

## Avaliação mecânica de concretos com agregado graúdo proveniente de resíduos de construção civil otimizados pela técnica de dopagem

  <https://doi.org/10.56238/tecavanaborda-014>

### **Daniel Minucelli Andrade**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Votuporanga  
E-mail: danielminucelli@hotmail.com

### **Lara Guizi Anoni**

Universidade de São Paulo – Campus São Carlos

### **Mariana Nuccitelli Simões**

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

### **Ana Paula Moreno Trigo**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Votuporanga

### **RESUMO**

O potencial produtivo do setor da construção civil traz como consequência a elevada geração de resíduos, que muitas vezes não possuem um descarte correto. Uma alternativa para o problema é o emprego destes Resíduos de Construção Civil (RCC) em concretos. Alguns estudos mostram

resultados favoráveis a esta aplicação. Porém, há de se atentar a algumas limitações do material, como baixa resistência mecânica. Uma possível maneira de melhorar suas características é a aplicação da técnica de dopagem, que consiste em impregnar o agregado com uma calda de alto desempenho, contendo cimento, sílica ativa e aditivo superplastificante, de forma a alterar sua estrutura superficial. Este estudo teve como objetivo avaliar as características mecânicas de concretos produzidos com agregados graúdos provenientes de RCC otimizados pela técnica de dopagem. A análise da eficiência se deu pela comparação das misturas com agregado dopado e misturas controle (elaboradas com agregados não dopados), mediante ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral, absorção de água e determinação do módulo de elasticidade. Os resultados mostram que a técnica de dopagem no agregado não trouxe benefícios aos concretos.

**Palavras-chave:** Dopagem, Calda de alto desempenho, Agregado graúdo de RCC.

## **1 INTRODUÇÃO**

O setor da construção civil possui grande potencial de desenvolvimento socioeconômico no nosso país e no mundo. No entanto, consome imensa quantidade de recursos naturais e gera grande volume de resíduos de construção (GALLEGO, 2019). Estudos acerca do emprego de materiais alternativos, como o resíduo de construção civil (RCC), em concretos contribuem para o desenvolvimento de um material sustentável. O RCC, quando não reaproveitado, gera impactos negativos ao ambiente, como poluição de rios e diminuição da vida útil de aterros sanitários (PIETROBON, 2018).

Diversas pesquisas introduzem o RCC em compósitos cimentícios. Como exemplo, Anoni, Trigo e Pietrobbon (2020) produziram concretos com RCC que apresentaram ganho na resistência, sendo justificado pela grande quantidade de finos presentes no resíduo, que causa maior empacotamento de vazios na mistura. Gallego (2019) obteve ganho de resistência de 50,2% ao se usar 50% de RCC no concreto, atribuindo a melhoria ocorrida também à presença de finos contidos no RCC.

Apesar das pesquisas positivas sobre o uso do material deve-se considerar suas principais diferenças com o agregado natural que são a heterogeneidade da composição do RCC, menor resistência e maior absorção de água, limitando seu uso em concretos. O excesso de materiais contaminantes, o alto teor de argamassa aderida aos grãos e o alto teor de material pulverulento são limitações do material (PERDENEIRAS, 2017). Assim, é de suma importância estudar técnicas de melhorias para o RCC, aliando resistência e sustentabilidade aos concretos produzidos.

Trigo (2012) estudou a técnica de dopagem como alternativa para melhorar a resistência de agregados graúdos deficientes possibilitando a sua introdução, de forma benéfica, na confecção de concretos. A técnica consiste em impregnar o agregado com calda de alto desempenho (cimento, sílica ativa e aditivo superplastificante), de forma a alterar a textura do grão e formar uma ponte de ligação com os demais aglomerantes da mistura cimentícia. Dessa maneira, o presente estudo visa avaliar as características mecânicas de concretos produzidos com agregados graúdos de RCC que passaram pela técnica de dopagem, de modo a verificar a viabilidade de aplicação da técnica e contribuir com o aproveitamento mais eficiente deste agregado alternativo.

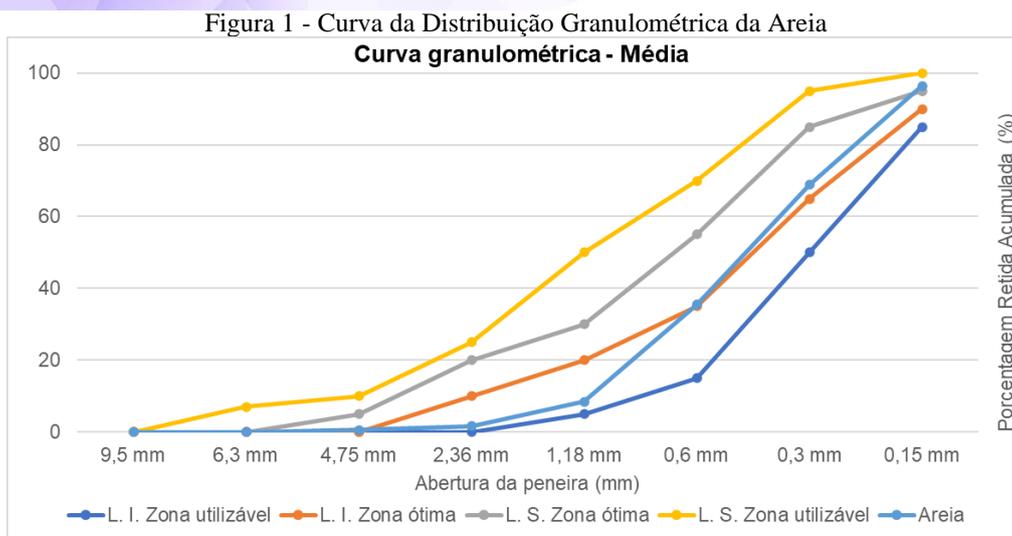
## **2 MATERIAIS**

Os materiais utilizados para confecção do concreto foram cimento Portland CPV-ARI da empresa Liz S/A, sílica ativa da Tecnosil, agregado miúdo natural, agregado graúdo proveniente do RCC, e aditivo superplastificante Blok Graute Pro.

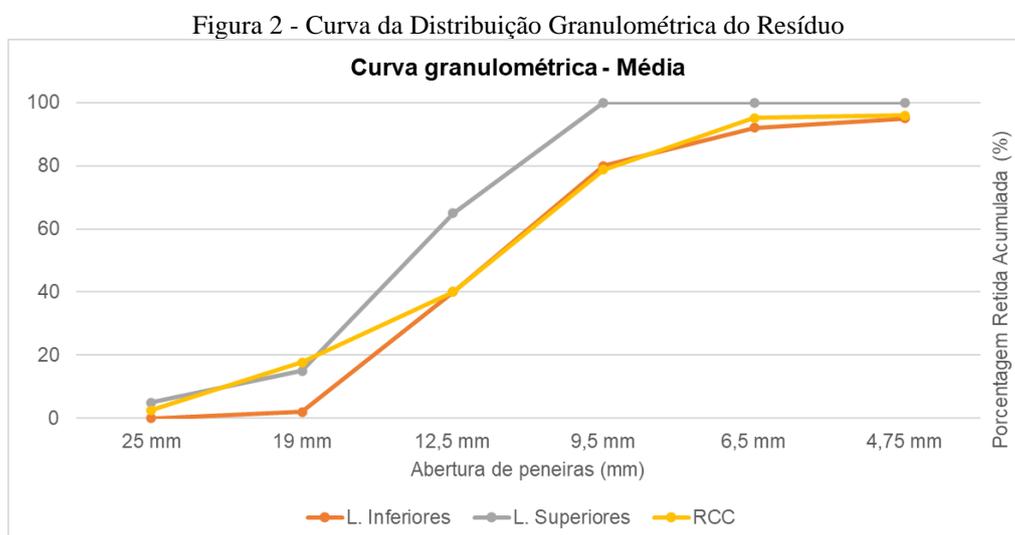
A caracterização dos agregados foi realizada no Laboratório de Análise de Materiais do IFSP – *Campus* Votuporanga, e dos demais materiais foram consideradas as características fornecidas pelos fabricantes.

## **3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**

A areia natural e o agregado graúdo reciclado utilizados na pesquisa foram caracterizados de acordo com a NBR 17054:2022. Ambos os materiais ficaram dentro da zona utilizável de acordo com a normativa (Figuras 1 e 2), a areia com um diâmetro máximo de 2,4 mm e módulo de finura de 2,09, e o agregado graúdo RCC apresentou diâmetro máximo de 25 mm e módulo de finura de 6,81.



Fonte: Próprio autor, 2022.



Fonte: Próprio autor, 2022.

#### 4 MASSA ESPECÍFICA E UNITÁRIA

A massa específica foi determinada de acordo com a NM 52:2009 para agregado miúdo e com a NM 53:2009 para agregado graúdo. As massas unitárias solta e compactada da areia foram calculadas seguindo a NBR 16972:2021. Características do cimento e da sílica foram fornecidos pelos fabricantes. Os resultados estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Massa específica e unitária dos materiais

Material	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Unitária Solta (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Unitária Compactada (g/cm <sup>3</sup> )
Cimento	3,05	0,90 a 1,20	-
Sílica Ativa	2,22	<3,50	>3,50
Areia	2,69	1,54	1,56
RCC	2,11	1,47	1,51

Fonte: Próprio autor, 2022.

## 5 ABSORÇÃO DE ÁGUA DO RCC

A absorção de água do resíduo de construção civil foi verificada de acordo com a NM 53:2009. Como resultado, obteve-se 8,50% de absorção de água pelo agregado graúdo reciclado, considerado um teor elevado quando comparado aos 0,5% do agregado graúdo basáltico, conforme indica literatura.

## 6 CALDA DE DOPAGEM

Antes da elaboração dos concretos, foi realizado o procedimento de dopagem dos agregados de RCC com calda de alto desempenho, levando-se em consideração parâmetros de dosagem, mistura e consistência apresentados por Trigo (2012).

Após o preparo da calda, realiza-se o ensaio de mini abatimento, como esquematizado na Figura 3, o qual foi desenvolvido por Kantro (1980) para analisar o efeito de diferentes teores de aditivo no cimento através da mudança da plasticidade da mistura.

Figura 3 - Ensaio de mini abatimento: espalhamento da pasta.



Fonte: Trigo (2012).

A impregnação da calda no agregado é de suma importância para que se obtenha um bom desempenho do concreto. Dessa forma, é necessária alta trabalhabilidade para que seja formada uma camada de impregnação mais fina e eficaz em toda a superfície do agregado. Entretanto, com o objetivo de aumentar essa trabalhabilidade sem aumentar o teor de água, pode-se utilizar teores excessivos de aditivo, dificultando o início e fim de pega e conseqüentemente a impregnação correta da calda no agregado. Por isso, foi realizado o ensaio de início e fim de pega de acordo com a NBR 16607:2018.

O preparo da calda seguiu os procedimentos de acordo com Castro (2007):

- Primeiro, o cimento e 90% da água de amassamento foram misturados por 1 minuto em velocidade baixa;
- O misturador foi parado por 1 minuto para a remoção de material acumulado nas laterais da cuba e homogeneização. Adicionou-se então a sílica, e a pasta foi novamente misturada por mais 1 minuto na velocidade baixa;
- Mais uma vez a mistura foi interrompida por 1 minuto para que as laterais da cuba fossem limpas. Neste intervalo adicionou-se o superplastificante e a água restante;

- A pasta foi misturada por mais 30 segundos na velocidade baixa, seguido de mais 90 segundos na velocidade alta.

Depois de preparada a calda, os agregados foram incorporados a ela. Após a impregnação, o excesso da pasta foi removido com auxílio de peneira, conforme Figura 4, para que o volume excedente não se somasse ao da pasta do concreto, falseando resultados comparativos. É possível notar a regularização da superfície do agregado dopado no comparativo da Figura 5. Em seguida, os agregados dopados foram cobertos com saco plástico e acondicionados em câmara úmida até o momento da confecção do concreto, que ocorreu no instante de início de pega da calda de alto desempenho, conforme indicações de Trigo (2012).

Figura 4 – Procedimentos de dopagem do agregado de RCC.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 5 – Agregado antes e após dopagem.



Fonte: Próprio autor, 2022.

## 7 TRAÇOS DE CONCRETO

A dosagem dos concretos foi realizada seguindo o método IPT/USP e orientações de Trigo (2012). A fim de avaliar a técnica de dopagem em diferentes misturas de concreto, com diferentes consumos de cimento, foram elaborados traços ricos, médios e pobres. Para avaliar a eficiência da dopagem no agregado graúdo, misturas controle, com o agregado graúdo reciclado sem algum beneficiamento, foram também produzidas. As nomenclaturas das misturas são: concreto controle 1:3,5 (CC35), concreto dopado 1:3,5 (CD35), concreto controle 1:5,0 (CC50), concreto dopado 1:5,0 (CD50), concreto controle 1:6,5 (CC65) e concreto dopado 1:6,5 (CD65).

Por recomendações da NBR 6118:2007, buscou-se não ultrapassar a máxima relação água/cimento de 0,65. A consistência das misturas foi mantida em  $120\pm 20$  mm (ideal para lançamento e adensamento) e determinada conforme NBR 16889:2020. Vale ressaltar que os consumos de materiais (Tabela 2) dos concretos controle (elaborado com agregados não dopados) e dos respectivos concretos dopados foram mantidos.

Tabela 2 - Consumo de materiais (kg/m<sup>3</sup>)

Nomenclatura do Traço	Cimento	Areia	RCC	Água	Aditivo Superplastificante
CC35-CD35	472,13	738,89	913,57	179,41	4,72
CC50-CD50	337,43	856,48	913,11	180,50	3,37
CC65-CD65	284,80	932,71	918,47	168,03	2,85

Fonte: Próprio autor, 2022.

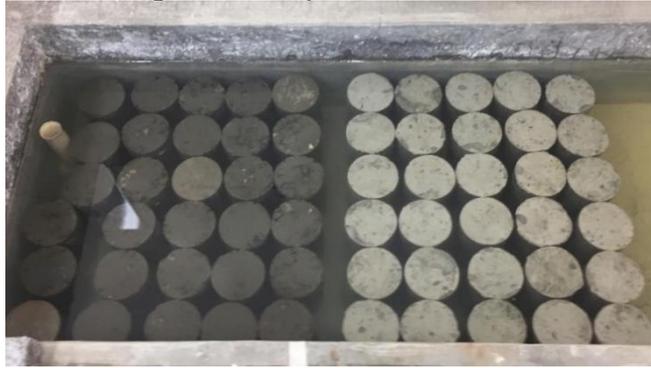
O procedimento de mistura dos concretos é descrito a seguir:

- Primeiro, o RCC e 10% da água foram misturados por 30 segundos;
- Adicionou-se então, o cimento, 40% de água, metade do aditivo. A mistura ocorreu por 3 minutos, parando aos poucos para remoção do acúmulo de material das laterais do misturador;
- Após isso, adicionaram-se a areia e o restante da água e do aditivo. A homogeneização da mistura terminou com mais 3 minutos no misturador;

Após a confecção do concreto realizou-se o ensaio de abatimento e em seguida a moldagem dos corpos de prova com procedimentos segundo a NBR 5738:2015. Foram confeccionados 30 CPs (20 cm de altura e 10 cm de diâmetro) para cada traço, que foram submetidos à ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral, absorção de água e módulo de elasticidade, aos 7 e 28 dias de idade. Os CPs foram mantidos sob cura por imersão (Figura 6) até a data de ensaio. Vale ressaltar que antes da realização dos ensaios foi realizada a retificação dos CPs a fim de obter paralelismo entre as faces.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais do IFSP – campus Votuporanga, que mantém equipamentos adequados, de acordo com o prescrito pelas respectivas normas.

Figura 6 – Cura por imersão dos CPs.



Fonte: Próprio autor, 2022.

## 8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE

Para análise da resistência à compressão axial e do módulo de elasticidade dos corpos de prova, foi utilizada uma prensa com capacidade de carga de 200 toneladas e controle de carga manual. Os procedimentos de ensaio foram realizados de acordo com a NBR 5739:2018, para verificação da compressão, e a NBR 8522-1:2021 para verificação do módulo de elasticidade dos CPs. A Figura 7 ilustra a realização dos ensaios.

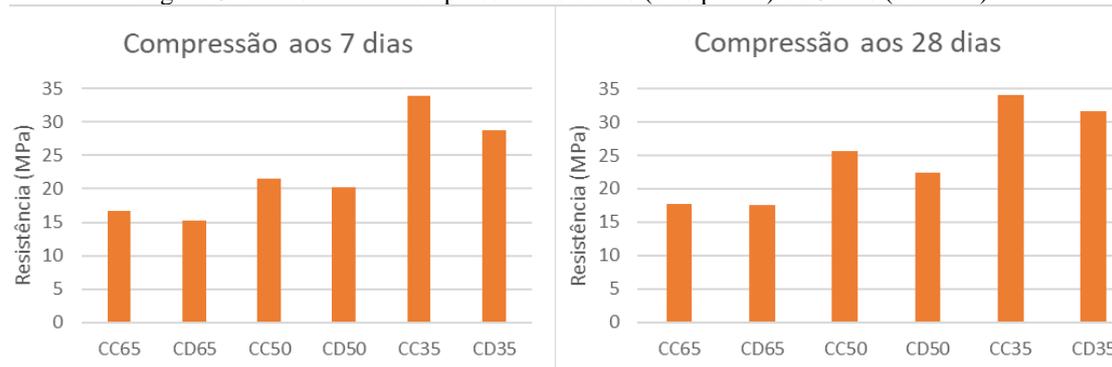
Foram realizados os ensaios nas idades de 7 e 28 dias, em 5 corpos de prova para cada traço, a fim de se obter a resistência à compressão. Para a determinação do módulo de elasticidade, tomou-se a carga de ruptura lida no primeiro corpo de prova ensaiado à compressão como referência para ensaio simultâneo dos próximos quatro CPs. Os resultados foram tomados como a média aritmética dos CPs ensaiados e estão apresentados nos gráficos da Figura 8 (valores de resistência à compressão para cada traço) e na Figura 9 (valores dos módulos de elasticidade de cada traço).

Figura 7 - Ensaio de compressão axial (à esquerda) e módulo de elasticidade (à direita).



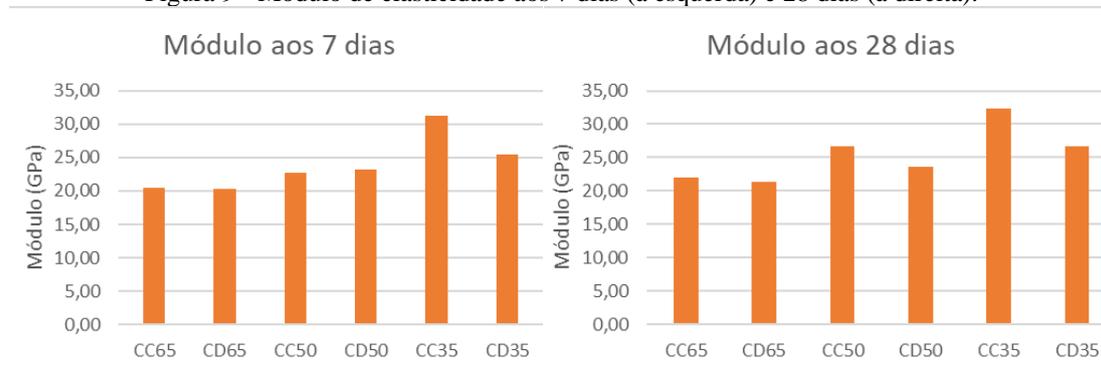
Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 8 - Resistência à compressão aos 7 dias (à esquerda) e 28 dias (à direita).



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 9 - Módulo de elasticidade aos 7 dias (à esquerda) e 28 dias (à direita).



Fonte: Próprio autor, 2022.

## 9 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os procedimentos de ensaio foram realizados de acordo com a NBR 7222:2011. Para análise da resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova, foi utilizada novamente a prensa com capacidade de carga de 200 toneladas e controle de carga manual.

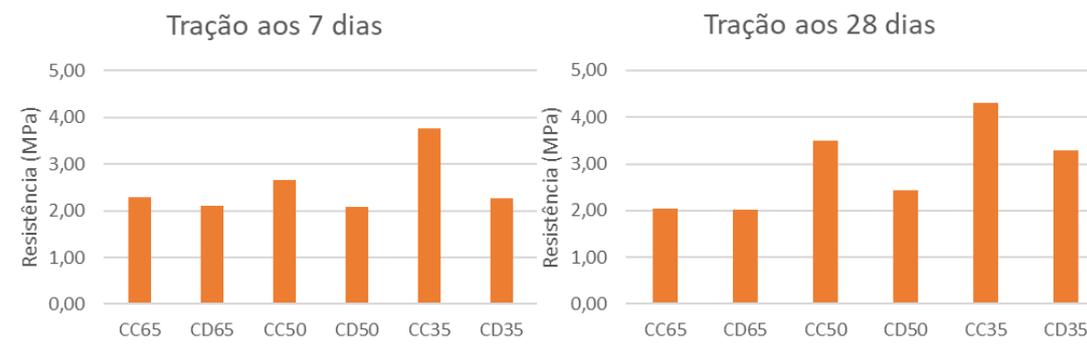
Foram realizados os ensaios nas idades de 7 e 28 dias, com cinco corpos de prova para cada traço (Figura 10), tomando-se como resistência final a média aritmética da resistência à tração obtida de cada CP, como mostra o gráfico da Figura 11.

Figura 10 - Corpo de prova utilizado no ensaio de tração por compressão diametral.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 5 - Resistência à tração aos 7 dias (à esquerda) e 28 dias (à direita).



Fonte: Próprio autor, 2022.

## 10 ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS TRAÇOS

Pode-se observar que, dentre os concretos produzidos, somente os traços pobres (CC65 e CD65) não obtiveram o valor mínimo de resistência à compressão de 20 MPa, exigido pela NBR 6118:2014 aos 28 dias de idade.

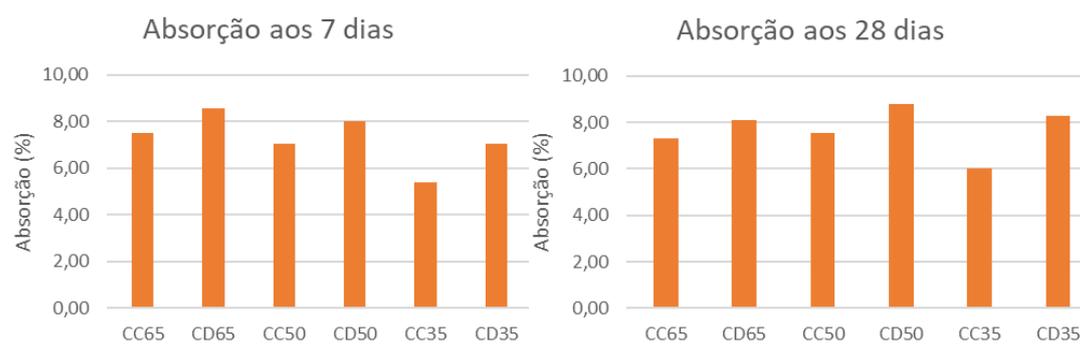
Quanto à influência da aplicação da técnica de dopagem no comportamento mecânico dos concretos, pode-se verificar que o procedimento de impregnação com calda de alto desempenho não proporcionou o esperado aumento de resistência nos concretos. A explicação pode estar no uso do cimento CPV ARI para a confecção dos concretos, que provavelmente proporcionou uma matriz reforçada, capaz de suprir as deficiências do agregado de RCC, dispensando, portanto, a aplicação da técnica. Trigo (2012) menciona que a influência da técnica de dopagem é mais singela para concretos de alto desempenho, até porque a matriz deste concreto já é em sua totalidade de alto desempenho.

Há de se destacar a resistência de quase 35 MPa alcançada pelo traço mais rico 1:3,5, uma vez que o concreto foi elaborado com 100% de substituição do agregado natural pelo reciclado, o que contribui para os estudos atuais e evidencia o sucesso na aplicação do resíduo em concretos sustentáveis.

## 11 ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO

Os procedimentos de ensaio seguiram a NBR 9778:2009 para as idades de 7 e 28 dias, utilizando como resultado final a média aritmética dos 5 corpos de provas (Figura 12).

Figura 6 - Absorção de água aos 7 dias (à esquerda) e 28 dias (à direita).



Fonte: Próprio autor, 2022.

Os resultados apresentados na Figura 12, mostram que os concretos dopados apresentaram valores de absorção ligeiramente superiores aos respectivos concretos controle, o que condiz com o comportamento mecânico encontrado. A explicação pode estar na elevada quantidade de água livre existente na matriz do concreto dopado, uma vez que a dopagem acabou impedindo que o agregado de RCC absorvesse parte da água da mistura, resultando em elevada relação água/cimento e consequente aumento na absorção do concreto.

## 12 CONCLUSÃO

Após análise dos ensaios realizados pode-se concluir que a técnica de dopagem aplicada ao agregado proveniente de resíduo de construção civil não se mostrou eficiente no comportamento dos concretos produzidos. Este fato pode ser justificado pela matriz reforçada do próprio concreto, elaborada com cimento de alta resistência, a qual foi capaz de suprir as deficiências do agregado de RCC, dispensando, portanto, a aplicação da técnica.

É de suma importância que mais estudos sejam realizados para avaliar a eficiência do tratamento de dopagem em agregados reciclados de construção, de modo a tornar um processo promissor frente à elevada demanda por materiais e métodos de construção alternativos. Além disso, sugere-se o estudo da técnica de otimização da superfície em outros tipos de agregados deficientes, possibilitando assim a confecção de concretos estruturais mais sustentáveis.

Vale destacar ainda os bons resultados do traço rico controle (CC35), o qual apresentou, aos 28 dias, uma resistência mecânica de 35 MPa à compressão e de 4,3 MPa à tração na compressão e absorção de água de 6%, valores consideráveis se tratando de um concreto com agregado graúdo reciclado. Para pesquisas futuras, estudar a viabilidade do traço em questão é importante pela possibilidade de reduzir em 100% o uso de agregado graúdo natural em concretos estruturais. Além disso, sugere-se que sejam propostas novas avaliações sobre a técnica de dopagem deste agregado reciclado para o traço em questão.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem à empresa Mejan Ambiental que forneceu o agregado reciclado.

## REFERÊNCIAS

Associação brasileira de normas técnicas. Nbr nm 52: agregado miúdo – determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de janeiro, 2009.

Nbr nm 53: agregado graúdo – determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de janeiro, 2009.

Nbr 5738: concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de janeiro, 2015.

Nbr 5739: concreto – ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de janeiro, 2018.

Nbr 6118: projeto de estruturas de concreto - procedimento. Rio de janeiro, 2014.

Nbr 7211: agregados para concreto – especificações. Rio de janeiro, 2019.

Nbr 7222: concreto e argamassa – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de janeiro, 2011.

Nbr 8522-1: concreto endurecido – determinação dos módulos de elasticidade e de deformação parte 1: módulos estáticos à compressão. Rio de janeiro, 2021.

Nbr 9778: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de janeiro, 2009.

Nbr 16607: concreto – determinação dos tempos de pega. Rio de janeiro, 2018.

Nbr 16889: concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de janeiro, 2020.

Nbr 16972: agregados - determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de janeiro, 2021.

Nbr 17054: agregados – determinação da composição granulométrica – método de ensaio. Rio de janeiro, 2022.

Anoni, I. G.; trigo, A. P.; pietrobon, I. Produção de concretos estruturais utilizando resíduos de construção e demolição. Anais do 62º congresso brasileiro do concreto - cbc2020 – 62cbc2020, Florianópolis-SC, set. 2020.

Castro, A. L. (2007). Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho. 2007. 302 f. Tese (doutorado em ciência e engenharia de materiais) – interunidades (instituto de física de São Carlos/ instituto de química de São Carlos/escola de engenharia de São Carlos), universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

Gallego, G. Dos S. Estudo de dosagens de concretos estruturais com resíduos de construção e demolição. 2019. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado em engenharia civil) - curso de engenharia civil do instituto federal de educação, ciência e tecnologia, campus votuporanga, votuporanga, 2019.

Kantro, D. L. (1980) influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste – a miniature slump test. Cement, concrete and aggregates, 2 (2), winter. P. 95-108, 1980.

Perdeneiras, c. M. Avaliação de blocos intertravados com agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição de obras do município de natal/rn. 2017. Dissertação (mestrado) – universidade federal do rio grande do norte. Natal, 2017.

Pietrobon, i. M. Influência do uso de resíduos de construção e demolição em concretos estruturais. 2018. Trabalho de conclusão de curso – instituto federal de educação, ciência e tecnologia de são paulo. Votuporanga, 2018.

Trigo, a. P. M. Estudo da dopagem de agregados para finalidade de uso em concretos estruturais. Tese (doutorado). 2012. 313f. Departamento de engenharia de estruturas. Escola de engenharia de são carlos. Universidade de são paulo. São carlos, 2012.