UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

GUSTAVO LIRA DO NASCIMENTO

USO DO RESÍDUO CERÂMICO PROCEDENTE DE LOUÇAS SANITÁRIAS EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETO

JOÃO PESSOA

2024

GUSTAVO LIRA DO NASCIMENTO

USO DO RESÍDUO CERÂMICO PROCEDENTE DE LOUÇAS SANITÁRIAS EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Desenvolvimento e propriedades de materiais.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra.

JOÃO PESSOA

2024

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N244u Nascimento, Gustavo Lira do.
Uso do resíduo cerâmico procedente de louças sanitárias em substituição parcial ao agregado graúdo em concreto / Gustavo Lira do Nascimento. - João Pessoa, 2024.
60 f. : il.

Orientação: Ricardo Peixoto Suassuna Dutra.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Concreto - Composição. 2. Louça sanitária - Resíduo. 3. Agregrado graúdo. 4. Antiderrapante. I. Dutra, Ricardo Peixoto Suassuna. II. Título.

UFPB/BC CDU 666.97(043)

Elaborado por WALQUELINE DA SILVA ARAUJO - CRB-15/514

GUSTAVO LIRA DO NASCIMENTO

USO DO RESÍDUO CERÂMICO PROCEDENTE DE LOUÇAS SANITÁRIAS EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO GRAÚDO EM CONCRETO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Aprovado em: 30/08/2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
RICARDO PEIXOTO SUASSUNA DUTRA
Data: 14/11/2024 10:39:41-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra
Universidade Federal da Paraíba/PPCEM
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br
LEONARDO LEANDRO DOS SANTOS
Data: 04/11/2024 20:38:27-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Leonardo Leandro dos Santos
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
(Examinador Externo à Instituição)

Documento assinado digitalmente
gov.br
GABRIELLA CAVALCANTE DE SOUZA ALBUQUER
Data: 05/11/2024 09:03:36-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Profa. Dra. Gabriella Cavalcante de Souza Albuquerque
Faculdade Três Marias
(Examinadora Externa à Instituição)

Dedico este trabalho a todos aqueles que estiveram comigo durante todas as minhas caminhadas, contribuindo e me ajudando a seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, em especial ao meu pai, Josemir, que me ajudou durante a confecção dos concretos, e à minha mãe Zelma. Sem ela, nada do que fiz e do que me tornei teria sido possível. Foram anos de sacrifício para dar a mim um estudo e uma vida digna. Essas ações fizeram eu me empenhar a sempre dar o meu melhor em todas as coisas que faço para tentar dar um pouco de orgulho para ela e para todos da minha família.

Agradeço também à minha namorada Thaize, que sempre me motivou e acreditou em mim. Ela é a uma das principais responsáveis por me apoiar nos momentos difíceis e me ajudou bastante durantes esses anos no mestrado.

Também agradeço ao meu orientador Ricardo, que me ajudou a construir uma boa pesquisa e foi compreensível com todas as dificuldades que surgiram durante o decorrer do curso.

Agradeço a Empresa fabricante de louças sanitárias por doar o scrap e fornecer informações sobre sua produção. Também sou grato à Empresa Ruptest, em especial, ao seu dono André que foi muito solicito em disponibilizar seu laboratório e equipamentos para a construção da pesquisa.

Por último, agradeço a Capes por disponibilizar, durante um ano e meio, a bolsa de estudos e também ao Laboratório de Peneiras Moleculares (LABPEMOL) pela análise de difração de raios X.

Os métodos da ciência – com todas as suas imperfeições – podem ser usados para aperfeiçoar os sistemas sociais, políticos e econômicos, e isso vale, na minha opinião, para qualquer critério de aperfeiçoamento que se adotar (SAGAN, 2016, p. 472).

RESUMO

Anualmente, grandes quantidades de resíduos de louças sanitárias (scrap cerâmico) são geradas devido ao descarte de peças que apresentam defeitos estéticos. Esse descarte inadequado motivou estudos, nas últimas décadas, que investigam a viabilidade de reutilizar esses materiais, com destaque para o uso em concreto, visto que os seus componentes são extraídos da natureza e geram impactos ambientais. Com isso, esta pesquisa teve por objetivo utilizar o scrap cerâmico, oriundo de uma Empresa, localizada em Caruaru/PE, como agregado graúdo na composição do concreto. O scrap foi britado até obter a mesma granulometria da brita 1 e substituiu a mesma em proporções de 0%, 10% e 20%. Além disso, com o objetivo de mitigar os efeitos do esmalte cerâmico que algumas faces do scrap possui, que dificulta a interação entre os demais componentes do concreto e o scrap, parte desse material passou por um tratamento prévio por meio do antiderrapante LP, que gera microventosas nas superfícies dos materiais cerâmicos, objetivando o aumento do coeficiente de atrito. Com isso, foram formulados 5 tipos de concretos: o concreto de referência (CR) sem adição de scrap, os concreto com 10% de scrap (CS10) e 20% de scrap (CS20) sem tratamento; e os concretos com 10% de scrap (CT10) e 20% de scrap (CT20) com tratamento. A pesquisa utilizou processos metodológicos que iniciaram com a coleta e preparação do scrap, seguida de análises de granulometria e densidade, confecção das composições, moldagem dos corpos de prova, imersão em tanques de água, análises físicas dos corpos de prova, ensaio de abatimento do concreto e teste de resistência à compressão. Ao final, se classificou os concretos com base nos valores de resistência e de abatimento, além de se calcular a porosidade dos concretos. A pesquisa concluiu que o scrap usado pode servir como substituto da brita, tendo em vista que, com relação à trabalhabilidade, não houve efeitos negativos, já que todos os 5 tipos de concreto ficaram na classe S10 de abatimento. Com relação à resistência à compressão, com exceção do CT20, todos os concretos ficaram na classe C20, atingindo o objetivo inicial; além disso, o melhor concreto foi o CT10, apresentando um FCK médio de 22,07 MPa, enquanto o de segundo maior valor foi o CR, que obteve 21,69 MPa. Porém, o concreto com o menor FCK médio foi o CT20, indicando que o uso do scrap depende de estudos e aplicações que leve em conta as características dos materiais locais utilizados.

Palavras-chave: Concreto; Resíduo; Louça sanitária; Agregado graúdo; Antiderrapante.

ABSTRACT

Annually, large amounts of sanitary ware waste (ceramic scrap) are generated due to the disposal of pieces with aesthetic defects. This improper disposal has motivated studies over recent decades investigating the feasibility of reusing these materials, particularly for use in concrete, given that their components are extracted from nature and generate environmental impacts. Therefore, this research aimed to use ceramic scrap from a company located in Caruaru/PE as coarse aggregate in concrete composition. The scrap was crushed to obtain the same granulometry as gravel 1 and replaced it in proportions of 0%, 10%, and 20%. Additionally, to mitigate the effects of the ceramic glaze on some surfaces of the scrap, which hinders the interaction between other concrete components and the scrap, part of this material underwent a preliminary treatment with LP anti-slip, which creates micro-suction cups on ceramic surfaces, aiming to increase the friction coefficient. Thus, five types of concrete were formulated: the reference concrete (CR) without added scrap, concretes with 10% scrap (CS10) and 20% scrap (CS20) without treatment, and concretes with 10% scrap (CT10) and 20% scrap (CT20) with treatment. The research used methodological processes starting with the collection and preparation of the scrap, followed by granulometry and density analysis, composition preparation, test specimen molding, water tank immersion, physical analysis of the test specimens, concrete slump test, and compressive strength testing. In the end, the concretes were classified based on strength and slump values, and concrete porosity was also calculated. The research concluded that the scrap used can serve as a substitute for gravel, considering that in terms of workability, there were no negative effects, as all five types of concrete fell into the S10 slump class. Regarding compressive strength, except for CT20, all concretes fell into the C20 class, achieving the initial goal; additionally, the best concrete was CT10, presenting an average FCK of 22.07 MPa, while the second highest value was the CR, which obtained 21.69 MPa. However, the concrete with the lowest average FCK was CT20, indicating that the use of scrap depends on studies and applications that consider the characteristics of the local materials used.

Keywords: Concrete; Waste; Sanitary ware; Coarse aggregate; Non-slip.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS 14

2.1 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO 14

2.2 OBJETIVOS DO ESTUDO 14

2.3 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA E SOCIOAMBIENTAL 15

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16

3.1 CONCRETO E SEUS COMPONENTES 16

3.1.1 Cimento 16

3.1.2 Cimento composto 17

3.1.3 Água 18

3.1.4 Agregados 19

3.2 RESÍDUOS INDUSTRIAIS 20

3.2.1 Agregados de resíduos cerâmicos diversos 22

3.2.2 Processo de confecção de louças sanitárias 23

3.2.3 Agregados graúdos produzidos de Scrap cerâmico de louças sanitárias 25

3.3 ANTIDERRAPANTE LP 26

4 MATERIAIS E MÉTODOS 28

4.1 MATERIAIS 28

4.1.1 Composição e proporção dos componentes do concreto 29

4.1.2 Scrap cerâmico 30

4.1.3 Aplicação do antiderrapante LP 32

4.1.4 Quantidade de área vitrificada do scrap 33

4.2 ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS 33

4.3 ENSAIO DE DIFRAÇÃO 33

4.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE 34

4.5 FORMULAÇÕES DO CONCRETO 34
4.6 PRODUÇÃO DO CONCRETO 35
4.6.1 Abatimento do concreto 36
4.6.2 Confecção dos corpos de prova 37
4.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 39
4.8 ENSAIO DE POROSIDADE 40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 42
5.1 GRANULOMETRIA 42
5.2 DIFRAÇÃO DE RAIO X 43
5.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS MATERIAIS 44
5.4 CONCRETO NO ESTADO FRESCO 45
5.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CONCRETOS 46
5.6 POROSIDADE 49
5.7 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA E CLASSES DE CONSISTÊNCIA 51
6 CONCLUSÃO 54
REFERÊNCIAS 56

1 INTRODUÇÃO

Os materiais cerâmicos são de grande importância para a humanidade desde os seus primórdios. Seja na construção de moradias ou na confecção de utensílios, o uso dessa substância percorre o mesmo sentido do desenvolvimento humano (Oliveira, 2016).

Esse desenvolvimento é marcado por períodos. O primeiro deles é conhecido como “keramos”, que vem do grego e significa sólido queimado ou sintetizado (Oliveira, 2016). Esse período é datado do tempo pré-histórico até os anos de 1900 e tinha forte relação com os meios de trabalhos agrícolas e artesanais, gerando produtos de cerâmica por meio de fornos rudimentares.

O segundo período é conhecido como industrial dos silicatos e refere-se ao intervalo de tempo entre 1900 e 1940. Esse período marca a produção de produtos cerâmicos, bem como de outros utensílios feitos de vidro e cimento. Esses materiais já existiam e a ciência estudava seus funcionamentos a posteriori (Oliveira, 2016).

O terceiro período é denominado período da cerâmica avançada ou de alta tecnologia, datado de 1940 em diante. É nesse período que a Ciência dos Materiais se desenvolve rapidamente, estudando as características e composições das substâncias, bem como o que promove essas características e propriedades. Nessa fase, a Ciência dos Materiais antecipa a prática, abastecendo o setor produtivo com as inovações e melhorias que promovem o desenvolvimento econômico (Oliveira, 2016).

Neste contexto, muitas indústrias de produção de cerâmicas surgiram no Brasil e no mundo para atender a demanda crescente dos setores de construção civil, principalmente. Para confecção de seus produtos, essas indústrias utilizam argila, caulim, feldspato, areia de quartzo, etc. que são materiais abundantes na natureza. Contudo, é necessário que eles sejam devidamente caracterizados para as suas transformações. Por essa razão, os estudos sobre materiais cerâmicos veem ganhando notoriedade nas últimas décadas, visando uma boa relação entre custo e benefício. Essa relação, segundo Callister (2012), precisa se adaptar ao fato de que grande parte dos processos produtivos estão firmados no âmbito industrial, o que faz com que a Ciência dos Materiais se encarregue no estudo de materiais

ainda mais sofisticados e especializados, se preocupando, também, com as causas ambientais.

Por outro lado, é muito comum haver o descarte de materiais cerâmicos “em rios, no mar, terrenos baldios, enterrados ou simplesmente abandonados em galpões da própria empresa geradora” (Dantas; Yokoyama; Almeida, 2004, p. 3684). Os autores afirmam que com o surgimento de legislações e fiscalizações mais rígidas, o descarte inapropriado desses resíduos passou a ser mais evitado pelas empresas, pois além de prejudicar o meio ambiente e a população, gera prejuízos para elas.

No caso dos resíduos oriundos da fase de produção de louças sanitárias, que são baseados na tecnologia do pó, caracterizados como um “efluente líquido gerado em diversas etapas da produção que apresenta uma concentração de sólidos em suspensão elevadíssima” (Dantas; Yokoyama; Almeida, 2004, p. 3684). Seus resíduos (que possuem uma aparência de lama) devem ser tratados em uma estação de tratamento de esgoto o que gera um grande acúmulo de resíduos. Esses resíduos estão ligados a sobras e descartes da argila e seus componentes utilizados durante o processo de confecção.

Para evitar que esses resíduos sejam despejados na natureza, o seu reaproveitamento é de fundamental importância. Uma das formas de reuso é, após a devida caracterização desse material, sua incorporação a argilas para a construção de blocos cerâmicos. No trabalho feito por Silva et al. (2014), que estudou a confecção de tijolos e telhas cerâmicas, quando a argila foi incrementada com resíduos de louça sanitária (e outras matérias primas para ajustes), foi identificado um aumento considerável na resistência mecânica do material, bem como uma melhora nos índices de retração e de absorção de água do novo composto.

Por outro lado, quando a louça sanitária encerra o seu processo de confecção, uma porcentagem apresenta defeitos que as impossibilita de serem usadas comercialmente. Isso faz com que elas sejam descartadas junto a Resíduos de Construção Civil (RCC), ou seja, transformados e usados como aterro. Esse descarte inadequado gera poluição e um aumento da quantidade de resíduos na natureza. Dessa forma, começaram a surgir aplicações desse tipo de resíduos em confecções cerâmicas, como tijolos e concreto (Bartosz et al., 2016; Halicka, et al., 2013; Medina et al., 2012a; Guerra et al., 2009; Gonçalves, 2007).

Muitas das aplicações usam os resíduos de louças sanitárias (scrap cerâmico) de duas formas: como agregado graúdo (dimensão característica maior que 4,8 mm e menor que 152 mm) e como agregado miúdo (dimensão característica maior que 0,075 mm e menor ou igual à 4,8 mm). No caso do agregado miúdo, é usado algum processo de moagem do material (moinho de bolas, por exemplo) para que o material seja triturado ao ponto de sua granulometria estar dentro do padrão para um agregado desse tipo. O material resultante desse processo pode ser utilizado nas indústrias de cerâmica vermelha como mostrado por Silva et al. (2014). Contudo, pela elevada dureza dos resíduos de louças sanitárias, uma moagem para torná-lo um agregado miúdo demanda muito tempo e custo, o que dificulta sua aplicação e faz com que novos estudos sobre essa aplicação sejam desenvolvidos e aprimorados (Vieira et al., 2016; Almeida et al., 2019).

Já nas aplicações com o agregado graúdo, também é feito um processo prévio de preparação dos resíduos para que eles adquiram a granulometria correta para o uso. Figueiredo (2020) e Silva (2021) fizeram, em seus respectivos trabalhos, uma diminuição prévia do tamanho do scrap por meio de martelos, marretas e picaretas. Após isso, utilizaram britadores para triturar o material, até atingir granulometria adequada para as suas pesquisas.

Nas aplicações com substituição parcial ou total da brita por scrap cerâmico em concretos, algo comumente observado é a dificuldade de aderência entre a pasta de cimento e as faces do agregado do scrap que possui o esmalte. Isso é um dos fatores que dificultam o processo de confecção do concreto e também ocasiona perca de resistência no concreto em estado seco (Almeida et al., 2019).

Também há aplicações do scrap como material pozolânico misturado com cimento. Reig et al. (2022) em seu trabalho fizeram substituições entre 0 e 50% do cimento por pozolana de scrap moído em concretos autoadensáveis. Os valores encontrados em até 25% de substituição apresentaram resultados parecidos com as aplicações que usaram somente cimento, indicando uma possível aplicação desse material como pozolana.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

O uso de scrap cerâmico proveniente de louças sanitárias tem sido objeto de estudo há algum tempo, devido à sua viabilidade técnica e ao fato de que esse material não requer um processamento excessivamente sofisticado para ser utilizado na confecção de concreto (Zegardło; Szeląg; Ogrodnik, 2016). Quando empregado como agregado, o scrap cerâmico pode substituir parcial ou completamente os agregados convencionais do concreto, apresentando-se como uma solução tecnicamente viável (Ogrodnik; Szulej, 2018).

2.1 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

Segundo Medina et al. (2011), o uso de resíduos de louças sanitárias como agregado em concreto traz diversas vantagens. Entre elas, destacam-se a manutenção da cinética das reações de hidratação do cimento, o aumento do volume de poros capilares, a redução do volume de macroporos no concreto, além do aumento da resistência à compressão, especialmente em substituições específicas do agregado tradicional. Esses fatores contribuem para a melhoria do desempenho mecânico do concreto. Ademais, Medina et al. (2016) indicam que o uso de resíduos graúdos de louça sanitária, em combinação com a pasta de concreto (cimento + água), resulta em uma zona de transição com menos poros, comparada à zona de transição entre a pasta e a brita, conferindo maior resistência a agentes agressivos.

No entanto, a presença de faces esmaltadas no agregado graúdo impede a adequada penetração da pasta de concreto, o que resulta em má aderência nessa interface e gera pontos de concentração de tensões. Esses pontos são responsáveis pelas baixas resistências à compressão observadas em concretos com alto teor de resíduos de louça sanitária (Figueiredo, 2020; Almeida et al., 2019). As zonas de transição, naturalmente mais fracas em comparação às resistências isoladas da pasta e do agregado tradicional (Taylor, 1997), têm sua fragilidade agravada pela superfície vitrificada do esmalte. Diante desse desafio, os autores sugerem a necessidade de estudos que abordem a remoção ou mitigação dos efeitos do esmalte quando o scrap é utilizado em concretos.

2.2 OBJETIVOS DO ESTUDO

Dado o exposto, este trabalho tem como objetivo principal investigar a aplicação do resíduo de louça sanitária (scrap cerâmico) proveniente de peças já conformadas e sinterizadas, mas que apresentaram algum defeito, como agregado graúdo em concreto.

Os objetivos específicos incluem:

- Avaliar a viabilidade da substituição da brita por scrap cerâmico em percentuais de 0%, 10% e 20%, com base na literatura que sugere que até 25% de substituição é o ideal para manter a qualidade do concreto.

- Implementar um tratamento prévio no scrap cerâmico, visando mitigar os problemas causados pelas faces esmaltadas e aumentar a aderência da pasta de concreto ao agregado graúdo.

2.3 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA E SOCIOAMBIENTAL

Este trabalho pretende contribuir significativamente com a literatura científica ao desenvolver estudos focados nos desafios associados ao uso do esmalte cerâmico no concreto, propondo soluções práticas, como o uso do produto Antiderrapante LP. Esta abordagem inovadora servirá de base para pesquisas futuras que busquem maximizar os resultados do ponto de vista estrutural e financeiro.

Além da contribuição científica, o estudo também se alinha com objetivos socioambientais ao propor uma alternativa viável para a destinação de resíduos de louça sanitária. Ao promover o reaproveitamento desse material, o trabalho contribui para a construção de um padrão de consumo sustentável, minimizando os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos industriais.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão trazidos alguns conceitos importantes para a fundamentação e melhor desenvolvimento da Dissertação, abrangendo definições sobre os materiais que serão utilizados e também uma análise de alguns estudos que dialogam com o que aqui será proposto.

3.1 CONCRETO E SEUS COMPONENTES

O concreto, conforme conhecido, é basicamente uma combinação simples de cimento, agregados (miúdo e graúdo), água e aditivos (Adão e Hemerly, 2002). O cimento é considerado aglomerante, pois tem a capacidade de ligar os agregados, como areia e pedra, formando uma mistura homogênea que se solidifica na medida em que o processo de hidratação do cimento acontece.

Leonhardt e Monnig (1977) complementam essa ideia, enfatizando que o concreto, após o processo de aglutinação, se torna essencialmente uma rocha artificial. Além da água, essencial para a reação, pode ser adicionado aditivos que afetam as propriedades físicas e químicas do concreto, tanto em seu estado fresco quanto endurecido.

Os autores descrevem o concreto fresco como maleável para moldagem em formas e compactado com vibradores. O endurecimento começa em poucas horas e, após 28 dias, geralmente atinge de 60 a 90% de sua resistência mecânica, dependendo do tipo de cimento utilizado.

Em relação à dosagem do concreto, mais conhecida pelo nome de “traço” pelos profissionais da área, Almeida et al. (2019) destaca sua importância no desenvolvimento da tecnologia do material, pois é através dela que se obtêm as propriedades desejadas.

Carvalho e Figueiredo Filho (2014) ampliam a compreensão sobre o concreto e suas variantes, como a pasta, a argamassa (pasta+agregado miúdo) e o microconcreto, que consiste em um concreto com agregados graúdos de dimensões reduzidas.

3.1.1 Cimento

O cimento ou aglomerante é produzido pelo aquecimento do calcário e da argila até a sinterização, resultando no conhecido "clínquer de cimento". Posteriormente, essa mistura é moída até se obter um produto de textura fina. Os

cimentos, enquanto aglomerantes hidráulicos, desempenham um papel fundamental na determinação das características iniciais do concreto (Leonhardt e Monnig, 1977).

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABPC, 2002), no Brasil, há diversos tipos de cimentos Portland, cada um com características distintas, principalmente devido à sua composição. Os principais tipos disponíveis no mercado, e consequentemente os mais utilizados na construção civil, são:

CP I – Cimento comum;

CP II – Cimento composto;

CP II-E – Cimento composto com escória;

CP II-Z – Cimento composto com pozolana;

CP II-F – Cimento composto com fíler;

CP III – Cimento de alto forno;

CP IV – Cimento pozolânico;

CP V – ARI – Cimento de alta resistência inicial.

Em menor escala de consumo, como o Cimento Portland branco e o Cimento para poços petrolíferos, há outros tipos de cimentos e aglomerantes que são utilizados. Porém, a pesquisa trazida nesse trabalho usará o cimento Portland composto tradicional (CP II), por ser o mais utilizado em obras de pequeno porte.

3.1.2 Cimento composto

Como o objetivo desta pesquisa é analisar o comportamento do cimento Portland composto CP II quando os agregados graúdos que compõem o concreto são alterados, é importante começar fornecendo uma definição desse tipo de cimento.

De acordo com a ABPC (2002), o primeiro cimento Portland introduzido no mercado brasileiro foi o CP, agora conhecido como CP I. Trata-se de um tipo de cimento Portland comum, que não contém adições além do gesso (utilizado como retardador da pega). O CP I acabou sendo considerado como referência para comparação com as características e propriedades dos tipos de cimento que foram desenvolvidos posteriormente.

Para entender melhor a composição do CP II, a tabela abaixo detalha as porcentagens dos componentes adicionais que cada tipo de CP II apresenta:

Tabela 1 - Composição dos cimentos Portland compostos.

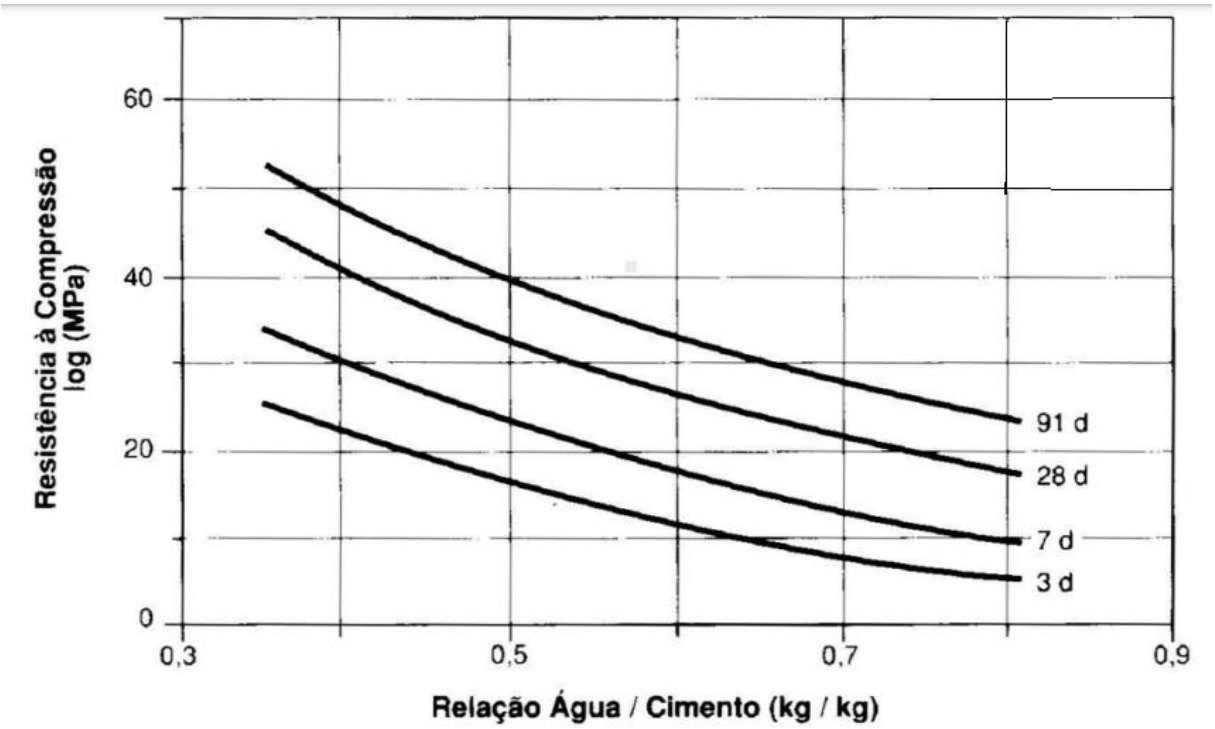
Tipo de Cimento Portland	**Sigla**	**Composição (% em massa)**				**Norma**
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)	
Composto	CP II-E	51-94	6-34	-	0-15	**NBR 16697:2018**
	CP II-Z	71-94	-	6-14	0-15	
	CP II-F	75-89	-	-	11-15	

Fonte: Adaptado de Associação brasileira de cimento portland, 2002.

3.1.3 Água

A relação entre a quantidade de água adicionada e a quantidade de cimento utilizada na produção do concreto desempenha um papel crucial na determinação de sua resistência final. Abrams (1919) foi o primeiro a sistematizar essa dependência em um trabalho publicado no ano em questão. Com base em experimentos de laboratório, ele demonstrou que a resistência do concreto estava intrinsecamente ligada às propriedades da pasta endurecida, as quais eram influenciadas pelo fator água/cimento da mistura, conforme figura abaixo.

Figura 1 - Curvas de Abrams.



Fonte: adaptado de Abrams (1919).

Essas curvas norteiam qual a melhor relação água/cimento para se atingir a resistência almejada. A água desempenha várias funções essenciais no processo de concretagem. Ela torna a mistura adequada para manipulação, facilita o deslocamento, a fixação e o adensamento, além de reagir quimicamente com o cimento. No entanto, o excesso de água permanece na argamassa até evaporar, deixando para trás canais capilares e pequenas bolhas no produto final. Quanto maior a quantidade de água presente, maior será o número de vazios na mistura e maior será a tendência de obter um concreto menos resistente (Yazigi, 2007).

3.1.4 Agregados

Os agregados são tipicamente acessíveis em termos de custo e não participam de reações químicas complexas com a água. Por essa razão, eram frequentemente considerados simples materiais inertes de preenchimento no concreto. No entanto, devido a uma compreensão mais aprofundada do papel desempenhado pelos agregados na determinação de muitas propriedades cruciais do concreto, a visão tradicional deles como material inerte entrou em desuso (Mehta e Monteiro, 2008).

Os autores também apontam a importância dos agregados, observando que representam de 60 a 80% do volume do concreto. Isso resulta em uma influência

significativa na resistência, estabilidade dimensional, durabilidade e trabalhabilidade das misturas de concreto, sendo tão importantes quanto os aglomerantes.

Van Vlack (1984) classifica os agregados em duas categorias: miúdos e graúdos, sendo essa classificação realizada através de análise granulométrica. Os agregados miúdos possuem granulometria inferior ou igual à 4,80 mm e maior que 0,075 mm, enquanto os agregados graúdos possuem granulometria superior a 4,8 até 152 mm (Fusco, 2012).

Como mencionado anteriormente, a pasta de cimento/água e o agregado miúdo formam a matriz do concreto, enquanto o agregado graúdo constitui o reforço. É fundamental que esses agregados tenham resistência superior àquela esperada para o concreto final (Van Vlack, 1984; Fusco, 2012).

A seleção adequada dos agregados é crucial, pois eles impactam o custo e a trabalhabilidade do concreto fresco, além de influenciarem a resistência mecânica, estabilidade dimensional e durabilidade do concreto endurecido. Para a fabricação de concretos, é comum utilizar britas com dimensões diferentes, conforme apresentado na tabela abaixo:

Tabela 2 - Classificação dos agregados graúdos por dimensão.

Categoria	Dimensão (mm)	Dimensão Máxima Característica (DMC)
Brita 0	4,8-9,5	9,5
Brita 1	9,5-19,0	19,0
Brita 2	19,0-25,0	25,0
Brita 3	25,0-50,0	50,0
Brita 4	50,0-76,0	76,0
Brita 5	76,0-100,0	100,0

Fonte: Adaptada de Fusco, 2012, p. 94.

3.2 RESÍDUOS INDUSTRIAIS

A palavra "resíduo" tem sua origem no latim "reliqua", que significa “sobra”. Os resíduos sólidos, uma forma comum de poluição industrial, frequentemente representam perdas de matérias-primas e insumos (Jacomino et al., 2002). Contudo, a geração de resíduos sólidos na indústria não se limita apenas às etapas do processo produtivo, nas quais subprodutos são descartados. Nas atividades

industriais, os sistemas de tratamento de águas residuais e emissões atmosféricas também são fontes importantes de resíduos sólidos (Oliveira, 2005).

A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece instrumentos essenciais para abordar os principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado de resíduos sólidos. Para os propósitos da lei, os resíduos sólidos são classificados de acordo com sua origem, incluindo resíduos industriais, gerados nos processos produtivos e instalações industriais.

A PNRS foi um avanço significativo ao tratar de todos os resíduos sólidos (materiais recicláveis ou reutilizáveis), sejam eles domésticos, industriais, eletrônicos, entre outros, assim como ao abordar os rejeitos (itens não reaproveitáveis), promovendo o descarte correto de forma colaborativa.

Ainda nessa direção, a resolução 307, de 5 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, classifica os resíduos em 4 classe:

> I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
> a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
> b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
> c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
> II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).
> III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução n° 431/11).
> IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução n° 348/04) (CONAMA, 2002, sem pág).

Ao buscar a redução dos custos de deposição e tratamento de resíduos, duas alternativas podem ser consideradas: redução do volume de resíduos produzidos e reciclagem dos resíduos (John, 2000). A redução do volume de resíduos produzidos

apresenta desafios técnicos, enquanto a reciclagem não apresenta limites naturais e é uma maneira de tratamento que pode gerar recursos financeiros. Além disso, a reciclagem é fundamental para a preservação do meio ambiente, não apenas para evitar a contaminação ambiental, mas também para reduzir o consumo de energia e recursos naturais não renováveis, promovendo o desenvolvimento sustentável.

3.2.1 Agregados de resíduos cerâmicos diversos

Existe um conjunto de trabalhos na literatura que abordam, de alguma forma, a substituição dos agregados tradicionais (brita ou areia) por um agregado de algum tipo de resíduo cerâmico, seja total ou parcialmente.

Leite (2001) conduziu uma análise das características mecânicas de concretos feitos com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição. Os materiais utilizados no estudo compreendiam uma combinação de rocha natural, argamassa e material cerâmico. Os resultados demonstraram a possibilidade viável da utilização desses agregados reciclados na fabricação de concreto.

Vieira e Dal Molin (2004) exploraram também a viabilidade técnica e econômica da incorporação desses resíduos de construção e demolição em concretos. De acordo com suas descobertas, algumas propriedades do concreto, como resistência à compressão e durabilidade, puderam ser aprimoradas com essa prática. Além disso, a análise de custo revelou viabilidade econômica em comparação com os agregados convencionais.

A substituição parcial do cimento por resíduos pulverulentos provenientes da indústria de cerâmica vermelha, como pozolana, foi investigada por Vieira (2005). Apesar de uma diminuição na resistência à compressão em comparação com o concreto de referência ter sido observada, formulações com até 40% de resíduo cerâmico ainda mantiveram 89% da resistência à compressão, indicando eficácia.

Gonçalves (2011) avaliou a viabilidade técnica da utilização de resíduos de concreto pré-fabricado como agregado de grande porte, substituindo até 50% do agregado convencional na produção de novos concretos. Os resultados indicaram um aumento nas propriedades de resistência à compressão e tração dos concretos fabricados com resíduos.

Martín-Morales et al. (2017) investigaram o uso de agregados menores e maiores reciclados na produção de blocos ocos de concreto. Os resultados

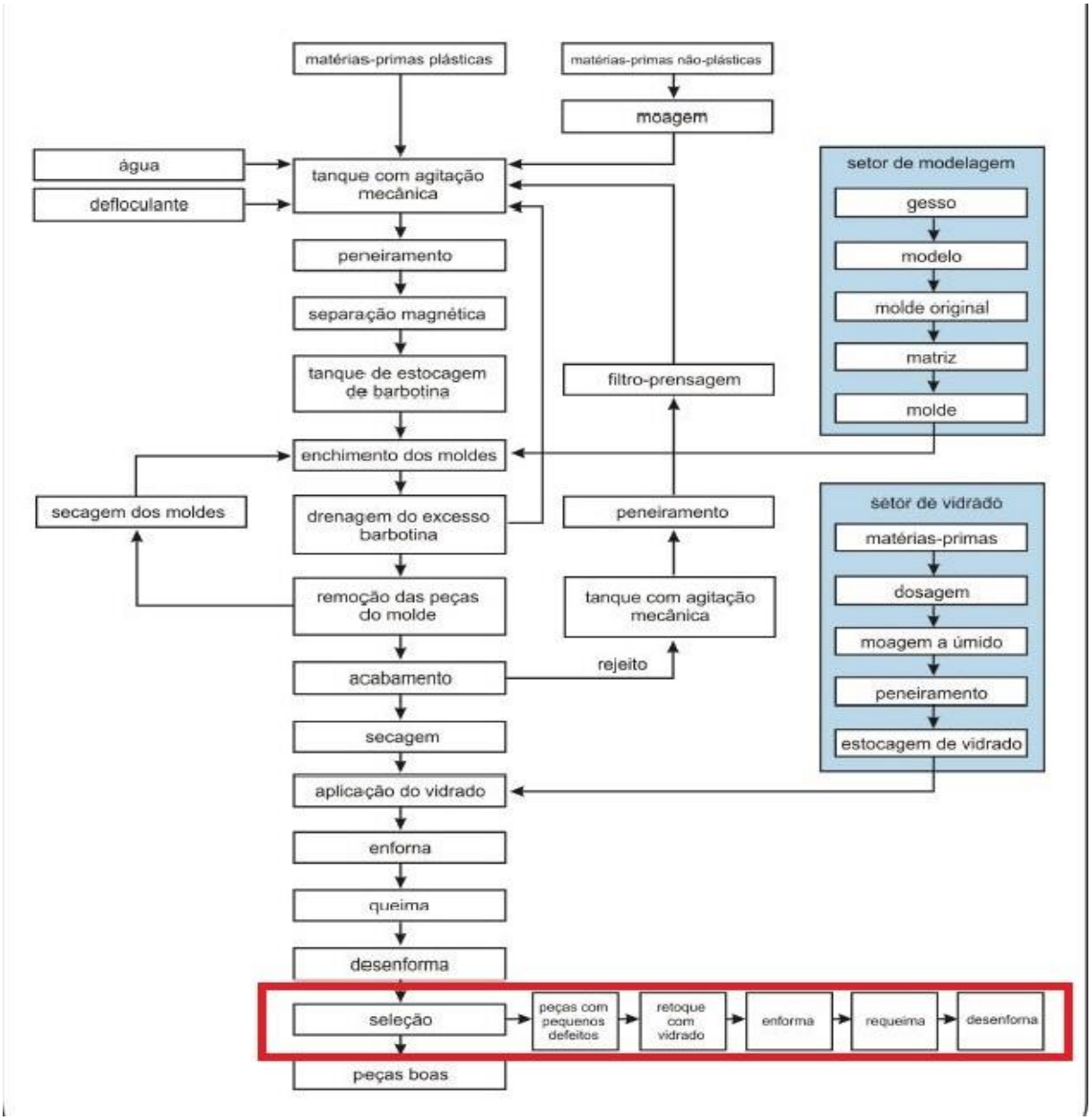
mostraram que o uso desses agregados não comprometeu as propriedades físicas e mecânicas dos blocos, atendendo aos padrões para comercialização.

3.2.2 Processo de confecção de louças sanitárias

As etapas que compõem a confecção de louças sanitárias são parecidas com a de outros materiais cerâmicos. Nesse caso, é usado o processo de moldagem chamado fundição (também conhecido como colagem ou enchimento). Esse processo baseia-se na eliminação de parte do líquido de uma suspensão (barbotina), na qual contém 45-60% de água, quando colocada em contato com um molde de material absorvente (geralmente gesso) (Reed, 1995).

Para detalhar esse processo, a imagem abaixo aponta todas as etapas, incluindo as etapas prévias de seleção e moagem do material, bem como a adição de produtos na barbotina, o preenchimento dos moldes, a obtenção do material que servirá como esmalte, as queimas e correções.

Figura 2 - Fluxograma do processo de produção de louças sanitárias.



Fonte: Adaptado de Associação brasileira de cerâmica, 2024.

Na pesquisa relatada nesse trabalho, a etapa mais importante se encontra em destaque no retângulo vermelho. Nele, estão as etapas finais, em que as peças após receberam o vidrado, que serve como esmalte, e serem queimadas, passam por um processo de seleção, em que as peças boas seguem para serem embaladas e transportadas para os locais de venda, enquanto as peças que apresentam defeitos seguem para outro destino. Essas peças defeituosas são analisadas e, caso possuam defeitos reversíveis, recebem nova camada de vidrado e são novamente queimadas e seguem o fluxo até o final. Por outro lado, se a peça tem defeitos

irreversíveis ou mesmo após o processo de nova adição de vidrado e de queima, o defeito não foi sanado, as peças são descartadas, tornando-se resíduo (ABCERAM, 2024).

Nessa pesquisa, o scrap foi obtido de uma Empresa de louças sanitárias localizada em Caruaru/PE em uma amostra de cerca de 50 kg. Esse material era destinado à produção de louças sanitárias, mas por apresentarem defeitos, iriam para descarte, já que cerca de 15% da produção da Empresa fica inapropriada para ser vendida e é descartada como entulho em aterro sanitário.

Dentre os processos envolvidos na fabricação das peças, a queima é realizada durante 11 horas, a qual se inicia com 50 °C e vai até 1220 °C. permanecendo por 60 minutos nessa temperatura e em seguida é resfriada para 800°C (Oliveira, 2024).

As matérias-primas utilizadas na parte estrutural das louças, são o feldspato potássico, o quartzo, o filito e a argila. Já os materiais que constituem o esmalte no scrap cerâmico são o feldspato de sódio, o feldspato potássico, o quartzo, o caulim, o carbonato de bário, o carbonato de cálcio, o carbonato de cálcio e magnésio e o agalmatolito (Oliveira, 2024).

3.2.3 Agregados graúdos produzidos de Scrap cerâmico de louças sanitárias

Após conformada, a louça sanitária resulta em características como absorção nula de água e alta resistência mecânica (Cavalcante, 2005).

Almeida et al. (2019) destaca a necessidade de estudar o reuso de louças sanitárias e propõe uma análise para equilibrar as resistências físicas e mecânicas de concretos que utilizam louça sanitária como agregado graúdo, comparando diferentes composições com o uso de brita.

Os resíduos provenientes das indústrias de louças sanitárias geralmente incluem sobras e recortes resultantes da quebra do material durante o processo de fabricação, movimentação e estoque, ou peças que não passaram nos controles de qualidade.

De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2024), a indústria brasileira de louças sanitárias é uma das líderes mundiais em tecnologia, com cerca de 20 empresas distribuídas em estados como Ceará, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e São

Paulo, gerando uma grande produção de louças sanitárias, mas também uma grande quantidade de scrap cerâmico.

Silva Junior et al. (2002) desenvolveram uma argamassa utilizando resíduos de louça sanitária. A proporção volumétrica da argamassa produzida foi de 1:2:9 (cimento:cal:agregado), seguindo a consistência padrão para argamassas de revestimento. Os autores sugerem que essa argamassa pode substituir as convencionais, trazendo benefícios tanto em termos de custo quanto ambientais.

Martins et al. (2004) examinaram a fabricação e a resistência à compressão de concretos contendo resíduos de louça sanitária, substituindo totalmente o agregado natural. Eles observaram que a fabricação do concreto com resíduos não apresentou diferenças técnicas significativas em relação ao concreto convencional. Além disso, aos 28 dias, a resistência à compressão foi de 26,6 MPa, sugerindo seu uso em aplicações estruturais, embora sejam necessários mais testes para confirmar essa viabilidade.

Medina et al. (2012a) investigaram a influência dos resíduos de louça sanitária nas propriedades do concreto. Eles fabricaram quatro formulações de concreto, uma delas como referência e as outras com 15%, 20% e 25% de resíduos de louça sanitária em substituição ao agregado graúdo. Os autores observaram aumento na resistência à compressão do concreto com o aumento da proporção de resíduos. Além disso, a microestrutura dos concretos na interface argamassa e resíduo de louça sanitária apresentaram maior compactação e estabilidade em comparação com a interface argamassa e agregado graúdo.

Medina et al. (2012b) estabeleceram uma correlação linear entre a porcentagem de resíduos de louça sanitária e o teste de abatimento (com um coeficiente de determinação R^2 igual a 98,78%) em concretos fabricados com diferentes proporções de resíduos em substituição ao agregado graúdo natural (15%, 20% e 25%). A correlação linear adotada para estimar a densidade do concreto com base no conteúdo de resíduos de louça sanitária apresentou um coeficiente de determinação de 91,43%.

3.3 ANTIDERRAPANTE LP

O produto Antiderrapante LP da Empresa Pisoclean é indicado para aumentar “o coeficiente de fricção do piso através da criação de microventosas, invisíveis a olho nu” (Pisoclean, 2023, sem página). O fornecedor recomenda utilizar o produto

sobre a superfície de 1 a 6 minutos (podendo ficar mais tempo, a depender do material) dependendo da superfície, havendo a necessidade de esfregar o produto com o auxílio de uma vassoura de plástico. Após isso, a superfície deve ser enxaguada abundantemente para toda a retirada do produto, pois ele pode acabar corroendo mais do que o necessário.

O produto é líquido e seu princípio ativo é o ácido fosfórico e sua composição possui surfactante, tensoativo não-iônico, alcalinizante, conservante e veículo (Pisoclean, 2023). O ácido fosfórico foi usado por Soranzo et al. (2017) em um trabalho onde essa substância foi usada para analisar o nível de limpabilidade de porcelanatos polidos. De forma indireta, essa mesma pesquisa mostrou que uma peça de porcelanato comercial do tipo A, com dimensões 60x30 cm na cor branca, inicialmente possuía um percentual aproximado de 16% de sua superfície com a presença de poros (a maioria com o tamanho entre 5 e 10 µm). Quando foi aplicado o ácido fosfórico na superfície, o percentual aumentou para 30,9% (Soranzo et al., 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O scrap foi obtido através de doação da Empresa citada e os procedimentos experimentais ocorreram no laboratório da Empresa Ruptest: Controle e tecnologia do concreto, que também é localizada na cidade de Caruaru/PE e na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), no Laboratório de Peneiras Moleculares (LABPEMOL).

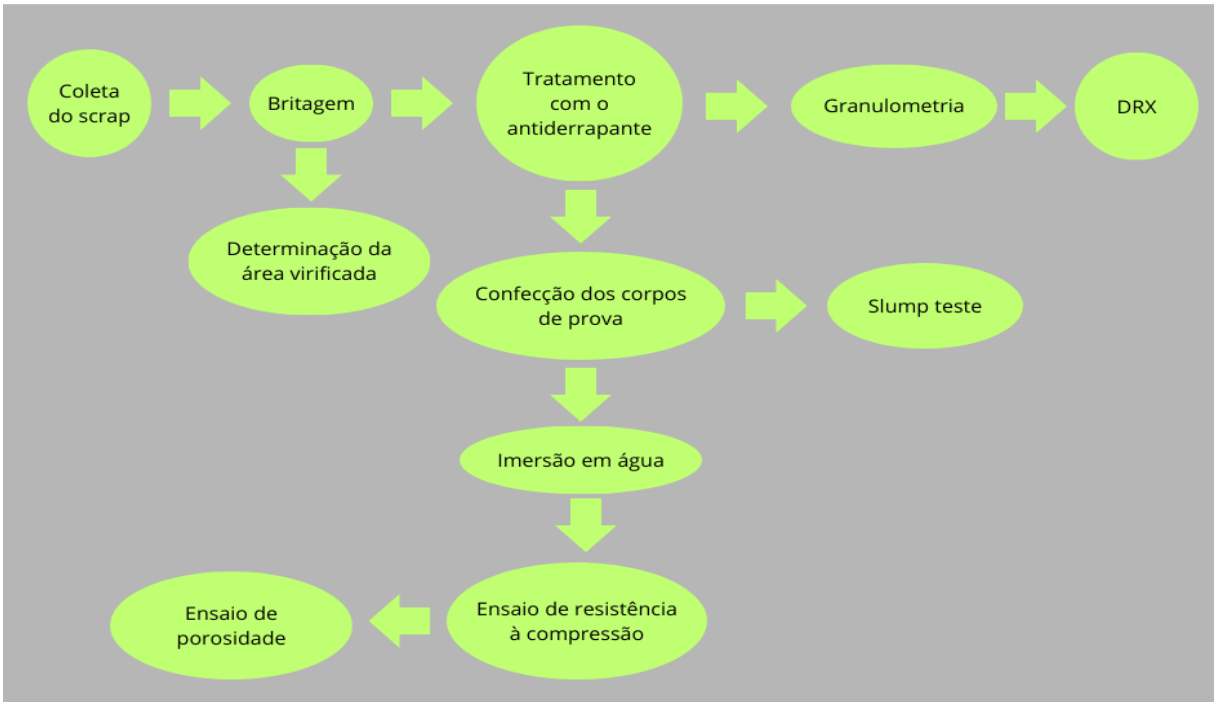
4.1 MATERIAIS

Os componentes utilizados para a confecção do concreto de referência (CR) e o concreto com scrap cerâmico (CS's e CT's) foram selecionados para se obter um concreto dentro dos padrões da construção civil. Os materiais são os seguintes:

- Areia grossa, como agregado miúdo, obtida comercialmente da região de Caruaru/PE;
- Brita 1, como agregado graúdo, obtida comercialmente da região de Caruaru/PE;
- Cimento Montes Claros ultra forte de 50 kg, do tipo Portland CP II E 32, como aglomerante, produzido pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN);
- Scrap cerâmico obtido na Empresa localizada em Caruaru/PE, oriundo de resíduos de louças sanitárias, como substituto parcial da brita 1 nos concretos com scrap cerâmico;
- Água da rede de distribuição de Pernambuco (COMPESA) disponível no próprio laboratório;
- Antiderrapante LP para fazer o tratamento de parte do scrap.

Abaixo está uma figura que mostra um fluxograma das etapas realizadas nessa pesquisa.

Figura 3 – Fluxograma dos métodos realizados.



Fonte: do autor, 2024.

4.1.1 Composição e proporção dos componentes do concreto

Nessa pesquisa, foi estudada uma proporção entre os componentes do concreto que estivessem de acordo com as aplicações na construção civil e também teoricamente. O padrão usado será o do método IPT/EPUSP, em que se busca a melhor relação entre os componentes do concreto, levando em conta questões como a trabalhabilidade e a resistência do concreto.

Inicialmente, é necessário estabelecer qual a melhor mistura a ser usada. Como se trata de uma aplicação com um cimento usado em estruturas de pequeno e médio porte, foi utilizado o padrão médio, que corresponde a 1 unidade de massa de cimento para 5 unidades de massa de brita e areia somadas (1:5), com objetivo de alcançar resistências maiores que 20 MPa. Após isso, é necessário estabelecer o teor de argamassa ($\propto$), dado pela equação:

$$\propto = \frac{1 + a}{1 + M} \qquad (1)$$

Onde a é a massa da areia a ser utilizada e M é a soma das massa de brita e areia (que no caso em questão, será 5). O valor de $\propto$ é encontrado experimentalmente, porém o entendimento teórico, para aplicações como as feitas

nesse trabalho, é de que um valor ideal gira em torno de 58%. Esse será o valor a ser utilizado nos procedimentos dessa pesquisa. Com isso, substituindo os valores de $\propto$ e M na equação 1, encontramos o valor de a como sendo 2,48 unidades de massa de areia para cada 1 unidade de massa de cimento.

Para encontrar a unidade de massa do agregado graúdo (p) (brita ou scrap), utiliza-se a seguinte expressão:

$$p = M - a \qquad (2)$$

Com ela, encontramos o valor de p sendo 2,52 unidades de massa de agregado graúdo para cada unidade de massa de cimento. Com relação ao fator água/cimento, nessa pesquisa será usado 0,5, que é um valor que permite alcançar a resistência almejada acima de 20 MPa após 28 dias de cura, conforme as curvas de Abrams indicam (figura 1). Esses dados nos dão uma mistura de concreto com referência do cimento, agregado miúdo e agregado graúdo, respectivamente, 1:2,48:2,52. Esse último pode ser somente brita ou uma combinação de brita e scrap.

4.1.2 Scrap cerâmico

O material obtido na Empresa foi trazido em baldes de construção e levados para o laboratório, conforme Figura 4.

Figura 4 – Scrap coletado.

Fonte: do autor, 2024.

Para ser usado, foi necessário que ele passasse por um processo de homogeneização. Primeiramente, uma diminuição prévia do material feita através de martelos. Após isso, o scrap foi homogeneizado através de um britador de mandíbulas da marca Pavitest, modelo I4198, configurado para deixar o material com as dimensões definidas no trabalho (brita 1). Essas dimensões foram verificadas por meio de ensaios com parte do material já britado usando uma peneira com abertura de 25 mm.

A figura 5 mostra o scrap após a diminuição prévia e após a homogeneização no britador.

Figura 5 – Scrap antes e depois da homogeneização.

Fonte: do autor, 2024.

Legenda: (A) Scrap após diminuição com martelos;
(B) Scrap após a diminuição com britador.

4.1.3 Aplicação do antiderrapante LP

Para essa pesquisa, será utilizado o produto comercial Antiderrapante LP, fabricado pela PisoClean. Ele é um produto feito para ser aplicado em cerâmicas, mármores, porcelanatos, granitos, ladrilhos, pedras naturais, cimentados, azulejos, entre outros. Sua utilização visa à corrosão parcial da superfície que recebeu a aplicação, criando pequenos poros que vão tornar a superfície mais antiderrapante, o que é feito para evitar acidentes e quedas de pessoas através de escorregões (Pisoclean, 2023).

Dessa forma, com o scrap já homogeneizado, foi feita a aplicação do antiderrapante LP. Foram seguidas as instruções do produto para aplicação e uma adaptação foi realizada, já que o produto é feito para ser aplicado sobre superfícies. Essa adaptação se deu em colocar parte do scrap britado em um recipiente grande que pudesse receber o produto, conforme figura 6.

Figura 6 – Aplicação do antiderrapante.

Fonte: do autor, 2024.

Legenda: (A) Aplicação do antiderrapante no scrap;
(B) Lavagem e secagem do scrap.

O material foi deixado por 20 minutos em contato com o antiderrapante (Figura 6A), sendo misturado durante todo o tempo com ajuda de uma vassoura de plástico. Após esse período, o produto foi retirado do scrap com utilização de água abundante. Após a retirada, o material foi seco ao ar livre (Figura 6B) e posteriormente armazenado.

4.1.4 Quantidade de área vitrificada do scrap

Para fazer uma estimativa da porcentagem da área do scrap que possui o esmalte, foi coletada uma amostra de cerca de 50 unidades de scrap já britados. Após isso, foram medidas, com auxílio de uma régua e de uma fita métrica, as dimensões dessas unidades. Com base nos valores, foi feito uma média dos valores da área da parte esmaltada e da parte sem esmalte.

4.2 ENSAIOS GRANULOMÉTRICOS

Esses ensaios foram feitos com usos de peneiras com base na série de Taylor. Foram feitos ensaios com a areia, com a brita e com o scrap de louça sanitária.

4.3 ENSAIO DE DIFRAÇÃO

Os ensaios de difração de raios X do scrap foram realizados na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), no Laboratório de Peneiras Moleculares (LABPEMOL). O ensaio foi feito no equipamento Bruker D2Phaser equipado com um detector Lynxeye e radiação de cobre (CuKα, λ=1,54Å) com um filtro de Ni, corrente de 10 mA, voltagem de 30kV, utilizando um detector Lynxeye., com as seguintes configurações: faixa 2-theta de 2° - 40°; fenda divergente de 0,6 mm; fenda central de1 mm; fenda convergente; passo de 0,01° e tempo de aquisição de 0,2 s.

4.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE

Para obter a densidade da areia, foi utilizada a norma NBR 16916:2021 “Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água”. Já para obter a densidade do scrap e da brita, foi utilizada a norma NBR 16917:2021 “Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água”. A densidade do cimento foi obtida através de dados do fabricante.

4.5 FORMULAÇÕES DO CONCRETO

O concreto de referência, que possui 100% de brita e 0% de scrap, foi utilizado como referência - CR. Já os concretos com adições do scrap sem tratamento, foram chamados de “CS’s”, enquanto os concretos com adições do scrap com tratamento do antiderrapante foram chamados de “CT’s”. A tabela 3 detalha essas nomenclaturas.

Tabela 3 – Percentuais de agregado graúdo nos concretos.

Concreto	% Brita	% Scrap sem tratamento	% Scrap com tratamento
CR	100	0	0
CS10	90	10	0
CS20	80	20	0
CT10	90	0	10
CT20	80	0	20

Fonte: do autor, 2024.

Já com relação à massa de cada componente nos vários tipos de concreto, a Tabela 4 mostra esses valores, levando em conta os valores característicos de cada material, usando como valor referente 1kg de cimento.

Tabela 4 – Composição dos concretos.

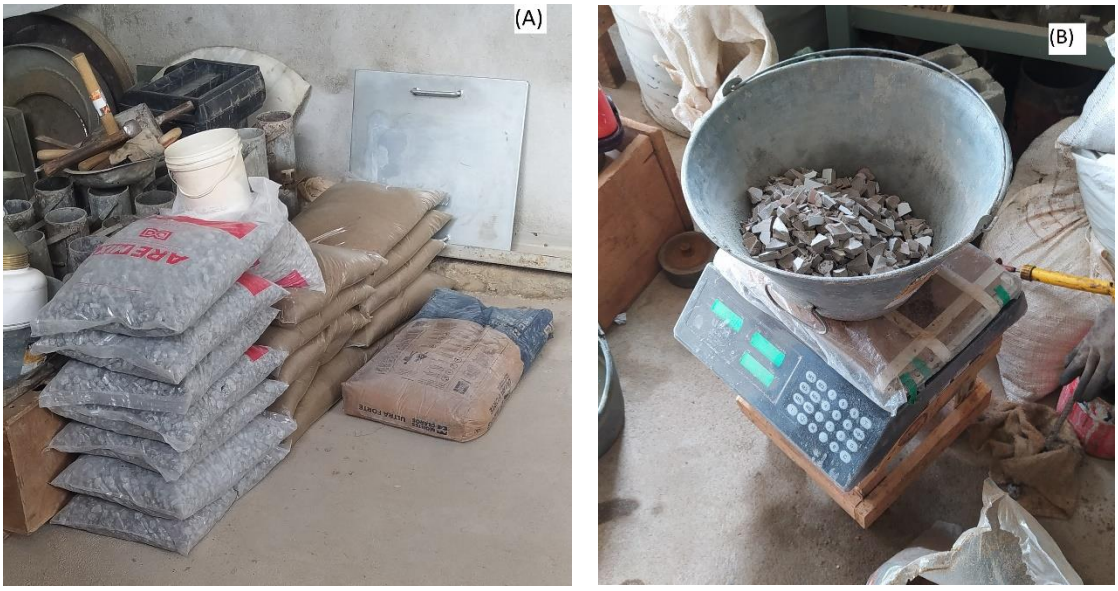
Componentes		CR	CS10	CS20	CT10	CT20
Cimento (c)	**kg**	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Areia	**kg**	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48
Brita	**kg**	2,52	2,27	2,02	2,27	2,02
Scrap	**kg**	0	0,25	0,50	0	0
Scrap tratado	**kg**	0	0	0	0,25	0,50
Água (a)	**kg**	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fator a/c		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Fonte: do autor, 2024.

4.6 PRODUÇÃO DO CONCRETO

Com base nas normas ABNT NBR NM 12655:2006 "Concreto: preparo, controle e recebimento" e NBR NM 33:1998 "Concreto: amostragem de concreto fresco", as composições foram elaboradas. Os elementos foram pesados separadamente na mesma balança e, em seguida, adicionados à betoneira. As imagens abaixo ilustram o passo a passo do processo.

Figura 7 – Procedimentos de confecção do concreto.



Fonte: do autor, 2024.

Legenda: (A) Materiais utilizados na confecção do concreto;

(B) Amostra do scrap sendo pesado na balança;

(C) Material sendo despejado na betoneira;

(D) Concreto após sair da betoneira.

Com a betoneira ligada, a adição dos materiais nela seguiu uma sequência, que está esquematizada na figura a seguir:

Figura 8 – Sequência de adição dos materiais na betoneira.

Fonte: do autor, 2024.

4.6.1 Abatimento do concreto

Para identificar o abatimento de cada tipo de concreto, objetivando estudar suas respectivas trabalhabilidades, foi realizado o ensaio conhecido como *Slump test* (slump teste), de acordo com a norma ABNT NBR NM 67:1998 “Concreto:

determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”, conforme mostra a figura 9.

Esse procedimento é simples e conta com o auxílio de um cone cilíndrico que possui 200 mm ± 2 mm de diâmetro na base maior, 100 mm ± 2 mm de diâmetro na base menor e 300 mm ± 2 mm de altura.

Usando o concreto fresco, despeja-se o material em três porções iguais dentro do cone cilíndrico. Utilizando um bastão metálico e o cone cilíndrico sobre uma base metálica plana e quadrada de 50 cm, coloca-se as 3 camadas de concreto. Entre os preenchimentos das camadas, são aplicados 25 golpes com o bastão para compactar a massa. Após a terceira camada, que deve preencher completamente o cone cilíndrico, retira-se o cone. Após 5 a 10 segundos, realiza-se a medição entre o topo da massa compactada e o topo do cone, (ambos sobre a chapa metálica), com a base de diâmetro maior para cima. Nessa pesquisa, o objetivo dos abatimentos dos concretos é estarem dentro do intervalo de 12cm ± 2cm.

Figura 9 – Procedimento do slump teste.

Fonte: do autor, 2024.

Legenda: (A) Preenchimento do tronco de cone;
(B) Adensamento com haste metálica.

4.6.2 Confecção dos corpos de prova

Para esta etapa, foi usada como referência a norma ABNT NBR 5738:2015 “Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”. Os corpos de

prova foram moldados em fôrmas metálicas cilíndricas de 20 cm de altura por 10 cm de largura, conforme Figura 10.

Figura 10 – Enchimento dos moldes.

Fonte: do autor, 2024.

Legenda: (A) Moldes com óleo mineral;
(B) Adensamento do concreto nos moldes com haste metálica;
(C) Moldes preenchidos.

Após 24h do preenchimento, os corpos de prova foram retirados dos moldes e colocados em um tanque de água para cura úmida, conforme Figura 11.

Figura 11 – Desmoldagem e imersão em água dos corpos de prova.

Fonte: do autor, 2024.

Legenda: (A) Corpo de prova sendo desmoldado;
(B) Corpos de prova desmoldados;
(C) Corpos de prova submersos.

4.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os corpos de prova foram feitos em 5 grupos, um para cada tipo de concreto definido anteriormente. Foram feitos os rompimentos dos corpos de prova em 3, 7 e 28 dias após a confecção do concreto e, para isso, foram utilizados 3 corpos de

prova de cada tipo de concreto em cada data, totalizando 9 corpos de prova para cada tipo para obtenção das resistências à compressão (45 no total). Essas atividades foram realizadas seguindo o padrão recomendado na norma ABNT NBR 5739:2007 “Concreto: ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos”, excluindo-se alguns dias descritos na norma por não serem significativos para aplicações de concreto com o cimento CP II.

Para realizar o ensaio de compressão foi necessário nivelar a superfície dos corpos de prova utilizando um retificador manual. Esse equipamento é adequado para a retificação de corpos de prova cilíndricos de concreto, argamassa e rocha com diâmetros de 5, 10 e 15 cm.

Para serem encontradas as respectivas resistências, os corpos de prova foram submetidos a uma prensa hidráulica automática com mostrador digital da marca Pavitest, na unidade quilograma-força (kgf), com capacidade máxima de 100 toneladas.

A prensa exerce uma força paralela no lado de maior comprimento do corpo de prova. Essa resistência à compressão (σ) foi medida na prensa em kgf, transformada em $tonelada/m^2$ e reescrita em MPa (Mega Pascal) posteriormente, pois é a unidade mais usada quando se trata de concreto. A tensão (σ) foi dada pela máxima força resistida pelo corpo de prova (F) dividida pela área da seção transversal em que a força foi aplicada (A). A equação a seguir detalha essa explicação:

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

4.8 ENSAIO DE POROSIDADE

Para determinação da porosidade das amostras foi usado o método trazido na norma ABNT NBR 9778:1987 “Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica”. Esse método consiste em levar os corpos de prova que foram rompidos após 28 dias para secar, a 100 ^{o}C, em uma estufa por 24 horas. Decorrido esse tempo, as amostras são esfriadas ao ar livre e cada uma tem sua massa seca (m_s) medida.

Após isso, as amostras são submersas em água a temperatura ambiente por mais 24 horas. Passado esse tempo, as amostras são retiradas, o excesso de água é enxugado com ajuda de um pano e cada amostra tem sua massa saturada (m_u)

medida. Logo em seguida, cada amostra é pesada por meio do método gravimétrico, utilizando um barbante para amarrar cada amostra. Esse barbante é levantado por meio de uma balança de precisão de mão que possui um gancho. Enquanto a amostra é pesada, ela fica imersa em um balde com água e tem sua massa imersa em água (m_a) calculada. Com esses valores, o percentual de porosidade (P) pode ser calculado através da expressão:

$$P = \frac{m_u - m_s}{m_u - m_a} \qquad (4)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão abordadas as análises as quais foram possíveis pelos procedimentos experimentais.

5.1 GRANULOMETRIA

A granulometria encontrada para o scrap cerâmico e a brita, através de amostras aleatórias colhida desses materiais, contendo 1 kg cada, está detalhada nas Tabelas 5 e 6, respectivamente

Tabela 5 – Valores granulométricos das amostras de scrap.

Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2		
	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
25	0	0	0	0	0	0
19	108	10,8	10,8	43	4,3	4,3
12,5	511	51,1	61,9	638	63,8	68,1
9,5	268	26,8	88,7	232	23,2	91,3
6,3	98	9,8	98,5	82	8,2	99,5
4,8	10	1,0	99,5	3	0,3	99,8
Fundo	5	0,5	100	2	0,2	100
Total	1000	100	–	1000	100	–

Fonte: do autor, 2024.

Tabela 6 – Valores granulométricos das amostras de brita.

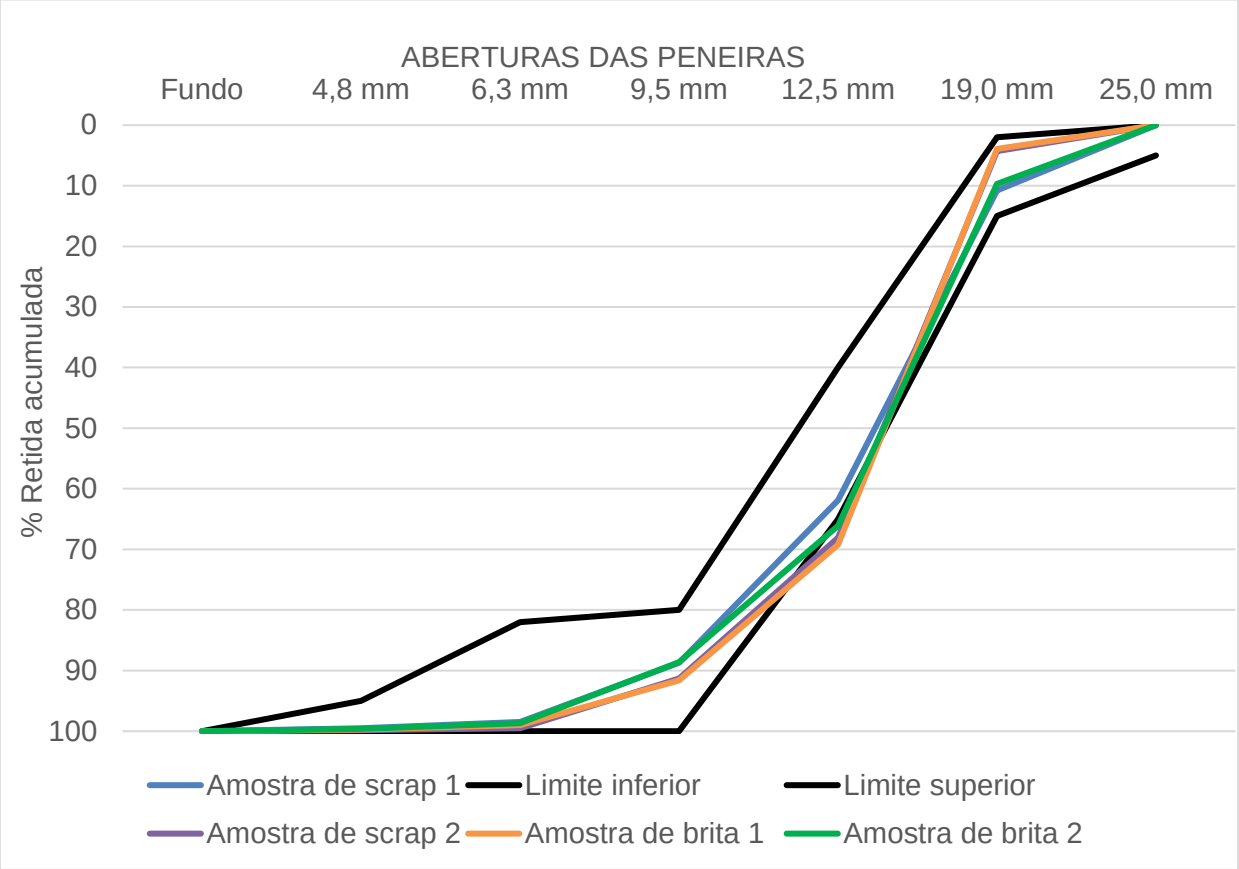
Peneiras (mm)	Amostra 1			Amostra 2		
	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada	Massa retida (g)	% Retida	% Retida acumulada
25	0	0	0	0	0	0
19	39	3,9	3,9	97	9,7	9,7
12,5	653	65,3	69,2	564	56,4	66,1
9,5	224	22,4	91,6	225	22,5	88,6
6,3	74	7,4	99	101	10,1	98,7
4,8	7	0,7	99,7	9	0,9	99,6
Fundo	3	0,3	100	4	0,4	100
Total	1000	100	–	1000	100	–

Fonte: do autor, 2024.

Com esses dados, é possível identificar que o scrap utilizado está de acordo com a norma ABNT NBR 7211: 2009 “Agregados para concreto – Especificação”, no que diz respeito a porcentagem acumulada de massa em cada peneira utilizada. Esse resultado também foi verificado por outros autores, como Silva (2021), Almeida

et al. (2019) e Medina et al. (2016). O Gráfico 1 detalha o padrão de dispersão que foi obtido em cada tipo de peneira.

Gráfico 1 – Distribuição granulométrica do scrap e da brita[1].



Fonte: do autor, 2024.

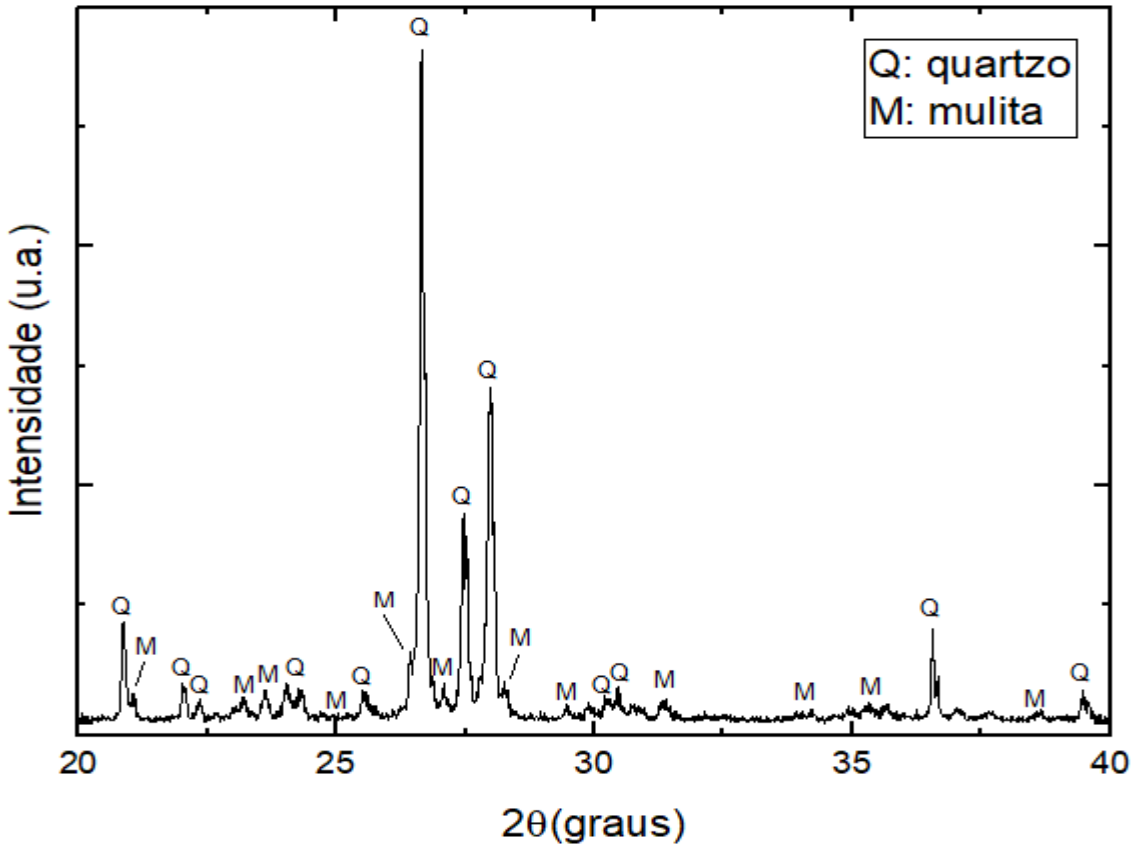
Esses valores mostram que a granulometria do scrap e da brita ficaram muito próximas, demonstrando uma similaridade entre os tamanhos desses agregados. Isso indica que o tamanho do scrap não é um fator que influência no desempenho final do concreto.

5.2 DIFRAÇÃO DE RAIO X

A figura 12 mostra o difratograma obtido para amostras de scrap submetidas ao teste de difração de raio X.

[1] As curvas do “Limite inferior” e “Limite superior” representam os valores contidos na norma ABNT NBR 7211: 2009.

Figura 12 – Difratograma de raios X do scrap cerâmico.



Fonte: do autor, 2024.

É possível notar que foram identificadas as fases quartzo (fase cristalina da sílica) e mulita (fase composta por alumina e sílica). Esse resultado também foi encontrado por outros autores, como Medina et al. (2012) e Almeida et al. (2019), o que indica que os componentes das louças sanitárias, apesar das diferenças de materiais de confecção de cada região, apresentam fases parecidas após a sinterização.

5.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS MATERIAIS

A massa específica da areia foi de 2,61 g/cm³. Enquanto que a massa específica da brita foi de 2,74 g/cm³, que são valores próximos do que comumente se encontra em materiais da região. A densidade do cimento é de 3,00 g/cm³ (CSN, 2024).

O resultado encontrado para a densidade do scrap cerâmico foi de 2,37 g/cm³, o que se aproxima bastante dos valores encontrados por outros autores, como Medina et al. (2016), Halicka et al. (2013) e Guerra et al. (2009), que encontraram os valores 2,39 g/cm³, 2,36 g/cm³ e 2,36 g/cm³, respectivamente. Já

com relação à porcentagem de área vitrificada do scrap, foi encontrado um valor de aproximadamente 35% e, consequentemente, 65% dele não possui esmalte. Essa proporção entre as áreas vitrificadas e não vitrificadas apesar de ser muito parecida quando a louça está finalizada, quando são quebradas, as superfícies geradas pela quebra não possuem esmalte, contribuindo para essa predominância das áreas não vitrificadas.

5.4 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

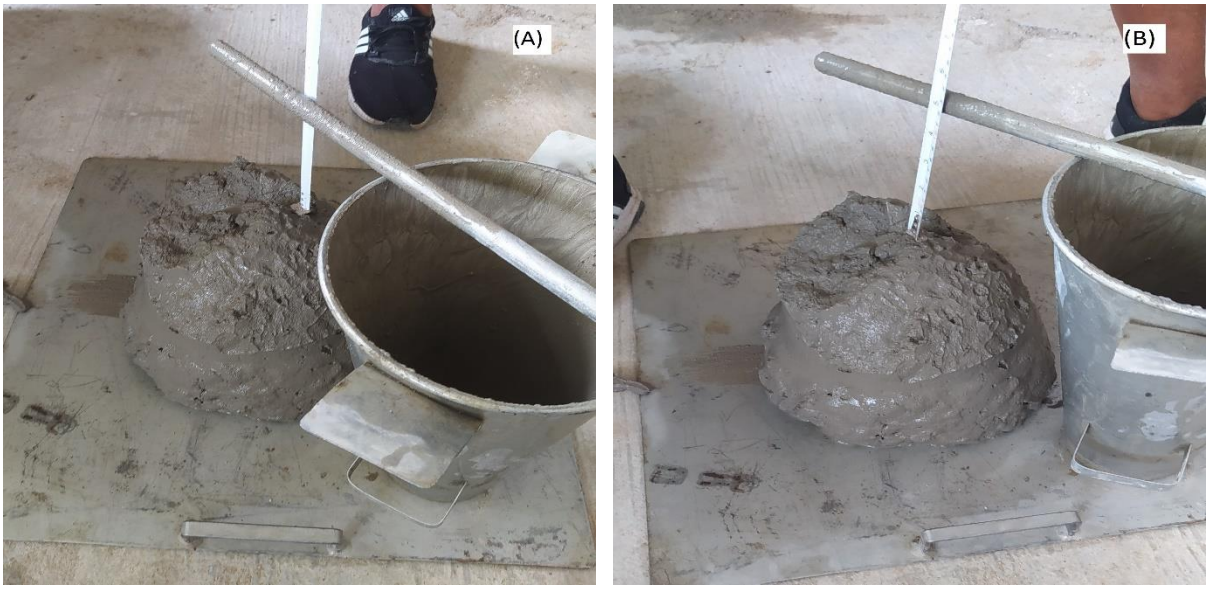
Os concretos preparados demonstraram excelente homogeneização, não havendo uma diferença visível entre o CR e qualquer um dos outros concretos com adição do scrap. Isso pode ser visto na Figura 13, o qual se trata do CT10.

Figura 13 – Concreto CT10 fresco.

Fonte: do autor, 2024.

Para analisar o abatimento, foi realizado o slump teste em amostras dos respectivos concretos (Figura 14). Os valores dos abatimentos são demonstrados na Tabela 7.

Figura 14 – Slump teste.



Fonte: do autor.

Legenda: (A) Slump teste do CR;
(B) Slump teste do CS20.

Tabela 7 – Slump teste das formulações de concreto.

Concreto	Abatimento (cm)
CR	11
CS10	11
CS20	11,5
CT10	12
CT20	10

Fonte: do autor, 2024.

Os abatimentos mostram que os concretos ficaram com consistências muito parecidas. A variação entre eles foi pequena, sendo o menor abatimento (11,5 cm do CS20) 1,5 cm menor do que o maior abatimento (10 cm do CT20). Esses valores dialogam com os valores encontrados na granulometria, tendo em vista que por apresentarem curvas granulométricas parecidas, o tamanho do agregado (brita ou scrap) teve influência parecida no resultado final dos abatimentos do concreto.

5.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CONCRETOS

As Tabelas 8, 9 e 10 contém os valores de resistência à compressão 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 (FCK Média) e o desvio padrão (dp).

Tabela 8 – Resistência à compressão (em MPa) dos concretos com 3 dias de cura.

Idade (dias)	CR	CS10	CS20	CT10	CT20
	12,49	13,34	12,44	12,95	11,31
3	12,36	12,81	11,96	12,25	11,05
	11,32	12,73	11,93	11,24	10,06
FCK (Média)	12,06	12,96	12,11	12,15	10,81
dp	0,52	0,27	0,23	0,70	0,54

Fonte: do autor, 2024.

Tabela 9 – Resistência à compressão (em MPa) dos concretos com 7 dias de cura.

Idade (dias)	CR	CS10	CS20	CT10	CT20
	15,76	15,64	15,46	15,38	14,99
7	14,71	15,05	14,83	14,86	13,90
	14,18	14,29	14,25	14,85	13,61
FCK (Média)	14,88	14,99	14,85	15,03	14,17
dp	0,66	0,55	0,49	0,25	0,59

Fonte: do autor, 2024.

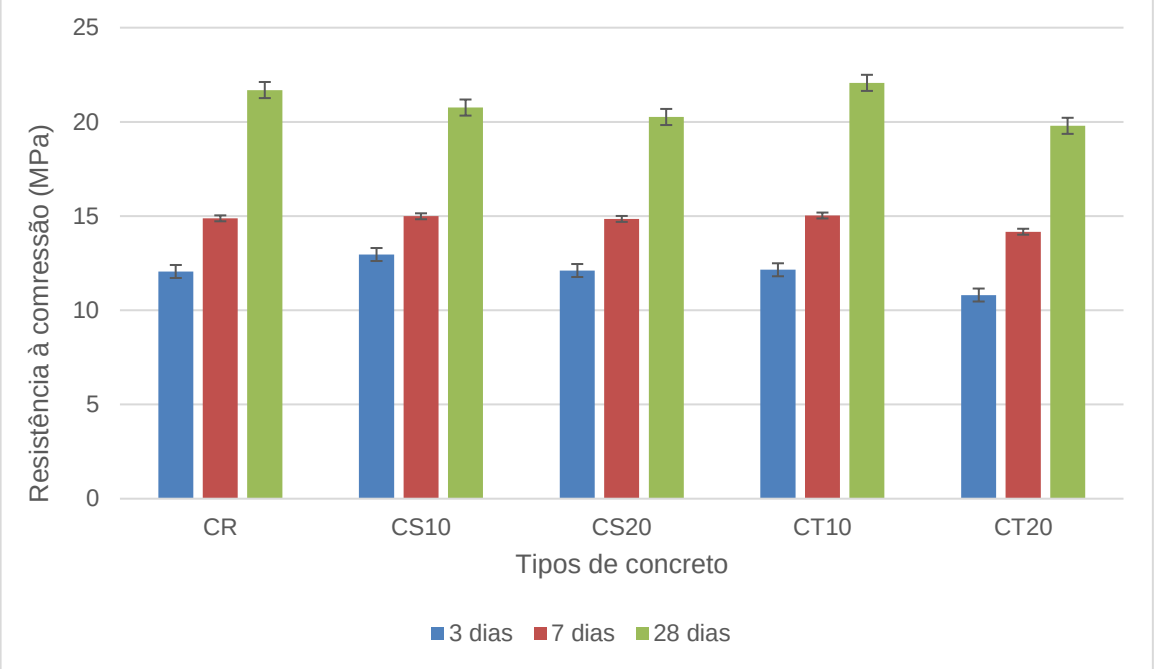
Tabela 10 – Resistência à compressão (em MPa) dos concretos com 28 dias de cura.

Idade (dias)	CR	CS10	CS20	CT10	CT20
	22,38	21,17	20,63	22,81	20,04
28	22,00	21,07	20,26	21,25	19,91
	20,68	20,04	19,89	22,14	19,41
FCK (Média)	21,69	20,76	20,26	22,07	19,79
dp	0,73	0,51	0,30	0,64	0,27

Fonte: do autor, 2024.

De acordo com os resultados apresentados nas tabelas acima, observa-se que os valores de resistência à compressão estiveram dentro de intervalos parecidos, quando se compara os concretos com scrap e o concreto de referência. Este comportamento deve-se ao fato que as substituições da brita pelo scrap foram em pequenas proporções e também a granulometria entre a brita e o scrap serem parecidas. No Gráfico 2 é possível visualizar de forma mais clara tal relação.

Gráfico 2 – Comparação entre valores médios de resistência à compressão entre diferentes formulações e dias de cura.



Fonte: do autor, 2024.

De acordo com este resultado, é possível observar o ganho de resistência com o passar dos dias, assim como Mehta e Monteiro (2008) indicam. Com relação aos corpos de prova rompidos no dia 3, os dados mostram valores de resistência à compressão variando entre 13,34 e 10,06 MPa. Os valores médios de resistência também ficaram próximos, sendo o CT20 o de menor valor (10,81 MPa) e o CS10 de maior valor (12,96 MPa).

Os corpos de prova rompidos com 7 dias de cura já apresentam uma tendência que se espera com o passar dos dias. Os valores de resistência variam entre 13,61 e 15,76 MPa, já as médias dos FCK mostraram que o CT20 apresentou o menor valor de resistência (14,17 MPa) e o CT10 o maior, com 15,03 MPa.

Com 28 dias de cura, o concreto já demonstra padrões que podem ser interpretados para se determinar a qualidade e a aplicabilidade do mesmo. Nessa pesquisa, os valores do FCK variaram entre 19,41 MPa e 22,81 MPa. Já os valores médios do FCK mostraram algo parecido com os valores encontrados em 7 dias de cura. O CT20 apresentou o menor valor de FCK (19,79 MPa) e o CT10 apresentou o maior valor, sendo 22,07 MPa.

De fato, os valores dos desvios padrões mostram que existem margens em que os valores de FCK podem flutuar para mais ou para menos, mas os dados

apontam claramente para um ligeiro melhor desempenho do CT10, inclusive quando comparado com o CR. Considerando os valores encontrados com 28 dias de cura, representa um ganho de resistência do CT10 de aproximadamente 1,75%, em relação ao CR. Contudo, esse ganho não é algo notório, o que indica que é necessário aperfeiçoar esse tipo de metodologia que utiliza o scrap nessas condições.

Pode-se considerar também que a melhoria poderia ser aumentada se o produto utilizado para criar poros no scrap cerâmico fosse destinado especificamente para essa função, como o usado no trabalho de Soranzo et al. (2017), já que o antiderrapante utilizado tem aplicação comercial e visa uma baixa formação de poros no material para que as propriedades estéticas não sejam perdidas.

Outra resposta que merece destaque foi em relação a proporção de substituição pelo scrap, já que os valores encontrados tanto no CS10 quanto no CT10 foram maiores do que os encontrados no CS20 e no CT20, considerando os FCK médios em 28 dias. No caso do CS10 e do CS20 a diferença foi de aproximadamente 2,5%. Já no caso do CT10 e do CT20 a diferença foi de aproximadamente 11,5%. Os resultados são maximizados quando se converge duas ações: a proporção de substituição adequada do agregado e a maior porosidade do scrap – e isso é máximo justamente no CT10.

5.6 POROSIDADE

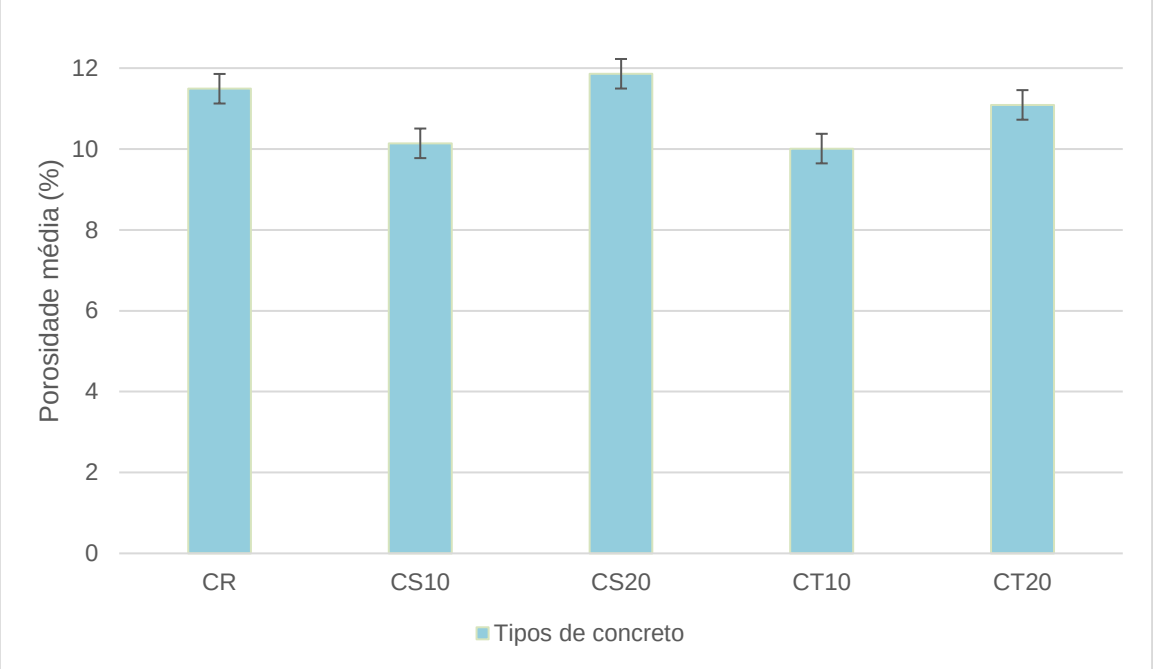
A Tabela 11 mostra os valores encontrados de porosidade para as 3 amostras de corpos de prova com 28 dias de cura para cada tipo de concreto após o rompimento. Além disso, também são mostrados a porosidade média (P média) e o desvio padrão (dp) dos valores. O Gráfico 3 retifica essas informações de forma visual.

Tabela 11 – Valores de porosidade dos concretos em porcentagem.

Corpo de prova	CR	CS10	CS20	CT10	CT20
1	11,43	9,98	11,59	10,02	10,86
2	10,72	10,64	12,11	9,03	10,34
3	12,33	9,79	11,88	10,97	12,08
Porosidade (média)	11,49	10,14	11,86	10,01	11,09
dp	0,66	0,36	0,21	0,79	0,73

Fonte: do autor, 2024.

Gráfico 3 – Comparação entre valores médios de porosidade nas amostras com 28 dias de cura.



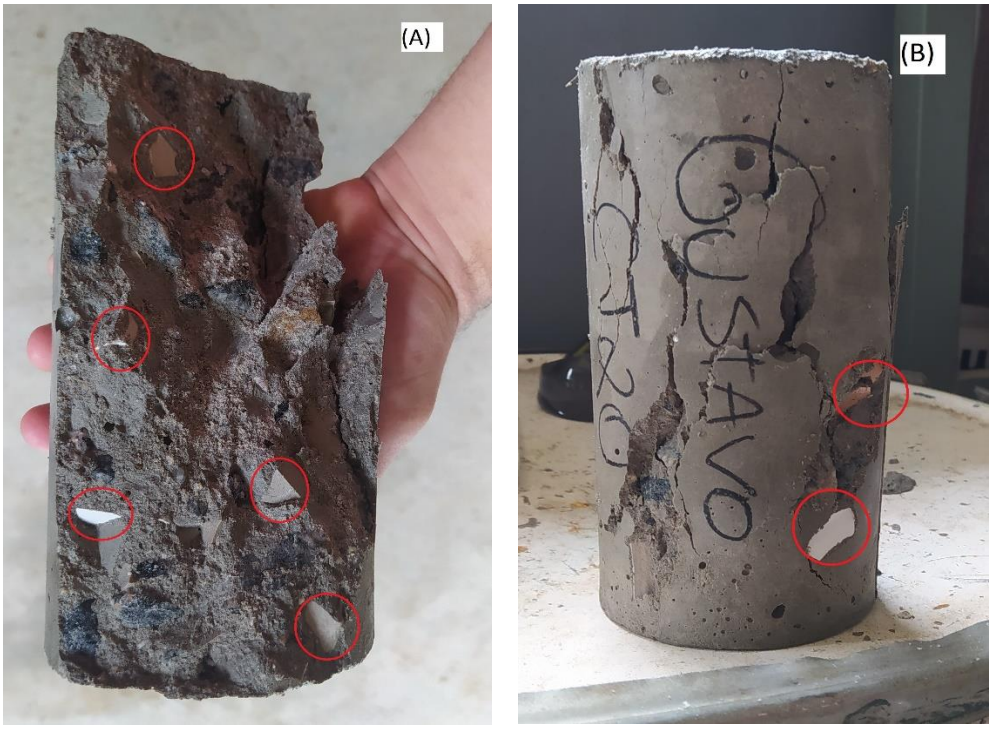
Fonte: do autor, 2024.

Com esses valores é possível observar que a porosidade média dos concretos foi semelhante, uma vez que as substituições da brita pelo scrap foram feitas em pequenas quantidades, quando comparadas a outras pesquisas.

No trabalho de Almeida et al. (2019), por exemplo, o valor encontrado para uma substituição de 25% de scrap teve uma porosidade média de 10,43%, próximo dos valores encontrados nessa pesquisa. Esses valores também são parecidos com os encontrados em outros trabalhos (Medina, Rojas e Frías (2013); Medina, Frías e Rojas (2012a)).

Porém, assim como aponta Zegardlo, MacieJ e Ogrodnik (2016), a porosidade não é o único fator que deve ser considerado em análises de resistência a compressão, quando se substitui resíduos de louças sanitárias no concreto. Isso se deve, pois, a face esmaltada do scrap é impermeável, o que faz com que a porosidade do concreto diminua. Porém, apesar de isso parecer uma vantagem, a face esmaltada também dificulta a interação entre a argamassa (cimento+areia+água) e o agregado graúdo, criando zonas de propagação de tensões, conforme mostra a figura 15.

Figura 15 – Interfaces vitrificadas do scrap cerâmico nos corpos de prova.



Fonte: do autor, 2024.

Legenda: (A) Amostra de corpo de prova do CS10 após rompimento;
(B) Amostra de corpo de prova do CT20 após rompimento.

Também é importante destacar que a adição do antiderrapante propiciou um aumento na porosidade do scrap, tendo em vista que o CT10 e o CT20 apresentaram uma porosidade menor do que os seus respectivos concretos sem tratamento (CS10 e CS20). Mas, quando se analisa a resistência, o CT10 apresenta um valor maior quando comparado com o CS10.

Isso pode indicar que não basta simplesmente aumentar a quantidade de poros do scrap ou substituir a brita por valores encontrados em outros trabalhos. Nessa pesquisa, a combinação com o melhor resultado foi o CT10, indicando que a porosidade criada pelo antiderrapante influenciou durante a produção do concreto, permitindo a interação da argamassa com o scrap, mas no estado endurecido, esses poros já não são mais tão relevantes, por já terem sido parcialmente preenchidos.

5.7 RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA E CLASSES DE CONSISTÊNCIA

Considerando os valores apresentados na Tabela 9, pode-se relacionar com os valores que são trazidos na norma ABNT NBR 8953:2015 “Concretos para fins

estruturais” na Tabela 12, para avaliar a resistência característica dos concretos produzidos nesse trabalho.

Tabela 12 – 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.

Com esses dados é possível verificar que, com exceção do CT20, todos os outros concretos se enquadram na classe C20. O CT20, inclusive, seria rejeitado para ser usado em fins estruturais. Isso indica que aumentar a porosidade do scrap de forma demasiada pode não trazer resultados tão satisfatórios, pois a porosidade do concreto no estado endurecido pode ser um fator que diminua a resistência à compressão do concreto. Com relação a um panorama geral, a classificação C20 atende os objetivos desse trabalho, tendo em vista que as composições e o tipo de cimento usado nos concretos almejavam essa classe de consistência.

De fato, essas indicações podem ser melhores entendidas ao se fazer outras análises, como a determinação do módulo de elasticidade do scrap em comparação com o da brita, para que haja um entendimento mais completo entre essas relações.

Com relação ao abatimento dos concretos, todos os 5 tipos se mostraram bem parecidos. Conforme Tabela 13, que também diz respeito a norma ABNT NBR 8953:2015 “Concretos para fins estruturais”, é possível relacionar os concretos com base no seu abatimento (A) depois de realizado o slump teste.

Tabela 13 – 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 ≤ A < 160	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	160 ≤ A < 220	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

Fonte: adaptado da ABNT NBR 8953:2015.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 13, observa-se que todos os concretos obtidos nesta pesquisa se enquadram no tipo S100, podendo ser usados em elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto. Vale destacar que, conforme a própria norma ABNT NBR 8953:2015, esses valores são exemplificativos e podem sofrer alterações a depender de aplicações específicas.

Além disso, também é necessário levar em consideração no estudo da classe de consistência de um concreto o que a norma ABNT NBR 6118:2014 “Projeto de Estruturas de Concreto: procedimento” traz. Isso porque, ela detalha fatores específicos que podem ser relevantes em muitas aplicações, como a resistência do aço dentro de estruturas de concreto armado, a qualidade do concreto e as classes de agressividade do ambiente local.

6 CONCLUSÃO

As formulações dos concretos atingiram o objetivo almejado de superar a resistência de 20 MPa, com exceção do CT20. Os concretos que alcançaram os melhores valores foram o CR e o CT10, com o CT10 superando, ligeiramente, a resistência à compressão do CR, porém, apresentando um ganho pequeno, o que coloca esses dois concretos dentro da mesma classe de aplicabilidade.

As consistências dos concretos foram muito parecidas, ficando todas elas dentro da margem de abatimento esperada, que era de 10 cm ± 2 cm. Isso mostra que a adição dos percentuais de 10 e 20% de scrap em substituição da brita não afetam a trabalhabilidade do concreto.

A porosidade das amostras após 28 dias de cura demonstrou valores próximos, mas que sozinhos não conseguem explicar as resistências à compressão encontradas. No caso do CT20, apesar da adição do antiderrapante, a resistência foi a menor entre as amostras, indicando que somente o aumento da porosidade na face esmaltada do scrap não é capaz de aumentar a quantidade de caminhos pelos quais as reações entre argamassa e o scrap pode acontecer.

Por outro lado, o CT10 apresentou os melhores resultados comparado com os outros CT’s, indicando que há uma relação entre o aumento da porosidade na parte esmaltada e a proporção de substituição do scrap. Vale ressaltar que isso é muito particular para cada caso, nesta pesquisa, usando matérias da cidade de Caruaru/PE e o scrap dessa Empresa específica, a melhor combinação foi o CT10.

O esmalte do scrap continua sendo um dificultador para um maior uso desse material, porém esta pesquisa indicou caminhos que podem ser seguidos em futuros trabalhos. A adição de agentes químicos pode ser uma boa alternativa para isso, mas também podem ser combinados com agentes físicos, como uma maior trituração ou lixamento.

Também fica como sugestões de futuras pesquisas a análise do uso do scrap no concreto em outras condições, como analisar a resistência a agentes agressivos e ao comportamento em altas temperaturas; além de outras aplicações, como material pozolânico em substituição parcial do cimento em concretos e a adição desse material em componentes de cerâmica avançada, como células a combustível.

Por fim, este trabalho contribuiu com seus pares na perspectiva de estudar formas de lidar com um resíduo e buscar inseri-lo novamente em processos produtivos que gerem ganhos socioambientais sem esquecer o lado econômico, por meio de uma interação entre a Construção Civil e a Engenharia de Materiais.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, D. A. **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. et al. Properties of concrete manufactured with use of ceramic sanitary ware waste as aggregate. **Revista Matéria**, v. 24, n. 2, e-12350, 2019.

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.unifalmg.edu.br:8443/bitstream/tede/1077/5/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Diego%20Henrique%20de%20Almeida%202017.pdf. Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICAS. **ABCERAM Cerâmica no Brasil**: número do setor. 2024. Disponível em: http://abceram.org.br/numeros-do-setor/. Acesso em: 20 de dezembro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16916**: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **ABNT NBR 16917**: Agregado graúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **ABNT NBR 5738**: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **ABNT NBR 8953**. Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento, Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **ABNT NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **ABNT NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de janeiro: ABNT, 2009.

_____. **ABNT NBR NM 53**: Agregado graúdo: determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

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

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

_____. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **ABPC Guia básico de utilização do cimento Portland**. Ed. 7. São Paulo, [versão online], 2002. 28p. (BT-106).

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 de dezembro de 2023.

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, 2010.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais**: Uma introdução. Ed. 5, Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CAVALCANTE, W. F. V. **Aproveitamento de resíduos cerâmicos da indústria de louça sanitária para produção de massas para revestimento cerâmico**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5394. Acesso em: 12 de janeiro de 2024.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2003. Ed 3. 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: 12 de janeiro de 2024.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, 2002.

CSN. Companhia Siderúrgica Nacional. CSN cimentos. Disponível em: https://csncimentosbrasil.com.br/. Acesso em: 13 de agosto de 2024.

DANTAS, A. B. A.; YOKOYAMA, L.; ALMEIDA, V. C. Aplicações do reaproveitamento do rejeito da indústria de louças sanitárias. In: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável**, Florianópolis – SC, 2004.

FIGUEIREDO, E. C. **Avaliação do comportamento de resíduo de louça sanitária (scrap) como agregado de formato homogêneo em variadas formulações de concreto**. 55 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas, 2020.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural**: tópicos aplicados. Ed. 2. São Paulo: Pini, 2012.

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 de janeiro de 2024.

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 de janeiro de 2024.

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 de janeiro de 2024.

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.cdtn.br:8080/handle/123456789/776. Acesso em: 15 de janeiro de 2024.

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 de janeiro de 2024.

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 de janeiro de 2024.

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 vibrocompacted 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: 01 de dezembro de 2023.

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. JUAN, A.; ROJAS, M. F.; ROJAS, M. I. S.; MORÁN, J. M.; GUERRA, M. I. Caracterización de los hormigones realizados con áridos reciclados procedentes de la industria de cerámica sanitaria. **Materiales de Construcción**, [s. l.], v. 61, n. 304, p. 533–546, 2011.

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 de setembro de 2023.

MEDINA, C.; ROJAS, M. I. S.; FRÍAS, M. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. **Cementand Concrete Composites**. v.34, p. 48-54, 2012b. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.08.015. Acesso em: 15 de janeiro de 2024.

MEDINA, C., ROJAS, MIS, FRÍAS, M., Propriedades de concretos de agregados cerâmicos reciclados: resistência à água, **Cement and Concrete Composites**, v. 40, p. 21-29, 2013.

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**, [s. l.], v. 105, p. 480–486, 2016.

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

OGRODNIK, P.; SZULEJ, J. The Assessment of Possibility of Using Sanitary Ceramic Waste as Concrete Aggregate: Determination of the Basic Material Characteristics. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 8, n. 7, p. 1205, 2018.

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 de janeiro de 2024.

OLIVEIRA, O. M. **Utilização de resíduos da indústria cerâmica para obtenção de novos produtos cerâmicos**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais), Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2016.

OLIVEIRA, W. **Informações sobre o processo de produção das louças sanitárias na Luzarte Estrela**. WhatsApp [Conversa privada]. 22 e 23 de maio de 2024.

PISOCLEAN. **Antiderrapante LP**: Detalhes técnicos, 2023. Disponível em: https://pisoclean.com.br/wp-content/uploads/2023/08/Antiderrapante-LP-5L.pdf. Acesso em: 19 de janeiro de 2024.

REED, J. S. **Principles of Ceramics Processing**. Ed. 2, New York – John Wiley & Sons, Inc. 1995.

REIG, L. ET AL. Potential use of ceramic sanitary ware waste as pozzolanic material. **Boletin de la sociedade espñola de cerâmica e vydrio**, v. 61, p. 611-621, 2022.

SILVA, E. M. A. **Economia circular na engenharia civil: a influência de rejeitos de louça sanitária na fabricação de concretos**. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas, 2021.

SILVA, G. D. A.; SILVA, J. C.; TABOSA, T. C. M.; ANDRADE, A. M. Q.; YADAVA, Y. P.; CALVALCANTI, V. P. Aproveitamento de resíduos cerâmicos industriais na composição de massa para utilitários artesanais de mesa. In: 58º **Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Bento Gonçalves – RS, 2014.

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.

SOUZA, R. M. de.; ORTIGARA, Y. V. B.; GOMES, C. E. M.; MAGALHÃES, R. R.; FONTANINI, P. S. P.; CAMPOS, A. T. Ecoeficiência de concretos autoadensáveis com resíduo de louça sanitária. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, e128733, jan./dez. 2024. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212024000100739. Acesso em: 24 de abril 2024.

SORANZO, M. RAMBALDI, E. PRETE, F. BONVICINI, G. BIGNOZZI, M. C. Limpabilidade de Porcelanato Polido. **Cerâmica Industrial**, v. 22, n. 5/6, Setembro/Dezembro, p. 7-11, 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2017.032. Acesso em 12 de novembro de 2023.

TAYLOR, H. F. W. **Cement chemistry**. Ed 2. London: Thomas Telford Services Ltd, 1997.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência e tecnologia de materiais**. Ed. 4. 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 de fevereiro de 2024.

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 de janeiro de 2024.

VIEIRA, T. et al. Durability-related performance of concrete containing fine recycled aggregates from crushed bricks and sanitary ware. **Materials & Design**, [s. l.], v. 90, p. 767–776, 2016.

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

ZEGARDŁO, B.; SZELĄG, M.; OGRODNIK, P. 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**, [s. l.], v. 122, p. 736–742, 2016.