

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

LUCAS RODRIGUES VENEZIAM

EFEITO DA ADIÇÃO DE PÓ DE CERÂMICA VERMELHA NO CONCRETO EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL A AREIA MÉDIA

Joinville

2023

LUCAS RODRIGUES VENEZIAM

EFEITO DA ADIÇÃO DE PÓ DE CERÂMICA VERMELHA NO CONCRETO EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL A AREIA MÉDIA

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil de Infraestrutura, no
Centro Tecnológico de Joinville, da
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Valeria Bennack

Joinville

2023

LUCAS RODRIGUES VENEZIAM

EFEITO DA ADIÇÃO DE PÓ DE CERÂMICA VERMELHA NO CONCRETO EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL A AREIA MÉDIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura, no Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 07 de mês de 2023.

Banca Examinadora:

Dra. Valéria Bennack
Orientadora/Presidente
Universidade Federal de Santa Catarina

Dr.(a) Anelize Borges Monteiro
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Dra. Helena Paula Nierwinski
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Joinville, 2023

Dedico este trabalho à Deus e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me manteve firme no meu propósito e me deu forças, mesmo nos momentos de maiores adversidades.

Agradeço aos meus pais Osmar e Valdenice, por todo o incentivo, palavras de apoio e sábios conselhos, pois sem eles tenho plena consciência de que essa realização não seria possível.

À meu irmão Felipe, que no momento em que decidi sair da faculdade e trocar de curso, conversou com a Coordenadora do curso e pediu para que a mesma me orientasse a continuar na engenharia.

À orientadora Dra. Valéria, pela sua paciência, disponibilidade e dedicação para a elaboração deste trabalho.

À empresa Pereira Pinturas e Serviços onde realizei o estágio obrigatório, possibilitando o meu aprendizado e ampliando a minha visão sobre a gestão de pessoas e processos.

À todos que diretamente ou indiretamente estiveram próximos de mim neste ciclo e contribuíram para a minha formação, meus mais sinceros agradecimentos!!

"O próprio Senhor irá à sua frente e estará com você; ele nunca o deixará, nunca o abandonará. Não tenha medo! Não se desanime!" -

Deuteronômio 31:8

RESUMO

O uso de resíduos gerados na construção civil para estruturas de concreto, proporciona uma melhoria econômica para as construtoras, além de contribuir para a preservação ambiental. A adição de pó de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo no concreto, vem aumentando significativamente à medida que a disponibilidade dos agregados naturais diminui. Essa diminuição do agregado miúdo natural, está ligada diretamente ao avanço da construção civil no Brasil, tendo em vista os milhares de metros quadrados construídos todos os anos pelas grandes construtoras, o que torna o concreto o segundo material mais consumido no mundo. Como uma das principais vantagens da confecção de concreto com adição de resíduos de construção civil, está a economia e redução de despesas da obra, pelo fato do agregado miúdo ter um custo relativamente elevado bem como a questão ambiental, pois o reaproveitamento desses resíduos poupa gastos com água e energia, diminuindo a poluição e preservando os recursos naturais. Portanto, o presente trabalho objetivou estudar o reaproveitamento da cerâmica vermelha descartada em obras ou fábricas em concreto verificando sua resistência mecânica e algumas propriedades físicas. Os estudos foram realizados para três traços : T0, T30 e T40, ou seja um traço padrão de referência, um traço com substituição parcial de 30% de cerâmica e outro com 40% de substituição em massa. Então, foram estudadas e analisadas propriedades como a resistência à compressão simples dos traços, e também algumas propriedades físicas como porosidade, absorção de água e massa específica aparente seca. Foi observado que à medida que a adição de cerâmica vermelha aumentava, sua trabalhabilidade diminuía, com a manutenção da relação a/c. Em relação aos índices físicos, o concreto referência apresentou os menores valores de índice de vazios e de absorção de água, e o maior valor de massa específica aparente seca, o T30 obteve valores intermediários e o T40 os maiores valores de índice de vazios e de absorção de água e o menor valor de massa específica aparente seca. Por outro lado, a resistência mecânica apresentou diminuição de valores com o incremento de cerâmica nos traços, o que pode estar diretamente relacionado ao fator a/c ter sido mantido inalterado.

Palavras-chave: Cerâmica. Concreto. Cimento. Agregado.

ABSTRACT

The use of waste generated in civil construction for concrete structures provides an economic improvement for construction companies, in addition to contributing to environmental preservation. The addition of red ceramic powder to replace fine aggregate in concrete has increased significantly as the availability of natural aggregates decreases. This decrease in natural fine aggregate is directly linked to the advancement of civil construction in Brazil, given the thousands of square meters built every year by large construction companies, which makes concrete the second most consumed material in the world. One of the main advantages of making concrete with the addition of construction waste is the savings and reduction of construction costs, due to the fact that the fine aggregate has a relatively high cost, as well as the environmental issue, as the reuse of this waste saves costs with water and energy, reducing pollution and preserving natural resources. Therefore, the present work aimed to study the reuse of discarded red ceramics in concrete works or factories, verifying its mechanical resistance and some physical properties. The studies were carried out for three mixes: T0, T30 and T40, that is, a standard reference mix, a mix with partial replacement of 30% of ceramics and another with 40% mass replacement. Then, properties such as the simple compressive strength of the traces were studied and analyzed, and also some physical properties such as porosity, water absorption and apparent dry specific mass. It was observed that as the addition of red ceramic increased, its workability decreased, maintaining the w/c ratio. In relation to physical indices, the reference concrete presented the lowest void index and water absorption values, and the highest dry apparent specific mass value, T30 obtained intermediate values and T40 the highest void index and water absorption values. water absorption and the lowest dry apparent mass value. On the other hand, mechanical resistance showed a decrease in values with the increase in ceramic in the traces, which may be directly related to the w/c factor being kept unchanged.

Keywords: Ceramics. Concrete. Cementt. Aggregate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição dos RCD na cidade de São Carlos/SP... ..	17
Figura 2 – Resíduo da indústria cerâmica... ..	18
Figura 3 – Clínquer para fabricação de cimento... ..	20
Figura 4 – Cerâmica vermelha moída... ..	25
Figura 5 – Peneiramento... ..	26
Figura 6 – Obtenção do concreto... ..	28
Figura 7 – CP... ..	29
Figura 8 – CPs finalizados... ..	29
Figura 9 – Amostras dos CPs resfriando ao ar livre após permanência na estufa por 72h... ..	32
Figura 10 – Pesagem de cada amostra... ..	32
Figura 11 – Imersão das amostras por 72h... ..	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal).....	23
Tabela 2 – Massa das amostras.	24
Tabela 3 – Traço T0.....	27
Tabela 4 – Traço T30	27
Tabela 5 – Traço T40... ..	27
Tabela 6 – Resultado do ensaio de granulometria da areia média... ..	35
Tabela 7 – Zonas ótimas e utilizáveis para agregados miúdos.....	35
Tabela 8 – Avaliação da granulometria da areia em relação às zonas utilizáveis e ótimas... ..	36
Tabela 9 – Resultado do ensaio de granulometria da cerâmica.....	38
Tabela 10 – Avaliação da granulometria da cerâmica em relação às zonas utilizáveis e ótimas... ..	38
Tabela 11 – Resultado do ensaio de granulometria da brita 01.....	41
Tabela 12 – Massas das amostras obtidas no ensaio de índices físicos... ..	42
Tabela 13 – Resultado dos índices físicos... ..	42
Tabela 14 – Resistência à compressão dos traços T0, T30 e T40.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Avaliação da granulometria da areia em relação às zonas utilizáveis e ótimas... ..	37
Gráfico 2 – Avaliação da granulometria da cerâmica em relação às zonas utilizáveis e ótimas... ..	39
Gráfico 3 – Granulometria da cerâmica e areia média... ..	40
Gráfico 4 – Curva granulométrica da brita 01... ..	41
Gráfico 5 – Resultado índice de vazios... ..	43
Gráfico 6 – Resistência à compressão média T0, T30 e T40... ..	45

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Massa específica aparente seca	30
Equação 2 - Índice de vazios	31
Equação 2 - Absorção de água	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% – Porcentagem

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

a/c – Relação água / cimento

α – Fator a/c cm

– centímetrokg –

Quilograma

MPa – Megapascal

m – metro;

mm – milímetro

NBR – Norma brasileira

RCD – resíduos de construção e demolição

RCV – Resíduo de cerâmica vermelha

T0 – Traço de referência

T30 – Traço com substituição parcial de 30% de cerâmica por areia média

T40 – Traço com substituição parcial de 40% de cerâmica por areia média

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. MATERIAIS	17
2.1.1. Cerâmica vermelha	17
2.1.2. Agregado graúdo	18
2.1.3. Agregado miúdo	19
2.1.4. Cimento Portland	19
2.2. CONCRETO	20
2.3. CONCRETO COM ADIÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	21
3. MATERIAIS E MÉTODO	23
3.1. GRANULOMETRIA	23
3.1.1. Areia	24
3.1.2. Brita	24
3.1.3. Cerâmica	25
3.2. DOSAGEM DOS MATERIAIS	26
3.3. ÍNDICES FÍSICOS	30
3.3.1. Massa específica aparente seca	30
3.3.2. Índice de vazios	30
3.3.3. Absorção	33
3.4. ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1. GRANULOMETRIA	35
4.1.1. Areia	35

4.1.2. Cerâmica	37
4.1.3. Comparativo da granulometria da areia média com cerâmica	39
4.1.4. Brita	40
4.2. ÍNDICES FÍSICOS	42
4.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	44
4.3.1. Resistência a compressão dos traços T0, T30 e T40	44
5. CONCLUSÃO	46
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS	49

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a utilização de resíduos como forma de alterar as propriedades de um material como o concreto, de maneira geral, é relativamente recente no Brasil. No cenário mundial, ainda há predominância da exploração excessiva de recursos naturais nos países em desenvolvimento, aumentando o acúmulo de resíduos, o que é uma desvantagem em termos de economia e sustentabilidade (Cunha; Augustin, 2013).

Como a construção civil é uma das maiores consumidoras de recursos naturais e de geração de resíduos, existe a necessidade de encontrar soluções para o problema de resíduos, como a reciclagem na própria obra ou indústrias. Em razão da falta de políticas adequadas, no Brasil, parte dos resíduos de construção e demolição são descartados irregularmente Filho *et al.* (2015).

O descarte de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), que são resíduos depositados irregularmente, tem um custo significativo para o município, recursos financeiros que poderiam estar destinados a investimentos na infraestrutura local. Por esse motivo, o investimento em políticas de reciclagem e aproveitamento de resíduos, como o caso do pó de cerâmica vermelha, além de promover características mecânicas desejáveis ao concreto, contribui para a política de reciclagem (Melo, 2013).

Dessa forma, a construção civil depara-se com um imenso desafio, que seria reduzir o volume dos RCD gerado no processo construtivo e estimular pesquisas que preconizam o aproveitamento dos mesmos. Assim, o presente trabalho não buscou apenas alternativas econômicas e ecológicas, mas avanços tecnológicos ao apresentar o resíduo de cerâmica vermelha (RCV), como um agregado em substituição à média.

Considerando essas informações, o trabalho tem o objetivo de avaliar os efeitos advindos da substituição parcial de pó de cerâmica vermelha por agregado miúdo no concreto. Será aplicada dosagens com substituição parcial de agregado miúdo por entre 30% e 40% de RCV, e posteriormente submeter os corpos - de prova confeccionados a ensaios de resistência à compressão simples, porosidade e posteriormente verificação da absorção.

Assim, após a realização dos ensaios , será verificada a resistência à compressão simples do corpo de prova com adição de RCV . Finalmente será feito um comparativo desses valores com o concreto referência, sem adição de resíduo.

1.1. OBJETIVOS

Analisando o cenário atual do aproveitamento de resíduos para fins de melhoria na qualidade do concreto na construção civil, o presente trabalho propõe os seguintes objetivos.

1.1.1. Objetivo Geral

Verificar as características mecânicas do concreto com a adição de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo natural.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Analisar as características físicas dos resíduos de cerâmica vermelha (RCV) em laboratório, com ensaios de granulometria, massa específica e verificação da umidade;
- Definir a dosagem de concreto com a adição de RCV variando sua porcentagem em massa de 30% e 40%;
- Determinar a resistência à compressão simples do concreto com adição de RCV;
- Registrar os principais índices físicos da mistura resultante, como porosidade, índice de vazios, absorção e massa específica aparente seca.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº 12.305/2010), os resíduos gerados na construção civil são aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras e também os resultantes da preparação e escavação de terrenos.

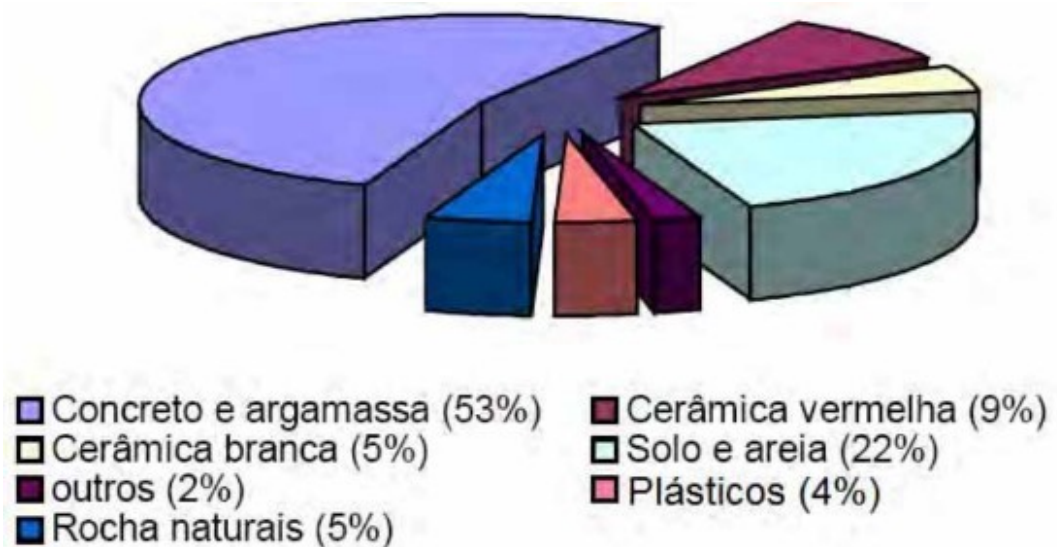
Como mencionado anteriormente, a indústria civil é uma das maiores consumidoras de recursos naturais e também geradora de resíduos, chegando a 40%. Desse modo, as construtoras veem a necessidade de aproveitamento de resíduos para execução dos seus serviços, o que pode promover a melhoria da qualidade de estruturas e acabamentos, bem como a redução de custos de insumos.

Diante dessas informações, existe a necessidade de se encontrar soluções para a redução do consumo de recursos naturais, bem como a geração de resíduos. A reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), a princípio, não apresenta qualquer limite de natureza tecnológica, além de ser uma alternativa que pode gerar recursos financeiros (Barros, 2017).

De acordo com Cabral *et al.* (2009), a cerâmica vermelha, oriunda de restos de telhas, tijolos e demais alvenarias representa metade dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Desse modo, a reciclagem e substituição da cerâmica vermelha por areia natural, pode ser uma solução em cidades onde existe escassez de agregados naturais.

A Figura 1 apresenta a distribuição de resíduos gerados na construção civil na cidade de São Carlos/SP. Observa-se que a geração de cerâmica vermelha representa 9 % do total de resíduos gerados, e por mais que seja um percentual bem menor que a geração de resíduos de concreto e argamassa por exemplo, a aplicação de RCV no concreto pode trazer resultados satisfatórios em termos de resistência mecânica, como será visto mais adiante.

Figura 1- Composição dos RCD na cidade de São Carlos/SP



Fonte : Wada (2010)

A seguir, serão detalhados os materiais que compõem o traço do concreto com adição de cerâmica vermelha em substituição parcial à areia média.

2.1. MATERIAIS

A seguir serão detalhados os materiais que compõe o traço para a elaboração do concreto do presente trabalho.

2.1.1. Cerâmica vermelha

Segundo Silva (2011) o conhecimento de materiais utilizados na construção civil é de vital importância para projeto e construção nas obras civis. Assim, para o aproveitamento de resíduos e incorporação dos mesmos em elementos estruturais, tais como estruturas de concreto, faz-se necessário o conhecimento das propriedades dos Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV).

De acordo com Garcia *et al.* (2014), as indústrias cerâmicas realizam a queima de seus materiais normalmente na faixa de 700°C a 900°C. Entre as transformações químicas provenientes das reações de combustão desses materiais,

está a desidroxilação e aforismos das argilas, o que confere a cerâmica sua reatividade química de natureza pozolânica.

O bloco cerâmico é um dos elementos mais antigos da construção civil, com seu uso datando de aproximadamente 4000 A.C. Nas edificações convencionais, os materiais cerâmicos têm destaque pela sua durabilidade, eficiência e facilidade de fabricação Fernandes et. al (2016).

Os tijolos, assim como as telhas cerâmicas, são fabricados a partir de argila, com forma de um paralelepípedo, podendo ser vazados, ou seja, com furos nas suas extremidades ou não. A Figura 2 apresenta um exemplo de resíduos de cerâmica vermelha descartados em indústrias comuns.

Figura 2 - Resíduo da indústria cerâmica



Fonte : Vieira (2005)

2.1.2. Agregado graúdo

Os agregados representam 70% da composição do concreto, e possuem papel fundamental em sua composição, com destaque para a areia, um agregado miúdo utilizado em larga escala pela construção civil (Menossi, 2004).

Esses constituintes possuem um custo inferior ao cimento, e além da economia, há mais características positivas dos agregados. Por vários anos, se acreditou que esses materiais eram praticamente inertes ao concreto e sua utilização era para basicamente ocupar mais volume e reduzir o custo da produção (Menossi, 2004).

Mas além de possuírem baixo custo, muitas outras características como qualidade e desempenho do concreto estão diretamente ligadas ao tipo de agregado (Neville, 1997).

Ainda segundo Menossi (2004), agregados de origem natural podem ser extraídos próximos a rios e lagos, e tendo em vista que atualmente existe uma constante preocupação com a preservação ambiental, o incentivo para alternativas de substituição do agregado miúdo por alternativas sustentáveis tem ganhado notoriedade nos últimos anos.

2.1.3. Agregado miúdo

Segundo a NBR 7211 : 2022, entende-se por agregado miúdo a areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na de 0,075 mm.

A mesma norma afirma que a areia para uso no concreto, deve ser composta por grãos minerais compactos, duráveis, além de não conter substâncias que venham a comprometer o endurecimento e hidratação do cimento, durabilidade e proteção contra a corrosão na estrutura de concreto.

2.1.4. Cimento Portland

O cimento é considerado um aglomerante hidráulico pela sua capacidade de reagir com água e se tornar resistente, isso o caracteriza como um dos mais importantes materiais de construção utilizados na engenharia, com amplo campo de aplicação, que vem em uma crescente expansão com o desenvolvimento e surgimento de novas formas de uso como solo-cimento, pavimentação de vias, construções contemporâneas, habitações de peças pré-fabricadas (Rodrigues, 2018).

O cimento é um aditivo utilizado no concreto, sendo um material pulverulento constituído de silicatos e aluminatos de cálcio. Ao misturar os silicatos e aluminatos em água, hidratam-se produzindo o endurecimento da massa e promovendo aumento significativo na resistência mecânica (Vale; Rocha, 2023).

A ABNT NBR 16697 : 2018 classifica os diferentes tipos de cimento de acordo com a seguinte ordem:

- Cimento Portland Comum : CP I e CP I-S;
- Cimento Portland Composto : CP II-E, CP II-F, CP II-Z;
- Cimento Portland de Alto Forno : CP III;
- Cimento Portland Pozolânico : CP IV;
- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial : CP V ARI;
- Cimento Portland Estrutural: CPB;
- Cimento Portland Não Estrutural: CPB.

A Figura 3 apresenta a imagem do clínquer comum, que é a principal matéria prima utilizada para a produção de cimento, e é fabricado a partir da queima de rochas calcárias.

Figura 3 - Clínquer para fabricação de cimento.



Fonte : Lima (2019)

2.2. CONCRETO

Concreto é um material amplamente utilizado na construção civil composto por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita). Além disso, pode conter adições como cinza volante, sílica ativa e pozolanas e também aditivos químicos a fim de melhorar suas propriedades básicas (Lima, 2019).

Uma das características mais importantes do concreto é a sua alta resistência à água, diferentemente das estruturas metálicas e de madeira. Isso faz do concreto estruturas ideais para controlar, estocar e transportar água. Esse fato é revelado desde a era romana, onde uma das primeiras aplicações conhecidas desse material consistiu na construção de aquedutos e muros de contenção de água (Mehta; Monteiro, 1994).

Seu uso tão difundido deve-se ao fato da facilidade com que elementos estruturais de concreto podem ser executados, sua variedade de formas e tamanhos e sua praticidade de aplicação no canteiro de obras (Mehta; Monteiro, 1994).

Para se obter um concreto de qualidade, as características de seus componentes devem ser estudados, bem como as propriedades e fatores que podem alterá-los, realizar o traço e as proporções de seus constituintes de maneira cuidadosa, transportar corretamente, lançar e adensar sobre as formas com as condições climáticas favoráveis para se obter a cura desejável (Almeida, 2005).

2.3. CONCRETO COM ADIÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA

A adição de materiais cerâmicos no concreto, pode resultar em propriedades mecânicas desejáveis. Botosso et.al (2019), elaborou um trabalho com a confecção de quatro traços de concreto, o traço piloto e mais três traços com substituição de cerâmica por areia seca nas proporções de 10%, 20% e 30%.

Morais et.al (2020) realizou um estudo com a elaboração de três traços, com substituição parcial de agregado miúdo natural por cerâmica vermelha nas proporções de 0%, 50% e 100%. O autor chegou em resultados satisfatórios, pois para os teores de 50% e 100% o consumo de cimento Portland diminui e a resistência à compressão simples aumenta.

Já Wada (2010), realizou uma dissertação estudando a influência da adição de resíduos de cerâmica vermelha em substituição parcial a areia no concreto, com

teores de 20%, 40%, 60% e 80%, para a aplicação em fundações profundas, ou seja, estacas moldadas in loco. O trabalho apresentou resultados bastante positivos em termos de resistência mecânica, pois a medida em que se aumentava o teor de cerâmica vermelha, a resistência à compressão também crescia, sendo que o traço com 80% de substituição, aos 120 dias praticamente dobrou o valor da resistência do concreto de referência.

Vieira (2005), em seu estudo do aproveitamento de resíduo de cerâmica vermelha aplicada em concretos e argamassas, além de avaliar o desempenho mecânico, optou também por analisar a eficiência pozolânica da cerâmica moída com substituição do cimento por cerâmica em 20% e 40%. A reação pozolânica promovida pela adição de RCV, promoveu melhorias nas propriedades das matrizes de cimento. Porém, a diluição do teor de cimento decorrida da substituição parcial por cerâmica, e também a redução do potencial de corrosão em ambientes salinos, torna a matriz cimentícia sujeita a problemas de durabilidade, devido a corrosão de armadura. Em relação a resistência mecânica, as amostras de 20% e 40%, obtiveram aos 56 dias, 95% e 89% respectivamente de resistência mecânica das amostras de controle.

Assim como Vieira (2005), Cecyn (2023) estudou a influência de resíduos de tijolos moídos como substituição parcial do cimento no concreto. A relação mais baixa foi para o traço padrão, e a mais alta para o traço com o maior teor de substituição, o que ocasionou a perda de resistência mecânica para os traços com 15% e 25% de substituição de cerâmica.

Silva (2021), realizou ensaio com amostra contendo percentuais de 15% e 30% de cerâmica em substituição ao agregado miúdo. A autora aumentou a relação a/c do concreto a medida em que se eleva o percentual de cerâmica na mistura devido a elevada porosidade do material cerâmico, o que melhorou a trabalhabilidade do concreto em estado fresco. A adição de cerâmica vermelha para ambos os traços promoveu um incremento na resistência à compressão simples, sendo 15,98 MPa para o traço com 15% de cerâmica, e 14,56 MPa para o traço com 40%, já o traço padrão obteve uma resistência à compressão média de 13,70 MPa.

3. MATERIAIS E MÉTODO

Para a obtenção de dados sobre a influência da adição de RCV como substituição ao agregado miúdo nas estruturas de concreto, foram selecionados materiais no próprio laboratório da universidade e também comercializados em materiais de construção próximos à Zona Industrial Norte. Os ensaios foram realizados no Laboratório Interdisciplinar de Construção Sustentável, localizado na UFSC campus Joinville.

3.1. GRANULOMETRIA

Para a determinação da granulometria, este trabalho seguiu a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) - Granulometria. Essa norma apresenta uma sequência de peneiras que separam as faixas de valores para a classificação do tipo de agregado: graúdo ou miúdo. A Tabela 1 apresenta uma série normal de peneiras e outra intermediária, para a granulometria do agregado miúdo foram selecionadas as peneiras da série normal de 0,15 mm a 4,75 mm, e para o agregado miúdo foram utilizadas peneiras da série normal e intermediária, de 4,75 mm a 25 mm.

Tabela 1 – Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)

Série normal	Série intermediária
75 mm	–
–	63 mm
–	50 mm
37,5 mm	–
–	31,5 mm
–	25 mm
19 mm	–
–	12,5 mm
9,5 mm	–
–	6,3 mm
4,75 mm	–
2,36 mm	–
1,18 mm	–
600 µm	–
300 µm	–
150 µm	–

Fonte: NBR NM 248 (ABNT, 2003)

3.1.1. Areia

O agregado miúdo utilizado no trabalho foi proveniente do Laboratório de Construção Sustentável da UFSC, localizado na cidade de Joinville SC.

Primeiramente foi definida a massa mínima da amostra (Tabela 2), que para agregado miúdo, considerando uma dimensão máxima de 4,75 mm, a massa mínima da amostra seria de 300 g. Foram utilizadas apenas peneiras da série normal da tabela com a faixa de valores entre 150 µm e 4,75 mm.

Com a finalização do ensaio nas peneiras, pode-se construir a curva granulométrica, apontando as dimensões máximas e mínimas das partículas. A areia utilizada no concreto estava úmida, porém foi medida a massa da areia úmida e da areia seca para realizar os devidos ajustes no traço.

Tabela 2 - Massa das amostras

Dimensão máxima nominal do agregado mm	Massa mínima da amostra de ensaio seca Kg
<4,75	0,1
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60

Fonte : NBR 17054 (2022)

3.1.2. Brita

O agregado graúdo utilizado neste trabalho foi a brita 1 proveniente da Rudnick Minérios | Mineração e Material Pétreo para Obra Civil e Urbana.

Assim como no caso da areia, primeiramente foi definida uma amostra mínima para a realização do ensaio, e como no caso da brita 01 o diâmetro dos

agregados fica na faixa de 9,5 mm e 25 mm, a massa mínima da amostra é de 10 Kg (Tabela 2).

3.1.3. Cerâmica

O resíduo de cerâmica vermelha foi obtido no Material de construção Zorzi, localizado na cidade de Joinville - SC, que forneceu telhas e tijolos. Como o resíduo encontrava-se em tamanhos variados, o material precisou ser triturado até que o diâmetro máximo de suas partículas fosse equivalente ao do agregado miúdo, ou seja, 4,75 mm e valor mínimo de 150 μm .

O ensaio de peneiramento seguiu a ABNT NBR NM 248 e as peneiras foram definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1. Na Figura 4 é possível observar a cerâmica moída, com a granulometria de acordo com as faixas de valores estabelecidas para agregado miúdo. O processo de trituração foi realizado de forma manual com o auxílio de martelos e pesos.

Figura 4 – Cerâmica vermelha moída



Fonte : Autor (2023)

Após a finalização da trituração da cerâmica, uma amostra de 1040g de cerâmica moída foi colocada nas peneiras e foi iniciado o ensaio de peneiramento (Figura 5). Então, com as porcentagens em massa retida acumulada em cada peneira da série, foi elaborada a curva granulométrica da cerâmica.

Figura 5- Peneiramento



Fonte : Autor (2023)

3.2. DOSAGEM DOS MATERIAIS

Para a realização do traço foi selecionado o cimento CP II-F-32, brita 1, areia, água e aditivo. Então foram elaborados três traços para o concreto e confeccionados quatro corpos de prova para cada traço:

- T0: concreto padrão de referência;
- T30: concreto com substituição parcial de areia por cerâmica de 30%;
- T40: concreto com substituição parcial de areia por cerâmica de 40%;

A relação a/c normalmente varia de 0,4 a 0,7, então optou-se por trabalhar nessa faixa de valores, pois fator a/c acima de 0,8 torna o concreto com resistência mecânica inviável e 0,3 difícil de trabalhar. O traço utilizado foi o 1:3,5 do método IPT de Helene & Tarzian (1993), e as dosagens estão apresentadas nas Tabelas 3, 4 e 5, onde α representa o teor de argamassa do traço.

Tabela 3 - Traço T0

Consumo (Kg)					
Traço	α	Cimento	Areia	Brita	Cerâmica
T0	0,52	5,417	7,258	11,7	0

Fonte : Autor (2023)

Tabela 4 - Traço T30

Consumo (Kg)					
Traço	α	Cimento	Areia	Brita	Cerâmica
T30	0,52	5,417	5,0806	11,7	2,1774

Fonte : Autor (2023)

Tabela 5 - Traço T40

Consumo (Kg)					
Traço	α	Cimento	Areia	Brita	Cerâmica
T40	0,52	5,417	4,3548	11,7	2,9032

Fonte : Autor (2023)

Após definidos os traços foi iniciada a preparação do concreto para o traço T0. Então, foi realizada a imprimação com argamassa 1:2 de relação água cimento 0,5 . Após a imprimação, foram adicionados cimento, areia, brita e a água para o T0 na betoneira, e agitado na betoneira em torno de 10 a 15 minutos e adicionado nos moldes. Depois, foi seguida a mesma ordem de procedimentos para o traços T30, ou seja, as massa de cimento e brita 1, foram mantidas , a massa de areia foi reduzida e então foi adicionada uma massa de 2,18 Kg de cerâmica na betoneira conforme a Tabela 5 . O traço com 40% de resíduo funcionou da mesma forma, as massas de brita 1 e cimento foram mantidas e adicionadas na betoneira a massa de cerâmica indicada na Tabela 5. A Figura 6 indica o processo de agitação dos materiais constituintes do T0.

Figura 6 - Obtenção do concreto

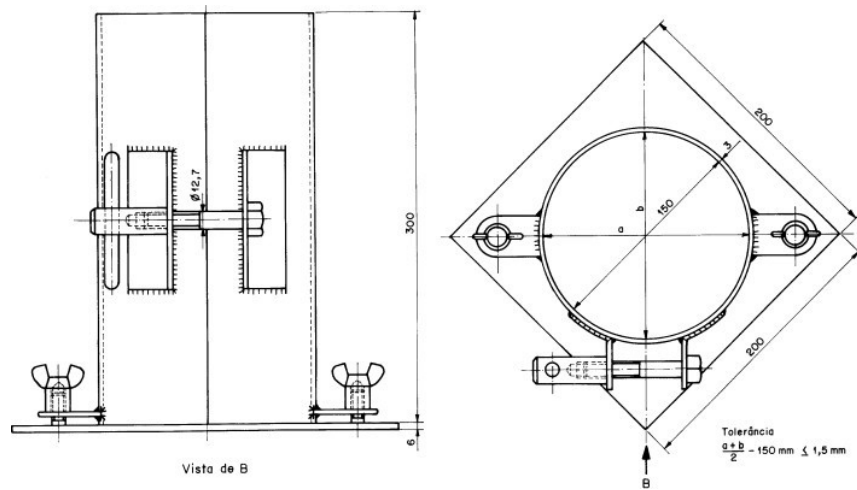


Fonte : Autor (2023)

Já o processo de execução da moldagem dos corpos de prova, foi baseado na NBR 5738 : 2015. Foi então definido o diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm para o presente trabalho conforme ilustra a Figura 7.

Após a execução dos traços, o concreto da betoneira foi cuidadosamente despejado dentro dos moldes até metade da altura e golpeado por 12 vezes, depois preenchido até a altura total e aplicados mais 12 golpes, e finalmente deixado em repouso por 28 dias para então realizar o ensaio de compressão axial (Figura 8).

Figura 7 - CP



Fonte : NBR 5738 (2015)

Figura 8 – CPs finalizados



Fonte : Autor (2023)

3.3. ÍNDICES FÍSICOS

3.3.1. Massa específica aparente seca

Consiste na razão entre a massa seca após permanência em estufa (M_s) pela subtração da massa saturada (M_{sat}) e da massa imersa em água (M_i).

A realização do ensaio, seguiu os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 9778 : 2005 e seguiu os passos 1 a 5 do cálculo do índice de vazios do concreto apresentado no item 3.5.2. A massa específica aparente aparente seca é calculada pela equação 1:

Equação 1 - Massa específica aparente seca.

$$\rho_s = \left(\frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \right) 1000$$

- ρ_s : massa específica aparente seca do concreto (Kg/m^3);
- M_{sat} : massa da amostra saturada (Kg);
- M_i : massa da amostra imersa em água (Kg)
- M_s : massa da amostra seca (Kg).

3.3.2. Índice de vazios

A porosidade é uma propriedade física presente na maioria dos materiais, e corresponde a porcentagem de espaços vazios em relação ao volume total de um material. Esse índice varia consideravelmente, dependendo do material e da forma como é executado.

O concreto apresenta certa porosidade, pois não é possível que seus vazios sejam totalmente preenchidos, o que pode comprometer sua durabilidade e desempenho a longo prazo. Segundo Petrucci (1998), a elevada porosidade no concreto está associada ao uso de uma quantidade de água superior a ideal para hidratar o aglomerante, então, ao evaporar, a mesma deixa vazios. Esses vazios tornam o concreto suscetível a permeabilidade, e conseqüente ação de agentes agressivos que diminuem a vida útil da estrutura. Assim, o registro do índice de

vazios no concreto , é de vital importância para avaliação da qualidade do mesmo, visto que esse parâmetro está diretamente ligado à porosidade. O índice de vazios é obtido pela Equação 2.

Equação 2 - Índice de vazios

$$iv = \frac{Msat - Ms}{Msat - Mi} \times 100$$

- *iv* : índice de vazios (%);
- *Msat* : massa da amostra saturada (Kg);
- *Mi* : massa da amostra imersa em água (Kg);
- *Ms* : massa da amostra seca (Kg).

A execução do ensaio para o cálculo do índice de vazios do concreto produzido, seguiu o passo a passo:

Ensaio de Absorção:

- 1-Amostras colocadas inicialmente na estufa a $105 \text{ C} \pm 5$;
- 2- Determinação massa da amostra após permanência na estufa de 24h,48h e 72h;
- 3- Resfriar amostra ao ar seco a temperatura $23 \pm 2\text{C}$, de preferência em dessecador e determinar massa;
- 4- Imersão da amostra em água á temperatura de $23 \pm \text{C}$ durante 72h;
- 5-Secar e pesar amostras na balança hidrostática;
- 6- Calcular índice de vazios;
- 7-Calcular porosidade.

As Figuras 9, 10, 11 indicam a execução das etapas 1 a 4.

Figura 9: Amostras dos CPs resfriando ao ar livre após permanência na estufa por 72h



Fonte : Autor (2023)

Figura 10 - Pesagem de cada amostra



Fonte : Autor (2023)

Figura 11 - Imersão das amostras por 72h



Fonte : Autor (2023)

3.3.3. Absorção

O ensaio de absorção de água seguiu a NBR 9778 : 2005, e foi realizado no laboratório da UFSC (campus Joinville). A realização do ensaio, seguiu o mesmo passo a passo da porosidade . Realizado o experimento, a absorção do concreto foi calculada pela seguinte equação 3:

Equação 3 - Absorção de água

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

- A : Absorção da água (%);
- Msat : Massa da amostra saturada (g);
- Ms : Massa da amostra seca (g).

3.4. ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

A realização do ensaio de compressão axial seguiu a norma NBR 5739 : 2018. Decorridos os 28 dias após de cura, a base dos corpos de prova foram preparadas e o seu eixo centralizado para então iniciar o carregamento conforme estipula a norma a uma velocidade de 0,3 MPa/s a 0,7 MPa/s.

O carregamento foi interrompido quando a força indicada na máquina diminuiu consideravelmente e foi ouvido o ruído do corpo de prova, indicando que o mesmo havia sofrido ruptura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. GRANULOMETRIA

4.1.1. Areia

A obtenção da curva granulométrica, bem como a comparação das faixas para o agregado miúdo, da zona ótima e zona utilizável, seguiu a NBR 7211 : 2005 e NBR 17054 : 2022. Observar a Tabela 6 com os valores obtidos no ensaio de laboratório e a Tabela 7

Tabela 6 - Resultado do ensaio de granulometria da areia média

Peneira (mm)	Massa retida (Massa peneira + massa brita - massa da peneira) (g)	Percentual retido em cada peneira (%)	Percentual retido acumulado (%)
4.75	0,175	0,03%	0,03%
2.36	0,355	0,06%	0,09%
1.18	3,045	0,51%	0,60%
0.6	87,02	14,50%	15,09%
0.3	299,005	49,81%	64,90%
0.15	182,395	30,38%	95,29%
0	28,3	4,71%	100,00%
	600,295	100,00%	

Fonte: Laboratório Ufsc (2023)

Tabela 7- Zonas ótimas e utilizáveis para agregados miúdos

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2005)

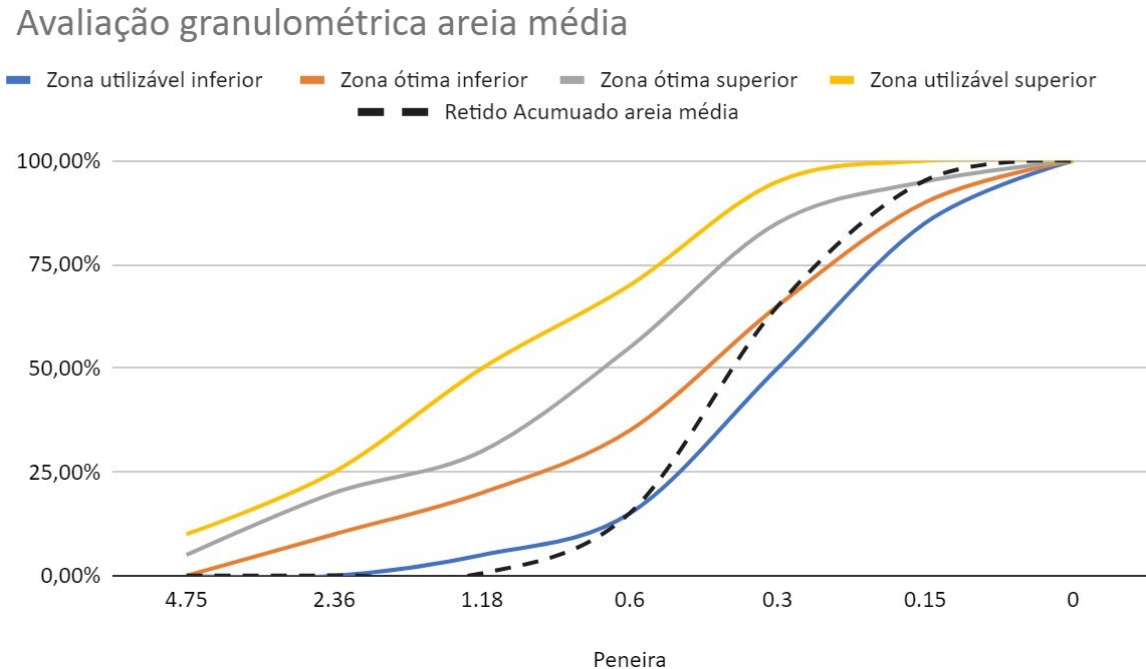
No Gráfico 1 e na Tabela 8, é possível notar que a areia média utilizada no traço, encontra-se em sua maior parte dentro da zona utilizável, com exceção na peneira de 1.18 mm que passou mais material que na zona utilizável inferior. Além disso, o módulo de finura que é calculado pelo somatório das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras dividido por 100 está dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211 : 2005 que estabelece faixas de valores de 1,55 a 2,20 para a zona utilizável inferior. O valor do módulo de finura da areia média utilizada no ensaio é 1,7599.

Tabela 8- Avaliação da granulometria da areia em relação às zonas utilizáveis e ótimas

Peneira	Zona utilizável inferior	Zona ótima inferior	Zona ótima superior	Zona utilizável superior	Retido Acumulado areia média
4.75	0,00%	0,00%	5,00%	10,00%	0,03%
2.36	0,00%	10,00%	20,00%	25,00%	0,09%
1.18	5,00%	20,00%	30,00%	50,00%	0,60%
0.6	15,00%	35,00%	55,00%	70,00%	15,09%
0.3	50,00%	65,00%	85,00%	95,00%	64,90%
0.15	85,00%	90,00%	95,00%	100,00%	95,29%
0	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte : Autor (2023)

Gráfico 1 - Avaliação da granulometria da areia em relação às zonas utilizáveis e ótimas



Fonte : Autor (2023)

4.1.2. Cerâmica

Assim como no caso da areia, a obtenção da curva granulométrica da cerâmica seguiu as diretrizes propostas pela NBR 7211:2005 como mencionado anteriormente, bem como a avaliação das faixas de valores das porcentagens retida e acumulada da cerâmica em cada peneira com as zonas inferiores e superiores seguiu. Os resultados obtidos no ensaio de peneiramento encontram-se na Tabela 8 e a avaliação dos percentuais retido acumulados em relação às zonas ótimas e utilizáveis estão na Tabela 9 e Gráfico 2.

Tabela 9 - Resultado do ensaio de granulometria da cerâmica

Peneira (mm)	Massa retida (Massa peneira + massa brita - massa da peneira) (g)	Percentual retido em cada peneira (%)	Percentual retido acumulado (%)
4,75 mm	60,00	5,77%	5,77%
2,36 mm	300,00	28,85%	34,62%
1,18 mm	180,00	17,31%	51,92%
600 µm	340,00	32,69%	84,62%
300 µm	80,00	7,69%	92,31%
150 µm	60,00	5,77%	98,08%
Fundo	20,00	1,92%	100,00%
Massa total	1.040,00	100,00%	

Fonte : Autor (2023)

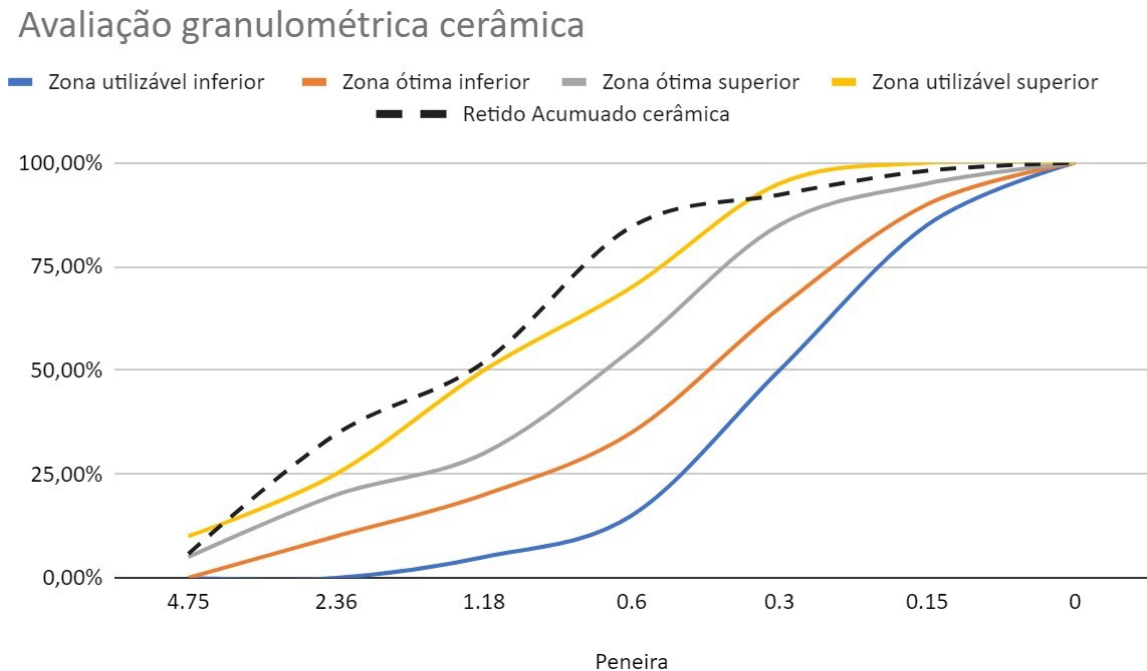
Tabela 10 - Avaliação da granulometria da cerâmica em relação às zonas utilizáveis e ótimas

Peneira	Zona utilizável inferior	Zona ótima inferior	Zona ótima superior	Zona utilizável superior	Retido Acumulado cerâmica
4.75	0,00%	0,00%	5,00%	10,00%	5,77%
2.36	0,00%	10,00%	20,00%	25,00%	34,62%
1.18	5,00%	20,00%	30,00%	50,00%	51,92%
0.6	15,00%	35,00%	55,00%	70,00%	84,62%
0.3	50,00%	65,00%	85,00%	95,00%	92,31%
0.15	85,00%	90,00%	95,00%	100,00%	98,08%
0	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte : Autor (2023)

Pela Tabela 8 e Gráfico 2 percebe-se que a porcentagem retida acumulada da cerâmica não ficou dentro das zonas utilizáveis superiores e inferiores para as peneiras de 2.36mm, 1.18 mm e 0.6 mm. Sobre o módulo de finura, foi calculado da mesma forma que a areia média, chegando ao resultado de 3,6731 que está acima da faixa de valores estabelecidos pela NBR 7211 2005 de 2,90 a 3,50 para a zona utilizável superior.

Gráfico 2 - Avaliação da granulometria da cerâmica em relação às zonas utilizáveis e ótimas



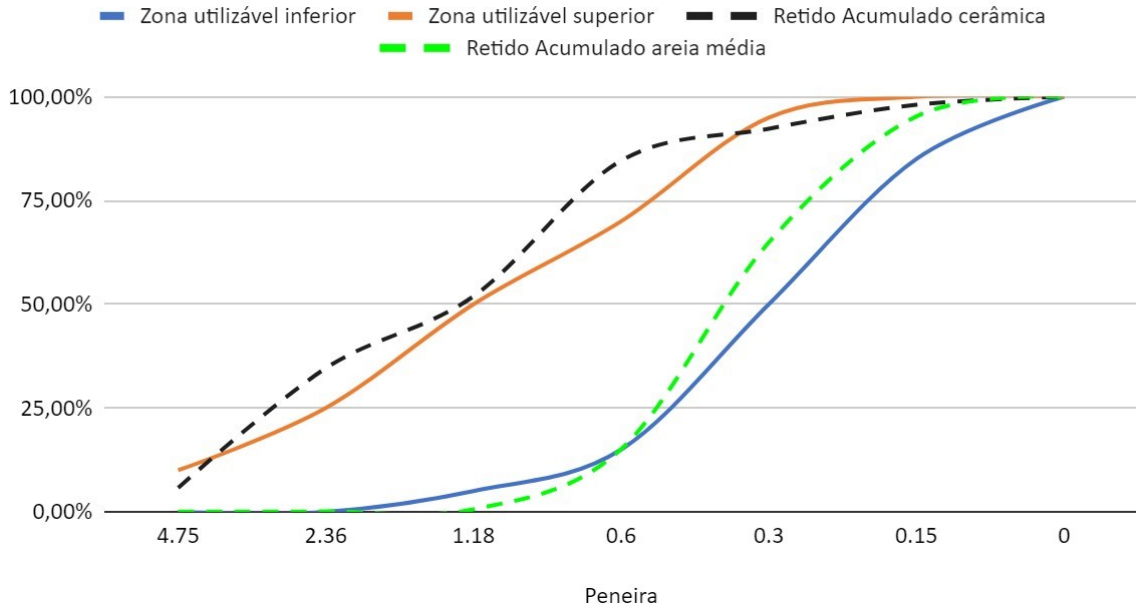
Fonte : Autor (2023)

4.1.3. Comparativo da granulometria da areia média com cerâmica

Comparando os resultados obtidos no ensaio de granulometria da cerâmica e da areia, é possível observar no Gráfico 3 que as massas de cerâmica acumuladas nas peneiras se encontram próximas a zona utilizável superior, enquanto as da areia próximas a zona utilizável inferior. Dessa forma, considerando que o módulo de finura da areia resultou em um valor dentro dos limites da zona utilizável inferior e da cerâmica um pouco acima dos limites estabelecidos pela zona utilizável superior, pode-se concluir que houve um equilíbrio na granulometria resultante da adição de 30% e 40% em substituição parcial a areia média.

Gráfico 3 - Granulometria da cerâmica e areia média

Comparando granulometria da cerâmica com areia média



Fonte : Autor (2023)

4.1.4. Brita

Foi utilizada uma amostra de 5 kg para a execução do ensaio de granulometria do agregado graúdo. As peneiras utilizadas para o ensaio foram: 25 mm, 19 mm, 12,7 mm, 9.5 mm, 6.3 mm e 4.75 mm. Os resultados do ensaio podem ser observados na Tabela 9, sendo que na coluna 2 da tabela, já foi calculada a massa final retida em cada peneira e nas colunas 3 e 4 a porcentagem retida acumulada de brita 01 de cada peneira para a elaboração da curva granulométrica. A curva granulométrica da brita 01, pode ser observada no Gráfico 4.

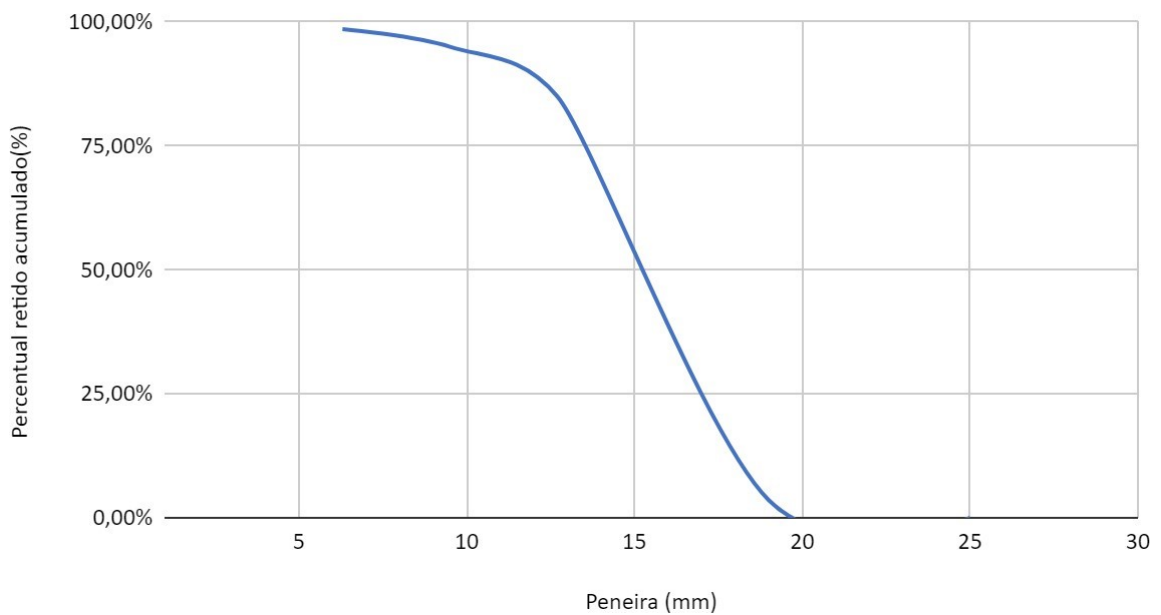
Tabela 11 - Resultado do ensaio de granulometria da brita 01

Peneira (mm)	Massa retida (Massa peneira + massa brita - massa da peneira) (g)	Percentual retido em cada peneira (%)	Percentual retido acumulado (%)
25	0,00	0,00%	0,00%
19	178,57	3,57%	3,57%
12,7	4.071,43	81,43%	85,00%
9,5	500,00	10,00%	95,00%
6,3	178,57	3,57%	98,57%
4,75	71,43	1,43%	100,00%
Fundo	5.000,00	100,00%	

Fonte : Autor (2023)

Gráfico 4 - Curva granulométrica da brita 01

Curva granulométrica da brita 01



Fonte : Autor (2023)

Pela análise da curva granulométrica e da quantidade de material retida nas peneiras, nota-se que 95% da massa total de brita 01, ficou nas peneiras de 19 mm,

12.7 mm e 9.5 mm, e justamente na peneira de 12.7 mm ficou retido a maior parte da brita 01, com 81,43% em massa.

4.2. ÍNDICES FÍSICOS

Os resultados obtidos de massa seca, massa saturada e massa saturada imersa em água, encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Massas das amostras obtidas no ensaio de índices físicos

Traço	Massa seca Ms (g)		Massa saturada Msat (g)		Massa saturada submersa Mi (g)	
	Valores medidos	Média	Valores medidos	Média	Valores medidos	Média
T0	35,5	35,5	38,1	38,1	19,83	19,83
T30	2,15	2,515	2,5	2,8	1,3	1,5
	2,88		3,1		1,7	
T40	8,49	6,33	9,5	7,2	4,5	3,6
	4,17		4,9		2,7	

Fonte : Autor (2023)

Os índices físicos apresentam uma correlação com algumas propriedades mecânicas, como por exemplo, a resistência à compressão do concreto é inversamente proporcional à porosidade e também ao índice de vazios calculados e mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultado dos índices físicos

Traço	Absorção de água (%)	Índice de vazios	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)
T0	7,324	14,231	1,943
T30	11,332	21,923	1,935
T40	13,744	24,167	1,758

Fonte : Autor (2023)

Na Tabelas 13 , pode-se observar que o traço padrão T0, apresentou os menores valores para absorção de água e também para índice de vazios e o maior valor para massa específica da amostra seca. Esse fato, possivelmente resultará em uma maior resistência do traço padrão em relação aos traços com substituição parcial de 30% e 40% de cerâmica vermelha.

Analisando os resultados obtidos, nota-se que o traço padrão obteve como resultado 7,324 % de absorção de água e que houve um acréscimo de 54% para o traço T30. Entre os traços T30 e T40 houve um acréscimo de 21% para esse mesmo fator.

Há uma relação direta entre a porcentagem de absorção de água do traço e o índice de vazios, pois à medida que se aumenta a absorção de água, o índice de vazios no interior dos CPs cresce. No Gráfico 4 é possível comparar a diferença do índice de vazios para cada traço.

Além disso, de acordo com a NBR 8953 : 2015, o concreto utilizado para fins estruturais

Gráfico 5 - Resultado índice de vazios



Fonte : Autor (2023)

4.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

4.3.1. Resistência a compressão dos traços T0, T30 e T40

A Tabela 14 apresenta na sequência os resultados obtidos para as resistências à compressão de cada CP, bem como a média e desvio padrão para cada traço, T0, T30 e T40.

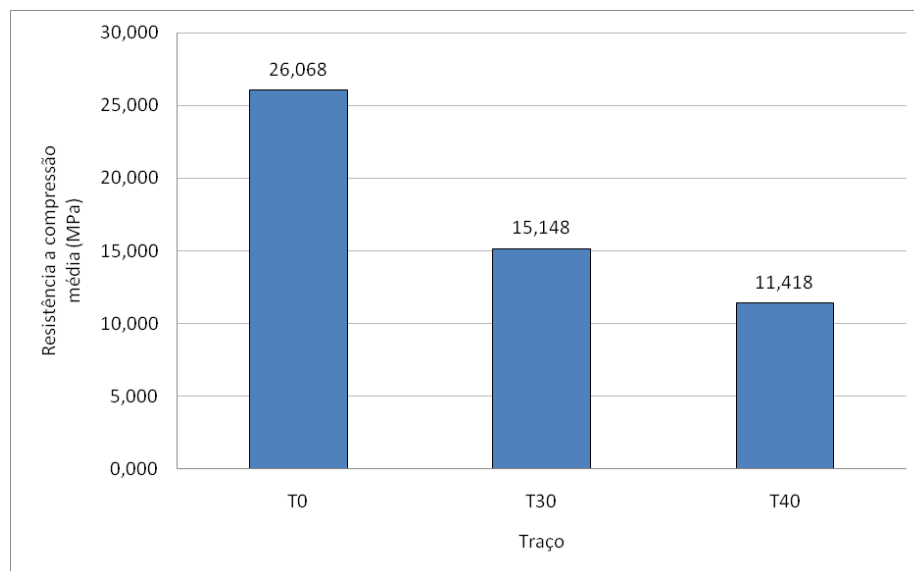
Tabela 14- Resistência à compressão dos traços T0, T30 e T40

CP	Compressão máxima (MPa)	Resistência média (MPa)	Desvio padrão
T0a	25,38	26,068	1,419
T0b	26,26		
T0c	24,67		
T0d	27,96		
T30a	14,98	15,148	0,602
T30b	14,78		
T30c	14,79		
T30d	16,04		
T40a	11,92	11,418	1,052
T40b	11,31		
T40c	12,44		
T40d	10		

Fonte : Autor (2023)

Já no Gráficos 6 é possível comparar a resistência média de cada traço.

Gráfico 6 - Resistência à compressão média T0, T30 e T40



Fonte : Autor (2023)

Pela análise da Tabela 14, observa-se que o desvio padrão encontrado para os traços T0, T30 e T40 foram respectivamente 1,419, 0,602 e 1,052. Os valores de desvio padrão encontrados são relativamente baixos, e não houve um valor de resistência muito discrepante em relação à média para os três traços.

A adição de 30% de cerâmica vermelha, resultou em um decréscimo na resistência média de 41,89% em relação ao traço padrão T0. Já a adição de 40% de cerâmica, provocou uma redução de 56,20%.

Este resultado era o esperado devido aos valores provenientes dos ensaios de índices físicos, que resultaram em valores de índice de vazios e de absorção de água maior para esses traços em relação ao traço padrão.

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento dos traços com substituição parcial de cerâmica vermelha por areia média nas proporções de 30% e 40% não apresentou resultados satisfatórios em termos de resistência mecânica. Esse resultado pode ser explicado como dito no trabalho de Vieira (2005) e Cecyn (2023), além do material cerâmico apresentar elevada porosidade, o mesmo tem elevada atividade pozolânica na mistura de concreto, elevando o consumo de água para que ocorra uma cura adequada. Como a relação a/c foi mantida constante, a resistência mecânica do concreto foi diminuída.

Sobre as dosagens estudadas neste trabalho, o traço T40 apresentou os valores mais baixos, cuja resistência média foi de 11,42 MPa, o T30 teve a resistência intermediária dos três traços de 15,15 MPa, e o traço de referência T0 obteve a maior resistência à compressão simples de 26,068 MPa. Avaliando a massa específica seca, todos os traços ficaram abaixo de 2000 kg/m³ que, conforme a norma, são considerados concreto leve e podem ser utilizados para enchimento.

A diferença significativa no desempenho mecânico dos três traços, já era esperada desde o ensaio dos índices físicos, pois as propriedades físicas como o índice de vazios e absorção de água estão diretamente ligados à resistência mecânica do concreto, inclusive corroborando com os resultados de Moraes et.al (2020). Além disso, a baixa resistência obtida no trabalho, é compatível com o estudo de Silva (2021) que aumentou as relações a/c a medida em que o teor de cerâmica na mistura foi elevado, o que promoveu uma retenção de água no interior das partículas de cerâmica que influenciou na cura do concreto.

Pela análise dos índices físicos obtidos no capítulo 4, a diminuição da resistência mecânica à medida em que se aumentava o teor de substituição de RCV é coerente com os resultados obtidos. O traço T40 teve os maiores valores de índice de vazios e absorção da água, o que resultou em um valor mais baixo de resistência mecânica. De forma análoga, o traço de referência T0 apresentou os menores valores de absorção de água e índice de vazios, acarretando em maior resistência mecânica.

Diante de todos os resultados, para a confirmação de uma melhoria no custo x benefício de um concreto com substituição parcial de areia média por resíduos de

construção civil, mais especificamente resíduo de cerâmica vermelha, seriam necessários novos testes em laboratório variando o teor de cerâmica moída e também realizando outros ensaios, como por exemplo a eficiência pozolânica do material cerâmico, bem como, avaliar o consumo de água a medida em que se aumenta a proporção de cerâmica moída na mistura. Além disso, seria interessante avaliar os incrementos de resistência promovidas pela adição de um aditivo superplastificante na mistura, como foi utilizado por Wada (2010).

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Testar dosagens com proporções menores de cerâmica vermelha;
- Avaliar a atividade pozolânica na mistura, diminuindo o módulo de finura da cerâmica;
- Aumentar a relação a/c para os mesmos traços com adição de cerâmica vermelha até atingir o nível de trabalhabilidade do concreto de referência.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. R. **Concretos de alto desempenho**. São Paulo: IBRACON, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**. Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054** . Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738** . Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739** . Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211** . Agregados para concreto - Especificação . Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778** . Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 3310-1** . Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos . Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- BARROS, T. G. G. **Resíduos de Construção e Demolição: Aspectos e Diretrizes** . 2017. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Ouro Preto , Ouro Preto, 2017.
- BOTOSSO, L. N. et. al. Propriedades mecânicas e morfológicas do concreto com substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de cerâmica vermelha. **Colloquium exactarum**, v. 11, n. 1, p. 79–80, 2019.
- CABRAL, A. E. B. **Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha**, 2005. Disponível em :

<https://www.scielo.br/j/ce/a/DkRynRJfxQDpRK9qpTqfz4S/?format=pdf&lang=pt>
Acesso em : 11 dez. 2023.

CECYN, M. **Análise das propriedades mecânicas do concreto com substituição parcial do cimento por resíduos de cerâmica vermelha** . 2023. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2023.

CUNHA, B. P.; AUGUSTIN, S. **Sustentabilidade ambiental : estudos jurídicos e sociais**. Campinas: Universidade de Coaxial do Sul, 2005. Disponível em : https://www.uces.br/site/midia/arquivos/Sustentabilidade_ambiental_ebook.pdf. Acesso em : 10 ago. 2023.

FERNANDES, A. V. B. et. al. Alvenaria de bloco cerâmico x bloco de concreto . **Ciências exatas e tecnológicas** | Aracaju | v. 3 | n. 2 | p. 37-66 | Março 2016 |.

FILHO, J. A. P. et. al. Gerenciamento dos Resíduos de Demolição Gerados nas Obras de um Edifício Localizado na Zona Leste da Cidade de São Paulo/SP . **Editora Unijuí**, n. 30, p. 265-305, 2015.

GARCIA, E. et. al. **Resíduo de Cerâmica Vermelha (RCV): Uma Alternativa como Material Pozolânico**.. Disponível em : <https://ceramicaindustrial.org.br/article/587657577f8c9d6e028b4809/pdf/ci-19-4-587657577f8c9d6e028b4809.pdf>. Acesso em : 11 dez. 2023.

HELENE, P.; TARZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo, p. 349, 1993.

LIMA, M. T. **Influência da adição de gesso e fosfogesso no tempo de pega do cimento portland**. 2019. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

MENOSSI, R. T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição a areia natural no concreto** . 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP, 2004.

META, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, propriedade e Materiais**. 1 ed. São Paulo: PINI, 1994.

MORAIS, M. N. L.; PINTO, A. C. P.; MELO, A. A. O. Gerenciamento dos resíduos sólidos da construção civil e de demolição no município de Belo Horizonte. **R. gest. sust. ambient., Florianópolis**, v. 2, n. 2, p. 45- 68, out.2013/ mar.2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 1997.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

RAMOS, M. A. L. et. al. Utilização dos resíduos de cerâmica vermelha como agregado miúdo em concretos Use of red ceramic waste as fine aggregate in concretes Uso de residuos de cerámica roja como agregado fino en concreto. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e357974145, 2020.

RODRIGUES, L. H. C. H. **Análise da incorporação do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais tratado termicamente na composição do cimentoportland** . 2018. Dissertação (Pós - Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual do Espírito Santo, Vitória, 2018.

SILVA, A. I. **Estudo do desempenho de concreto com resíduos de tijolos cerâmicos** . 2021. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2021.

SILVA, M. S. T. C. **Planejamento e controle de obras** . 2011. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

SINIR, S. **Resíduos Sólidos da Construção civil**.. Disponível em : <https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-da-construcao-civil> /Acesso em : 10 ago. 2023.

VALE, J.; ROCHA; A. . Disponível em : https://cdn.estrategiaconcursos.com.br/storage/temp/aula/2544985/0/curso-267431-aula-00-somente-em-pdf-0e6c-completo.pdf?Expires=1702268278&Signature=X7FGKuX35pN9bYWSw~-cXXUZq3GQBr4U1P8AcrdrV60Gn-gEY3E7UyGG0ID9uZ3L69VIL5DILUKqC2cN7FaPYkRFvnMYYM28zWUUC5RDaOXTUZzjcRkWTdVjXmnM7-U8yt sRDnZq8XiJbVrZ1V7r5zv0-GCSiQe8Qt3wbAWtVn-kdAW4mBOtuOnPA0GOMALUuj9HM4n~gsmFc0gKDqMTwOVFJUJeCSIQoBxcz17CZiaddmrflswX.G92rhscH1iXBoirCDQq5jUByzRE7n2t1F6442P5iqTgvzQVFBbXRQYiiWxC7zKXkrV7LSSnrUcKqMG8BHsNt626zboo-CokNA__&Key-Pair-Id=APKAIMR3QKSK2UDRJITQ.

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos** . 2005. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa, 2005.

WADA, P. H. **Estudo da Incorporação de resíduos de cerâmica vermelha na composição de concreto para uso em estacas moldadas in loco**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual de São Paulo, Ilha Solteira, 2010.