo a maior variação para o CP-25 que variou em 6cm e por sua vez o CP-50 apresentou o mesmo valor do CR.

Estes valores obtidos mostram que o concreto em seu estado fresco possui uma trabalhabilidade aceitável, validando assim a utilização do fato água/cimento de 0,43, desta forma foi percebido visual e fisicamente um equilíbrio entre a maleabilidade e a liquidez da massa, fatores estes muito importante para aplicação em elementos estruturais em moldes e formas.

Tabela 9 - Slump teste das formulações de concreto.

Concreto	Abatimento (cm)
CR	11,5
CP-25	17,5
CP-50	11,5
CP-75	12,5
CP-100	13,0

Fonte: do autor

Figura 14 - (A) Slump Test CP-25; (B) Slump Test CR



Fonte: do autor

6.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Abaixo seguem as tabelas contendo os valores de resistência à compressão (FC) para cada uma das formulações de concreto analisadas neste estudo, para as idades de cura de 3, 7 e 28 dias, respectivamente e os valores médios de resistência à compressão (FC,M), o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) que é o percentual de variação do desvio padrão.

Tabela 10 - Resistência à compressão (FC) dos concretos com 3 dias de cura (Dados em MPa).

Idade (dias)	CR	CP-25	CP-50	CP-75	CP-100
3 dias	18,46	12,73	26,74	13,11	15,28
	17,83	15,28	28,01	12,73	15,28
	15,28	12,73	28,01	14,64	15,92
	18,21	13,37	28,01	14,01	15,28
	17,83	11,46	27,37	14,01	15,92
FC,m (MPa)	17,52	13,11	27,63	13,70	15,53
DP (MPa)	1,28	1,39	0,57	0,77	0,35
CV (%)	7,3	10,6	2,1	5,6	2,2
Variação CR (%)	0,00	-25,15	57,70	-21,80	-11,34

Fonte: do autor

Tabela 11 - Resistência à compressão (FC) dos concretos com 7 dias de cura (Dados em MPa).

Idade (dias)	CR	CP-25	CP-50	CP-75	CP-100
7 dias	26,74	20,37	35,65	25,46	26,10
	26,10	22,92	31,83	25,46	13,37
	24,83	19,74	33,74	26,74	29,92
	24,19	21,65	34,70	26,74	24,83
	26,74	22,28	33,10	26,10	26,74
FC,m (MPa)	25,72	21,39	33,80	26,10	24,19
DP (MPa)	1,16	1,32	1,47	0,64	6,33
CV (%)	4,5	6,2	4,3	2,4	26,2
Variação CR (%)	0,00	-16,83	31,44	1,49	-5,94

Fonte: do autor

Tabela 12 - Resistência à compressão (FC) dos concretos com 28 dias de cura
(Dados em MPa).

Idade (dias)	CR	CP-25	CP-50	CP-75	CP-100
28 dias	43,29	36,92	39,47	39,15	31,19
	40,74	34,38	42,02	36,92	38,20
	40,74	33,10	40,74	44,56	47,11
	24,83	30,56	36,65	45,20	42,02
	40,11	36,92	42,65	43,29	22,92
FC,m (MPa)	37,94	34,38	40,11	41,83	36,29
DP (MPa)	7,43	2,70	2,77	3,61	9,46
CV (%)	19,6	7,9	6,9	8,6	26,1
Variação CR (%)	0,00	-9,40	5,70	10,23	-4,36

Fonte: do autor

Ao analisar as tabelas 10, 11 e 12 acima, é possível notar um ganho crescente no de resistência a compressão do concreto ao longo do tempo, crescimento este que era esperado e de fato pode ser notado em todas as composições.

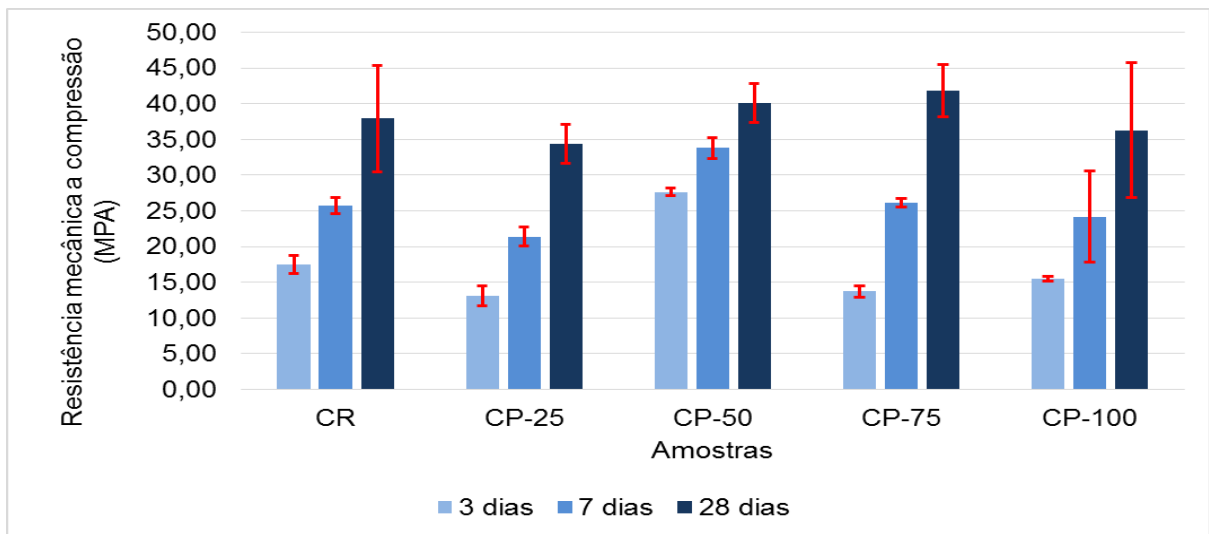
Comparando todos os valores médios obtidos $f_{c,m}$ é possível perceber quantitativamente que as composições que possuíam 50% de Scrap cerâmico e 50% de pedrisco (Brita 0), foi juntamente com a composição do CP-75 dentre todos, o que possuíram a maior resistência mecânica a compressão, o que permite concluir que houve um equilíbrio dos agregados graúdos respeitando-se suas granulometrias de modo a atingir uma resistência média $f_{c,m}$ para o CP-50 de 40,11MPa e de 41,83MPa para o CP-75. Era esperado os valores mais lineares em todas as composições uma vez que as características de resistência a compressão da brita e do Scrap tendem a ser similares.

Ao analisar os valores utilizando o desvio padrão obtido pelo ensaio de resistência a compressão, é possível destacar que a resistência à compressão média das formulações onde foram empregadas o Scrap cerâmico, foram muito próximas ao CR, um destaque como dito vai para o CP-50 e CP-75 que apresentaram uma linearidade alta nos valores e conseqüente diminuição do desvio padrão. Atribui-se essa variação das amostras a prováveis falhas no processo de confecção dos corpos de prova devido ao fator humano, em virtude deste ensaio ter sido realizado em etapas e por grupos distintos no decorrer do processo, uma vez que haviam outros envolvidos desenvolvendo as atividades simultaneamente, entretanto, os desvios padrões não

foram relevantes, ao ponto de comprometer os valores e demandar novos ensaios para esta pesquisa.

Destaca-se também o fato da existência de uma camada de esmalte no SCRAP, como um componente que poderia interferir nos valores, facilitando assim as fissuras e gerando pontos de menor resistência nas amostras.

Figura 15 - Comparação entre valores médios de resistência à compressão entre diferentes formulações e dias de cura.



Fonte: do autor

Quanto a homogeneização dos corpos de prova, conforme figura 16, foi possível ter a constatação visual no momento do rompimento que de uma maneira geral houve sucesso. Vale ressaltar que alguns corpos de prova apresentaram uma grande porosidade, oriunda possivelmente de um adensamento feito incorretamente, há também a possibilidade de o fator porosidades do Scrap ter interferido diretamente na composição, influenciando na coesão. Uma proposta seria umidificar o Scrap antes da mistura, recomenda-se em estudos futuros.

Figura 16 – Corpos de prova com seção transversal regularizada



Fonte: do autor

Legenda: (1) e (2) CP-50 homogêneo e adensado;
(3) CP-100 homogêneo e pouco adensado;
(4) CP-25 homogêneo e bem adensado;
(5) CP-100 homogêneo e mal adensado.

Ainda sobre a interferência do Scrap na composição como agregado graúdo, é importante notar que a resistência a compressão poderia ter sido maior se o Scrap não tivesse o volume de esmalte que possuía para esta pesquisa conforme figura 17, desta maneira para futuros estudos, pode-se recomendar que se mantenha uma precisão granulométrica do Scrap bem como um trabalho de remoção dos esmaltes dos elementos, o que geraria certamente uma maior aderência dos componentes e consequente aumento na resistência.

Figura 17 - Corpo de prova após rompimento com 28 dias CP-75



Fonte: do autor

Durante o processo de confecção das amostras e corpos de prova, a composição CP-50 foi preparada 2 vezes, sendo a primeira descartada por se tratar de um preparo não aceitável e fora dos padrões normativos, para registros valores de resistência das amostras foram obtidos bem como imagens do lote descartado.

No momento da desforma dos corpos de prova, ou seja, um dia após a elaboração do concreto, se percebeu visualmente muitos poros nos mesmos, atestando que ocorreu falha pelo adensamento manual, na elaboração do corpo de prova.

Tabela 13 - Valores de resistência a compressão do CP-50 descartado

Períodos	3 dias	7 dias	28 dias
CP-50 Descartado	5,86	13,37	26,74
	7,26	15,28	26,74
	7,00	15,28	27,37
	6,88	12,73	26,74
	6,37	14,64	29,28
FC,m (MPa)	6,67	14,26	27,37
DP (MPa)	0,56	1,16	1,10
CV (%)	8,38	8,11	4,03
Variação média			
CP-50 adotado (%)	75,85	57,82	31,75

Fonte: do autor

Figura 18 - Lote CP-50 descartado, muito poroso e pouco adensado



Fonte: do autor

6.5 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA E CLASSES DE CONSISTÊNCIA

A tabela 14 apresenta os valores médios e característicos de resistência à compressão para todas as formulações de concreto estudadas nesta pesquisa, com 28 dias de cura. De acordo com a norma ABNT NBR 8953:2015 os concretos CR e CP-100 foram enquadrados na classe de resistência grupo I, C35, já o concreto CP-25 foi enquadrado no mesmo grupo I, C30 e por fim os concretos CP-50 e CP-75 dentro do grupo I também, se enquadram em C40.

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 14 - Classes de resistência de concretos estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 8953:2015.

Tabela 15 - Classes de consistência de concreto

Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrudado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundação
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

NOTA 1: De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.

NOTA 2: Os exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 8953:2015.

Analisando a tabela 15, que traz dados sobre a norma ABNT NBR 8953:2015, em relação à consistência a partir do resultado do abatimento (slump test) apresentados na tabela 9, as formulações, com exceção da CP-25, enquadram-se na classe S100 que permite sua aplicação em elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto, por sua vez a CP-25 por ter tido um abatimento maior se enquadra na classe S160 que permite o uso em elementos estruturais com lançamento bombeado.

Além da classificação de consistência é muito importante lembrar que para um uso adequado do concreto estrutural deve-se levar em consideração 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.

7 CONCLUSÃO

De modo geral, os concretos estudados neste projeto apresentaram resultados aceitáveis por norma de resistência mecânica a compressão e geraram de fato o potencial esperado, principalmente quando comparados ao concreto chamado de referência que possui uma composição comum do mercado. Tornando-se viável a inserção do resíduo, corroborando com a literatura estudada.

Quanto ao ensaio de teste de SLUMP, foi importante perceber que a proporção do fator água/aglomerante utilizado é de fato um número que mantém a massa homogênea e firme, facilitando o manuseio em canteiro de obra e atendendo as normativas vigentes.

O esmalte do SCRAP pode ter interferido na variação obtida, uma vez que a aderência de fato fica comprometida, entretanto, não se mostra viável a remoção de esmaltes, tendo em vista o alto custo para este processo, podendo ser analisado uma possibilidade de estudo do Scrap como sendo um agregado miúdo, tal ação proporcionaria uma eliminação considerável das superfícies esmaltadas e conseqüentemente melhorando o adensamento e a homogeneização da massa.

Ao final da pesquisa foi notório os valores obtidos, o que fez com que esta análise de fato viabilizasse de maneira extremamente satisfatória a utilização do elemento SCRAP como agregado graúdo em diversas composições de concreto, bem como foi percebido um comportamento crescente dos valores de resistência a compressão com o passar dos dias de cura, até atingirem período de 28 dias para maior resistência possível.

As classes dos concretos elaborados de acordo com a norma se enquadraram nos patamares de valores comumente utilizados no mercado, o que gera uma grata satisfação, pois o estudo poderá ser aplicado na prática em elementos estruturais, com variações de resistência de 30 a 40 MPa.

Por fim, e não menos importante os resultados agregam valor a estudos anteriormente realizados e direciona a uma análise de reuso de elementos cerâmicos como agregado graúdo em composições de concreto, de maneira a reduzir o volume de resíduos e minimizar a agressão ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICAS. **ABCERAM Cerâmica no Brasil:** número do setor. 2016. Disponível em: <<http://abceram.org.br/numeros-do-setor/>>. Data de acesso: 20 ago. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211:** Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953.** Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118.** Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738.** Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655** Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento, 2015
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 53.** Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 33.** Concreto - Amostragem de concreto fresco, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 67.** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004:** Classificação de Resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10005:** Lixiviação de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10006:** Solubilização de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10007:** Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004d.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABPC Guia básico de utilização do cimento Portland.** 7.ed. São Paulo, [versão online], 2002. 28p. (BT-106).

ABRAMS, Duff Andrew. **Design of concrete Mixtures**. Chicago. 1919

ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. C. **Concreto armado**: novo milênio: cálculo prático e econômico. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

ALMEIDA, D. H. **Estudo da adição de resíduo de louça sanitária como agregado em diferentes formulações de concreto**. (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Alfenas Universidade Federal de Alfenas. Poços de Caldas, MG, 2017. Disponível em: <<https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/bitstream/tede/1077/5/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Diego%20Henrique%20de%20Almeida%202017.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2020

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.112>>. Acesso em: 15 set. 2020

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2020**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

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. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5394>>. Acesso em: 15 set. 2020

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. 3. ed. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2014. Disponível em: <https://www.academia.edu/36103093/Calculo_e_Detalhamento_de_Estruturas_Usuais_de_Concreto_Armado_4ed_Carvalho>. Acesso em: 15 set. 2020

FEEMA. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 2000. **Gestão de Resíduos - Relatório Semestral de Atividades do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara** - Setembro/2000. Rio de Janeiro: FEEMA.

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

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, 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. Disponível em: <<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/3457>>. Acesso em: 15 set. 2020

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. Disponível em: <<https://bdtd.unifal-mg.edu.br:8443/handle/tede/1070>>. Acesso em: 15 set. 2020

GUERRA, I.; VIVAR, I.; LLAMAS, B.; JUAN, A.; MORAN, J. 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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.018>>. Acesso em: 15 set. 2020

HALICKA, A.; OGRODNIK, P.; ZEGARDLO, B. Using ceramic sanitary ware waste as concrete aggregate. **Construction and Building Materials**. v.48, p. 295-305, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.063>>. Acesso em: 15 set. 2020

JACOMINO, V. M. F. et al. **Controle Ambiental das Indústrias de FerroGussa em Altos-Fornos a Carvão Vegetal**. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002. Disponível em: <<http://www.repositorio.cdtm.br:8080/handle/123456789/776>>. Acesso em: 15 set. 2020.

JOHN, V. M. **A construção, o meio ambiente e a reciclagem**. [Tese] PCC – EPUSP. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.htm>. Acesso em: 15 set. 2020.

JOHN, V. M. **Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. São Paulo, [Tese] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000, 113p. Disponível em: <https://www.ietsp.com.br/static/media/media-files/2015/01/23/LV_Vanderley_John_-_Reciclagem_Residuos_Construcao_Civil.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

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. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/21839>>. Acesso em: 20 ago. 2020

LEONHARDT, F.; MONNIG, E. C. **Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. volume 1. Rio de Janeiro: Interciência, 1977.

MARTÍN-MORALES, M. M.; MOYANO, G. M. C.; ESPINOSA, I. V.; PALACIOS, I. V. 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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.013>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

MARTINS, C. A.; BALDO, J. B.; SORDI, V. L.; COSTA, J. S. **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.; ROJAS, M. I. S.; THOMAS, C.; POLANCO, J. A. FRÍAS, M. Durability of recycled concrete made with recycled ceramic sanitary ware aggregate: inter-indicator relationships. **Construction and Building Materials**. v.105, p. 480-486, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.176>>. Acesso em: 20 ago. 2020

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. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.075>>. Acesso em: 18 set. 2020.

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, 2012b. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.08.015>>. Acesso em: 15 ago. 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, SP: IBRACON, 2008.

MORAES, M. Q.; LOPES, R. R. **Análise da contribuição de adições de microssilica e nanossilica na resistência à compressão de concretos convencionais**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/AN%C3%81LISE_DA_CONTRIBUI%C3%87%C3%83O_DE_ADI%C3%87%C3%95ES_DE_MICROSS%C3%8DLICA_E_NA_NOSS%C3%8DLICA_NA_RESIST%C3%8ANCIA_%C3%80_COMPRESS%C3%83O_DE_CONCRETOS_CONVENCIONAIS.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2020.

OLIVEIRA, G. A. G. **Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Industriais na Área Mineira da Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco**, [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9DVEYM/1/disserta__o_finalissima__1_.pdf> Acesso em: 20 set. 2020.

SILVA JUNIOR, J. E. S.; SILVA, G. H.; PASSOS, R. A.; BENINI, V. A. V.; BALDO, J. B.; MARTINS, C. A. **Argamassas obtidas a partir da reciclagem de louça sanitária**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS - CBECIMAT, 15., 2002, Natal, Rio Grande do Norte. **Anais [...]**. Natal, UFRN, CD-ROM.

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

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. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5550/1/arquivototal.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2020.

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. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3575/1979>>. Acesso em: 18 ago. 2020.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar.** São Paulo: Pini, 2007. 256 p.

ZULAUF, Werner Eugenio. **Resíduos sólidos: desenvolvimento e meio ambiente.** São José dos Campos: CETESB, 1977. 26 p.