



# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO COM O USO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA COMO AGREGADO MIÚDO

## ARTIGO ORIGINAL

BRITO, Ytallo Colino de<sup>1</sup>, OLIVEIRA, Pedro Henrique da Silva<sup>2</sup>, LAURSEN, Anderson<sup>3</sup>

BRITO, Ytallo Colino de. OLIVEIRA, Pedro Henrique da Silva. LAURSEN, Anderson. **Avaliação das propriedades do concreto com o uso de resíduos de cerâmica vermelha como agregado miúdo.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 11, Vol. 12, pp. 53-68. Novembro de 2022.

ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/ceramica-vermelha>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/ceramica-vermelha

## RESUMO

O setor da indústria da construção civil é um dos pivôs da economia mundial. A ascensão do setor impacta positivamente na geração de empregos, contudo, os desafios da implementação de técnicas sustentáveis no setor são grandes. Resíduos de diversas origens são gerados e descartados de forma incorreta. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento de concretos produzidos com o uso de resíduos de cerâmica vermelha, telhas e tijolos, como agregado miúdo. A problematização pode se resumir por meio da seguinte pergunta: existe viabilidade técnica no uso dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos pela construção civil para obtenção do agregado miúdo a fim de mitigar os impactos ambientais do descarte indevido dos RCDs cerâmicos? Para tanto, proporções de 5%, 10% e 15%, em substituição ao agregado miúdo natural,



foram utilizadas, identificadas respectivamente por T-5, T-10 e T-15, enquanto o traço de referência (sem adição) foi identificado por T-REF. O traço escolhido foi 1:2:3, e o abatimento foi fixado em 70mm +/- 10 mm. Foram realizados os ensaios de ar incorporado no concreto, de abatimento ou slump test, e o ensaio de compressão simples, de compressão diametral e absorção de água por capilaridade. Os resultados obtidos mostraram que a substituição do agregado miúdo natural por resíduos de telhas cerâmicas não prejudica em grandes proporções, com relação a resistência final do concreto, tanto na compressão simples quanto na compressão diametral, pois os valores apresentados mediante os ensaios são próximos e positivos. Com relação ao ensaio de absorção por capilaridade, o gradual aumento no teor de RCV aumentou a absorção de água do concreto.

Palavras-chave: Construção civil, Concreto, Sustentabilidade.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, da mesma forma que possui expressividade socioeconômica, também, é responsável por grande parte dos impactos ambientais, sendo responsável por gerar aproximadamente 40% de todo os resíduos dos aterros (STROHER *et al.*, 2017) e mais da metade dos resíduos no meio urbano (VGR, 2020). Portanto, há grande preocupação com a sustentabilidade dos processos envolvidos nesse setor, como, por exemplo, o manejo e a reutilização adequada dos resíduos de construção e demolição (RCD).

O concreto é um material amplamente utilizado na construção civil, pois possui propriedades que o tornam mais viável em relação a outros materiais (PEREIRA, 2016). Devido a sua grande aplicação nas obras civis, é extremamente necessário que haja o desenvolvimento de concretos que utilizem, na sua composição, agregados não convencionais para minimizar os impactos ambientais e maximizar a viabilidade econômica (SILVA; MELO, 2021).



A análise e o tratamento adequado dos RCDs permitem a reutilização para a aplicação em diversas etapas das obras civis. O uso dos resíduos sólidos como agregado, seja ele graúdo ou miúdo, vem despertando um maior interesse por parte dos pesquisadores (OLIVEIRA; CABRAL, 2011; SANTOS, 2007; OLIVEIRA, 2015; WADA, 2010). Os RCDs têm grande potencial de fornecer agregados para produção de concreto de forma mais sustentável e adequados para alguns fins, além de minimizar o descarte de resíduos nos aterros e a necessidade de utilizar recursos naturais (GARCÍA-GONZÁLES *et al.*, 2015).

Segundo Stroher *et al.* (2017), o Brasil é o maior produtor cerâmico do mundo, com cerca de 70 bilhões de peças produzidas por ano, entre telhas, lajotas, pisos e blocos. A cerâmica vermelha tem grande número de aplicações no setor da construção civil, e, em sua grande maioria, utilizam técnicas de obtenção não sustentáveis e necessitam de grande quantidade de recursos naturais não renováveis.

Devido a sua grande expressividade quantitativa na construção civil, os resíduos de cerâmica vermelha constituem uma importante fonte de material base de agregado miúdo para o concreto. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo principal avaliar as propriedades no estado fresco e endurecidos de concretos produzidos através da substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduos provenientes da construção civil.

## 2. METODOLOGIA

O processo experimental foi desenvolvido no laboratório de engenharia civil do Centro Universitário Unifavip/Wyden, situado no município de Caruaru, no Agreste de Pernambuco. O experimento visou avaliar o comportamento da produção de concreto com o agregado cerâmico reciclado.



O aglomerante utilizado para a produção do concreto foi o cimento CP II Z-32, devido a sua facilidade de ser encontrado nas lojas de materiais de construção e, também, por ser o cimento mais comum utilizado nas obras da região. O agregado graúdo utilizado foi a brita nº 1, ou brita 19mm, por ser a mais usual na produção de concreto. Como agregado miúdo, foi utilizada a areia grossa, mais conhecida na região como areia lavada. Como material principal para o desenvolvimento e análise do trabalho, a telha cerâmica foi utilizada como agregado miúdo, sendo necessário à sua Trituração e peneiramento para que pudesse ficar dentro dos limites em que seria utilizada.

## 2.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

A obtenção do agregado cerâmico para substituição parcial do agregado miúdo para confecção do concreto se deu por meio da quebra e posterior Trituração das telhas. Esse processo foi manual, e executado com o auxílio de um soquete CBR (Figura 1) para que se obtivesse o pó do material com granulometria uniforme.

Figura 1 - Soquete CBR utilizado para triturar o material cerâmico



Fonte: autores (2022).



Em seguida, foi realizado o ensaio de peneiramento para definir o módulo de finura tanto do agregado reciclado quanto da areia natural. Esse processo consiste na passagem do material por um conjunto de peneiras, que vão desde a malha 4,75 mm à malha 0,15 mm, e na passagem do material resultante para um compartimento denominado fundo (Figura 2), seguindo as orientações da NBR NM 248.

Figura 2 - Ensaio de peneiramento dos resíduos cerâmicos e areia



Fonte: Autores (2022).

O módulo de finura de cada agregado foi obtido utilizando a equação 1:

(equação 1)

$$M_f = \sum \% \text{ acumulado} / 100$$

O  $\sum \% \text{ acumulado}$  não contempla o valor do recipiente de fundo.



No desenvolver do cálculo, foram encontrados os valores para o módulo de finura de: 2,69 para o agregado reciclado e 3,19 para a areia. De acordo com os valores encontrados, ambos os materiais se enquadram no limite de areia do tipo média, onde os limites variam entre 2,4 e 3,3.

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

O traço adotado para ser analisado neste trabalho foi o traço base (1:5). O teor de argamassa, ou a relação água/cimento (a/c), foi de 0,5 por apresentar uma boa coesão do concreto. Com isso, foi obtido o traço 1:2:3:0,5 (cimento, areia, brita e a/c), que é um traço comumente utilizado na construção civil e, também, pela faculdade para realização de experimentos. Após isso, todo o material necessário para o traço de referência foi separado e pesado para dar início a parte prática do trabalho, onde os materiais foram lançados na betoneira para serem misturados, e, após isso, verificou-se se o traço encontrado atendeu ao abatimento, ou slump, que foi fixado em 70mm +/- 10mm. O abatimento foi escolhido em função de proporcionar uma boa trabalhabilidade ao concreto.

Com isso, para o estudo, foram desenvolvidos 4 traços de concreto, sendo 1 de referência (T-REF) e os outros 3 contendo a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de telhas cerâmicas trituradas nas seguintes proporções: 5%(T-5), 10%(T-10) e 15%(T-15) em relação ao agregado miúdo natural. Observa-se, na tabela 1, a quantidade de materiais que foram utilizados para desenvolver todos os traços de concreto.



Tabela 1 - Consumo de materiais em cada traço de concreto

Traços	Quant. CPs	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Resíduo (kg)	Água (l)	A/C
T-REF	12	10	20	30	0	5,00	0,500
T-5	12	10	19	30	1	5,50	0,550
T-10	12	10	18	30	2	5,60	0,560
T-15	12	10	17	30	3	5,61	0,561

Fonte: Autores (2022).

Com todo material misturado na betoneira, foi analisado se o concreto tinha atingindo uma consistência homogênea, não apresentando desagregação da brita com relação a pasta de cimento. Após isso, foi verificado se o mesmo estava dentro dos intervalos definidos com relação ao abatimento. Para isso, foi feito o ensaio de abatimento do tronco de cone (Figura 3), seguindo a NBR NM 67 (1998).

Figura 3 - Ensaio de abatimento do tronco de cone ou slump test



Fonte: autores (2022).

O ensaio de abatimento, ou Slump Test, foi feito em todos os traços, para que o concreto atendesse ao requisito de trabalhabilidade. Para atender ao requisito definido inicialmente, os traços contendo a substituição parcial da areia tiveram que ter um acréscimo na quantidade de água com relação ao traço de referência por se tratar de um material proveniente de argila. Com isso, foi feito o acréscimo



da água em cada traço, sempre fazendo o ensaio de abatimento logo após a injeção para ver se o concreto atingiu os parâmetros estabelecidos.

Para realizar o ensaio de ar incorporado no concreto, seguindo a NBR NM 47:2003, foi utilizado um equipamento chamado de pressométrico. Após a finalização de todos os traços de concreto, foi executado a moldagem dos corpos de prova (CP), seguindo a NBR 5738, para que esses pudessem, depois de desformados e identificados, serem inseridos em um tanque coberto com água, para que ficassem desenvolvendo o seu processo de cura até as datas da realização dos ensaios de: compressão simples; tração por compressão diametral e absorção de água por capilaridade.

Para a realização do ensaio de rompimento à compressão simples (Figura 4), seguindo a NBR 5739:2018, foi definida três datas, são elas: 7, 14 e 28 dias após a inserção dos CPs no tanque, para que fosse analisada a sua evolução com relação a resistência.

Figura 4 - Ensaio de rompimento à compressão simples



Fonte: autores (2022).



Para o ensaio de tração à compressão diametral, seguindo a NBR 7222:2011, foi definido uma única data, sendo essa de 28 dias.

O ensaio de absorção de água por capilaridade teve início após 28 dias, seguindo a NBR 9779:2012. Após anotar todos os dados nos intervalos de tempo de 3; 6; 24; 48 e 72 horas, fez-se o rompimento dos CPs por meio do ensaio de compressão diametral, para verificar com uma régua, no seu interior, o quanto de água percolou. Feito isso, para calcular o valor de absorção de água do concreto, utiliza-se a equação 2.

(equação 2)

$$C = \frac{(a - b)}{S}$$

Onde:

C = absorção de água por capilaridade ( $\text{g}/\text{cm}^2$ );

A = massa do CP que permanece em contato com a água;

B = massa do CP seco;

S = área da seção transversal do CP ( $\text{cm}^2$ ).

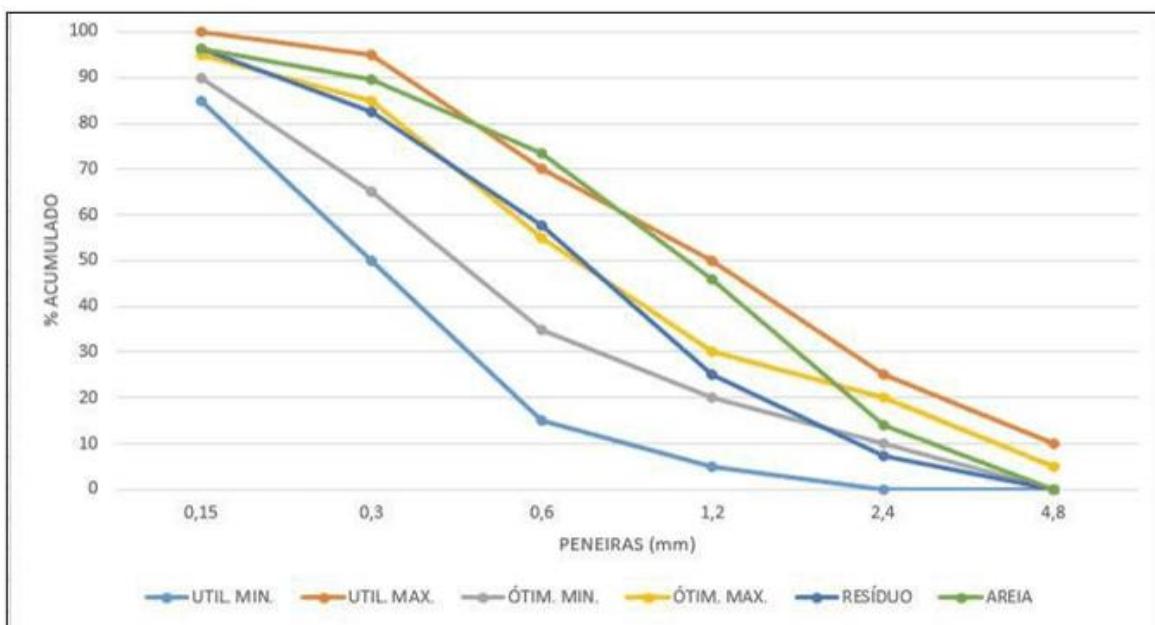
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição granulométrica dos agregados miúdos utilizados no presente trabalho, após ser realizado o ensaio de peneiramento, está expressa na Figura 5. Nessa figura, é possível identificar que o agregado natural (areia) permanece, em boa parte, fora dos limites ótimos, mas se encontra dentro dos limites utilizáveis,

isso porque apresenta uma maior quantidade de material com granulometria maior. Por outro lado, o RCV praticamente permanece dentro dos limites ótimos, o que já era esperado, por apresentar uma granulometria mais bem definida e controlada.

Observa-se que ambos os agregados têm uma maior retenção nas peneiras de 0,6 mm e 0,3 mm. Com isso, como apresentando no início, tanto a areia quanto o RCV se enquadram como areia do tipo média, por estarem dentro do intervalo de 2,11 a 3,38, como define Bauer (2008).

Figura 5 - Distribuição granulométrica dos agregados miúdos



Fonte: autores (2022).

O ensaio de abatimento, ou Slump Test, obteve resultados conforme ilustra a Tabela 2. Nessa mesma tabela, também se encontram os valores da relação água/cimento de cada traço.

Todos os traços atingiram o abatimento definido no início, garantindo, assim, uma boa homogeneização e trabalhabilidade do concreto. Mas, para conseguir ficar



dentro do intervalo de abatimento, os traços contendo a incorporação do resíduo cerâmico tiveram uma maior relação água/cimento, uma vez que o material inserido tem como matéria-prima a argila, que apresenta características porosas, e, também, por se tratar de um material com uma granulometria menor.

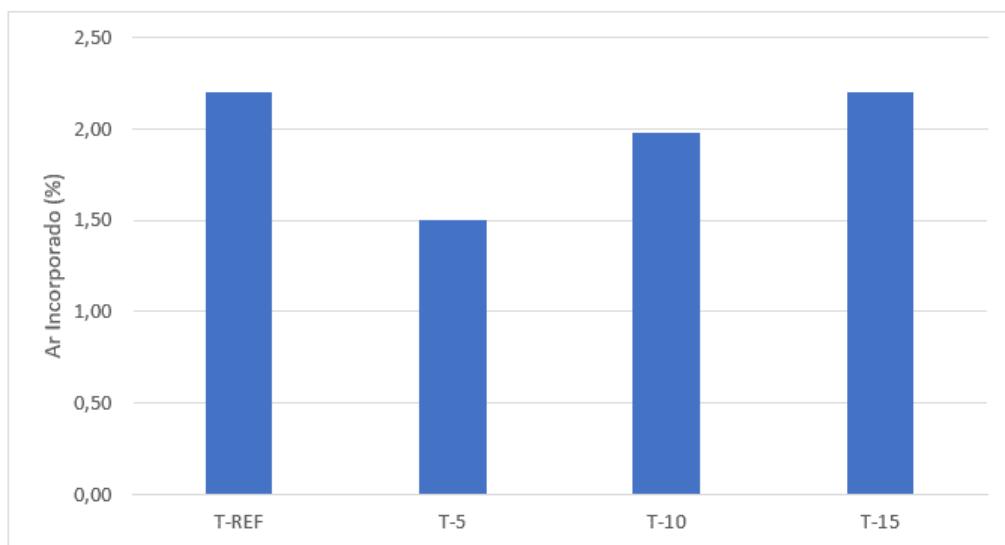
Tabela 2 - Resultados do ensaio de Slump Test e relação água/cimento dos traços

TRAÇO	ABATIMENTO (mm)	A/C
T-REF	75	0,500
T-5	72	0,550
T-10	67	0,560
T-15	70	0,561

Fonte: autores (2022).

O ensaio de ar incorporado no concreto mostrou que os concretos contendo substituição do agregado miúdo, com exceção do T-5, apresentaram valores bem próximos do T-REF, tendo o T-15 o mesmo valor de ar em seu interior (Figura 6). O T-5 expressa, em seu interior, pouco mais de 68% do ar existente no T-REF.

Figura 6 - Resultados do ensaio de ar incorporado no concreto

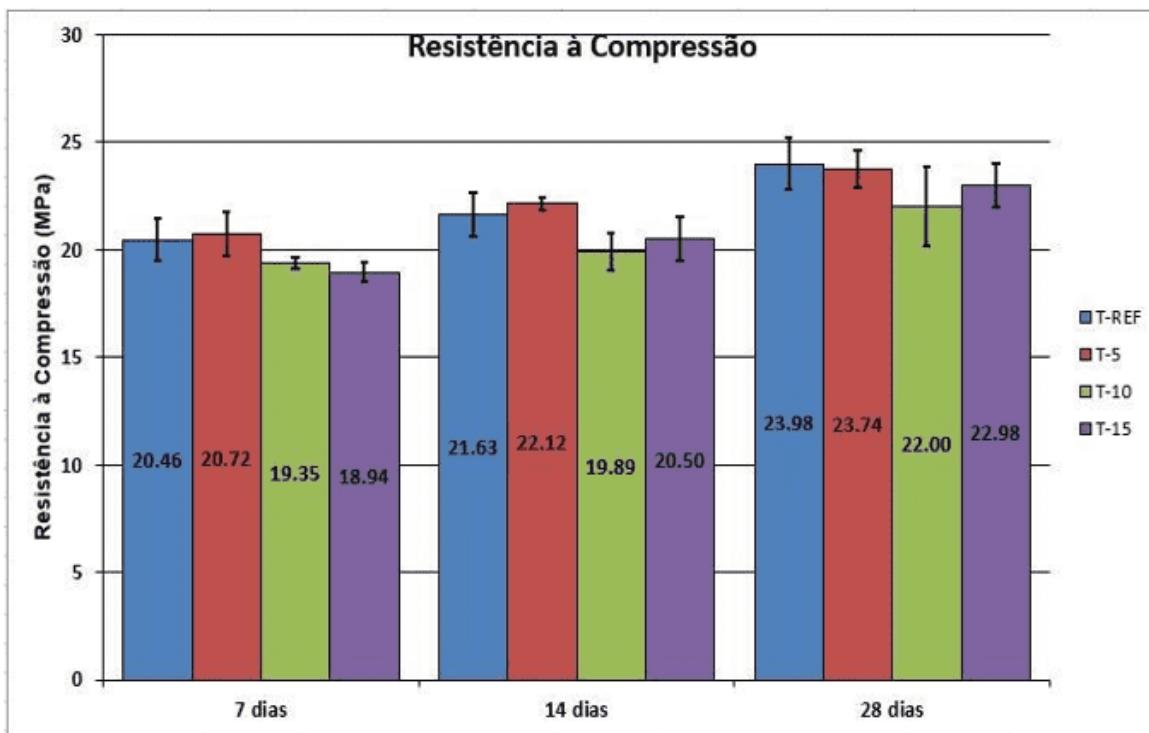


Fonte: autores (2022).



Os resultados obtidos por meio do ensaio de compressão simples para os traços de referência e com a substituição estão na Figura 7.

Figura 7 - Resultados do ensaio de compressão simples



Fonte: autores (2022).

Os ensaios foram realizados nas idades de 7, 14 e 28 dias. Com base nos dados, a incorporação da cerâmica vermelha no concreto não provocou grandes variações na resistência, uma vez que todos os traços tiveram valores bem significativos em todas as idades em que aconteceu o rompimento dos corpos de prova, se aproximando do valor do concreto de referência, que obteve, aos 28 dias, uma resistência média de 23,98 MPa. Os resultados corroboraram com os valores de resistência encontrada por Wada (2010) ao analisar o traço rico (1:6), conforme definição dos autores. O T-5, dentre os traços contendo a incorporação da cerâmica vermelha, foi o que melhor teve resultados desde o primeiro rompimento até o último, tendo um valor, aos 28 dias, bem aproximado do T-REF, com 23,74 MPa de resistência média, com uma diferença de aproximadamente

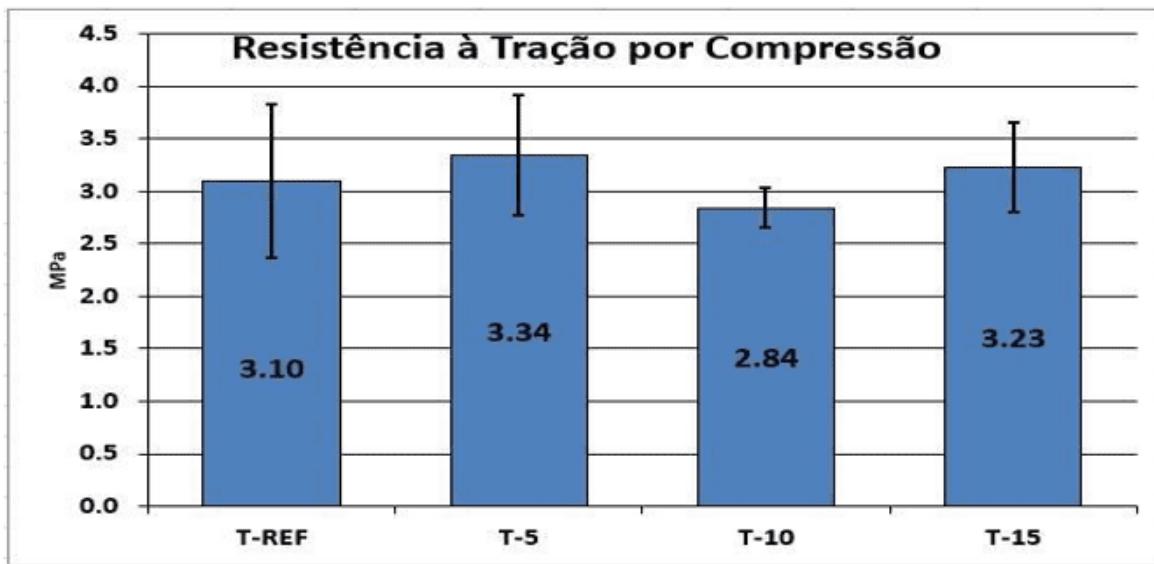


1% ou apresentando 99% de sua resistência. O T-10, dentre os demais, foi o traço que apresentou a menor capacidade de carga, apresentando, aos 28 dias, uma resistência média de 22,00 MPa, mas, mesmo assim, com relação ao T-REF, foi possível apresentar cerca de 91,74% de sua resistência.

Com isso, os dados apresentados na Figura 7 deixam claro que o aumento do RCV no concreto não ficou relacionado diretamente ao ganho ou à perca de resistência, pois o T-5 apresentou melhores resultados dentre os traços contendo a substituição, enquanto que o T-10 apresentou um resultado inferior ao T-15.

A Figura 8 apresenta os resultados obtidos no ensaio de tração por compressão diametral. Sabe-se que o concreto tem elevada resistência na compressão, e não na tração, com isso, o ensaio de compressão diametral apresenta valores bem abaixo se comparados com os resultados do ensaio de compressão simples.

Figura 8 - Resultados do ensaio de compressão diametral



Fonte: autores (2022).

Observa-se, inicialmente, que os valores de resistência de cada traço de concreto estão próximos uns dos outros, não tendo valores muito divergentes. Ao analisar o



gráfico acima, o T-5 foi o traço que obteve um melhor resultado, com 3,34 MPa, ultrapassando até mesmo o valor de resistência do T-REF em aproximadamente 7,5%. O T-15 apresentou, também, uma resistência maior que o T-REF, cerca de 4%.

A substituição de 10% do agregado miúdo, em mais um ensaio, mostra que esse teor não consegue deixar o concreto com boas características e resistência com relação aos demais traços estudados. Mesmo assim, o T-10 expressou uma boa resistência, se comparado ao T-REF, conseguindo entregar cerca de 91,61% de sua resistência. A resistência à tração do concreto corresponde a aproximados 13% e 14% da resistência à compressão para os traços T-REF e T-10 na faixa de 13% e para os traços T-5 e T-15 na faixa de 14%. No estudo de Costa e Favini (2008), o percentual de resistência do concreto na tração com relação à compressão foi na faixa de 21%. Essa diferença em relação a este estudo, aqui apresentado, pode ter ligação com diversos fatores, tais como o preparo do concreto, a quantidade de ar incorporado, a moldagem dos CPs etc.

O ensaio de absorção de água por capilaridade obteve os valores que estão apresentados nas Tabelas 3 e 4 e na Figura 9.

Tabela 3 - Percolação de água nos CPs

TRAÇOS	PERCOLAÇÃO (cm)
T-REF	9,43
T-5	8,37
T-10	9,27

Fonte: autores (2022).

Tabela 4 - Absorção de água por capilaridade nos CPs

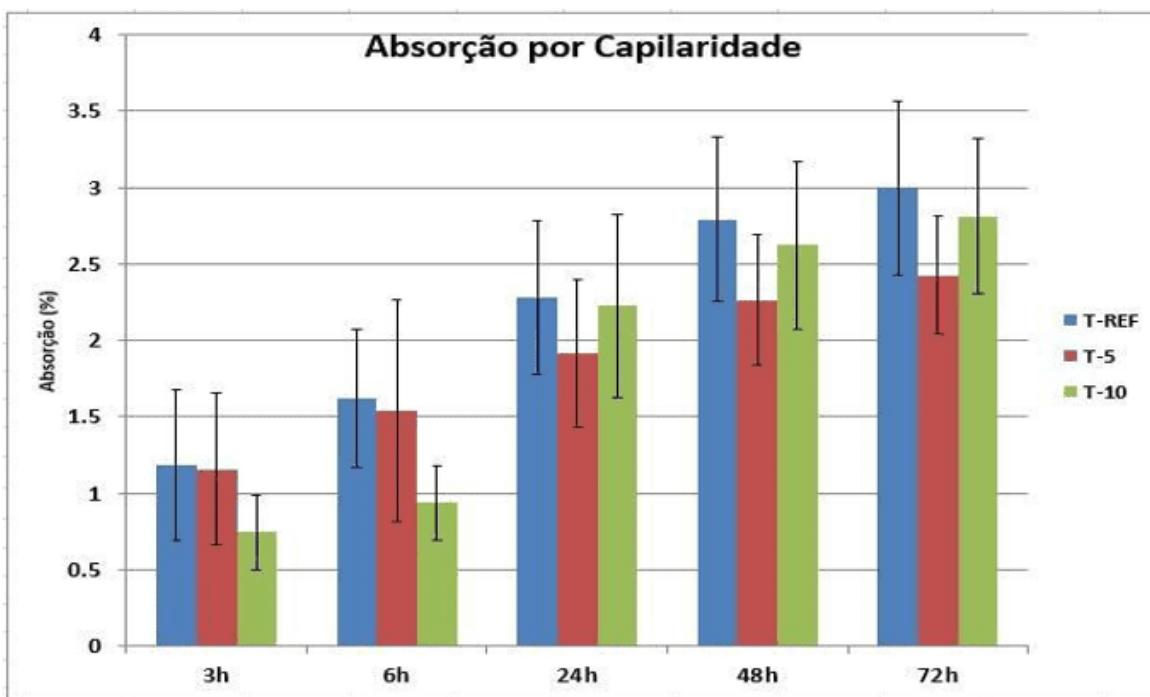
TRAÇOS	Tempo (horas)				
	3	6	24	48	72



	Absorção (g/cm <sup>2</sup> )				
T-REF	0,38	0,68	0,89	1,12	1,22
T-5	0,38	0,54	0,65	0,80	0,88
T-10	0,27	0,36	0,86	1,03	1,11

Fonte: autores (2022).

Figura 9 - Resultados do ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: autores (2022).

Na análise dos dados, percebe-se que o T-REF apresentou o pior desenvolvimento, desde o início, dentre todos os traços, com uma média de absorção de 1,22 g/cm<sup>2</sup> ou na faixa de 3% após 72 horas. Com isso, se mostrou ser um concreto mais poroso, com uma maior capacidade de absorção de água, por conta de a areia ter uma granulometria maior, ocasionando, assim, maiores índices de vazios.

O T-5, mais uma vez, conseguiu entregar um melhor resultado nos 2 ensaios, mostrando ter uma menor capacidade de absorção e, interligado a isso, uma



maior capacidade de impedir que a água percole no seu interior, apresentando uma média de absorção de pouco menos de 2,5% após as 72 horas da realização do ensaio. Fazendo uma análise do T-5 com o T-REF, o T-5 conseguiu absorver 27,87% a menos que o traço de referência, mostrando ser positiva essa quantidade de material incorporado para o ensaio em análise.

O T-10, após as primeiras 6 horas, apresentou um comportamento linear, tendo um aumento gradativo na capacidade de absorção por conta do maior teor de RCV na sua mistura. O mesmo conseguiu ter um valor de absorção abaixo do concreto de referência, apresentando cerca de 1,11 g/cm<sup>2</sup>, ou pouco mais de 2,5%. Se comparado ao T-REF, o traço em questão absorveu cerca de 9% a menos. Com isso, mostra-se, também, como uma boa alternativa, esse teor de cerâmica vermelha no concreto.

De modo geral, a substituição de 5% do agregado miúdo natural se mostrou mais eficiente que o próprio T-REF, uma vez que diminuir a percolação de água no interior do concreto faz com que ele tenha uma característica mais impermeável.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A substituição do agregado miúdo natural por resíduos de telhas cerâmicas não prejudica em grandes proporções, com relação a resistência final do concreto, tanto na compressão simples quanto na compressão diametral, pois os valores apresentados mediante os ensaios são próximos e positivos.

Com relação ao ensaio de absorção por capilaridade, o gradual aumento no teor de RCV aumentou a absorção de água do concreto, uma vez que foi observado, no gráfico, essa condição. Por outro lado, a incorporação da cerâmica vermelha, até o teor de substituição aqui estudado, para este ensaio, se mostrou positiva, tendo em vista que os traços apresentaram valores de absorção abaixo do concreto de referência, lhe dando característica impermeável graças ao material



cerâmico apresentar uma granulometria menor, fazendo com que tenha um empacotamento mais bem definido, fechando boa parte dos espaços vazios.

Em uma análise geral, o concreto contendo a substituição de 5% do agregado miúdo natural por material cerâmico triturado (telhas cerâmicas) foi o que melhor apresentou resultados nos ensaios, conseguindo atender aos requisitos aqui estudados, os quais o concreto convencional apresenta, sendo a mais importante a sua resistência final. Esse mesmo teor de substituição apresentou, também, uma vantagem com relação à ascensão capilar, onde conseguiu apresentar uma menor capacidade de absorção de água.

Com isso, a substituição do agregado miúdo por telhas cerâmicas trituradas em uma faixa de até 15% apresentou resultados satisfatórios, podendo ser utilizado para fins não estruturais.

## REFERÊNCIAS

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5<sup>a</sup> ed. revisada, [reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

COSTA, J. S.; FAVINI, A. C. Resíduo de cerâmica vermelha como agregado alternativo para construção civil. In: **2<sup>a</sup> Jornada da produção científica da educação profissional e tecnológica da região Centro Oeste**, Cuiabá, 2008.

GARCÍA-GONZÁLEZ, J. *et al.* Ceramic ware waste as coarse aggregate for structural concrete production. **Environmental Technology**, v. 36, n. 23, p. 3050–3059, 2015.

OLIVEIRA, B. T. de. **Uso de resíduos de construção e demolição em argamassas para revestimento de alvenaria**. 2015. 68f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

OLIVEIRA, M. E. D.; CABRAL, A. E. B. Argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados de Fortaleza/CE, Brasil. **Engenharia Civil UM**, n. 41, p. 21-34, 2011.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

NÚCLEO DO  
CONHECIMENTO

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO  
CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

PEREIRA, C. Tipos de concreto utilizados na construção civil. **Escola Engenharia**, 2016. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/tipos-de-concreto/>. Acesso em: 19 mar. 2021.

SANTOS, E. C. G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. 2007. 168f. Dissertação (Mestrado em Geotecnica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.

SILVA, D. A.; MELO, C. E. L. Utilização de material cerâmico proveniente do RCD para aplicação em concreto: uma revisão. **RISCO - Revista De Pesquisa Em Arquitetura E Urbanismo**, v. 19, n. 1, p. 1-15, 2021. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.11606/1984-4506.risco.2021.162069>. Acesso em: 21 nov. 2022.

STROHER, A. P. et al. Utilização da cerâmica de entulho na substituição de agregado graúdo do concreto. **Cerâmica Industrial**, v. 22, n. 4, p. 34–46, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2017.001>. Acesso em: 21 nov. 2022.

VGR. Resíduos da Construção Civil: construindo valores de sustentabilidade. **VGR**, 2020. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/residuos-da-construcao-civil-construindo-valores-de-sustentabilidade/>. Acesso em: 29 abr. 2021.

WADA, P. H. **Estudo da incorporação de resíduos de cerâmica vermelha na composição de concreto para uso em estacas moldadas in loco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2010.

Enviado: Setembro, 2022.

Aprovado: Novembro, 2022.

<sup>1</sup> Estudante de Engenharia Civil. ORCID: 0000-0002-1896-2510.

<sup>2</sup> Estudante de Engenharia Civil. ORCID: 0000-0003-4008-1979.

<sup>3</sup> Orientador. ORCID: 0000-0002-9941905X.