

## 15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

### A técnica de dopagem em agregados de resíduo de construção civil para a produção de concretos estruturais

Hillary C. P. Silva<sup>1</sup>, Ana P.M.T. Gregui<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Civil, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Votuporanga, hillary.pereira@aluno.ifsp.edu.br.

<sup>2</sup> Doutora em Engenharia Civil, Professora, IFSP, Campus Votuporanga, apmtrigo@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.01.01.01-8 Materiais e componentes de construção

**RESUMO:** O elevado consumo de recursos naturais pela construção civil gera grande volume de resíduos. Uma alternativa é empregar os resíduos de construção civil (RCC) em concretos. Estudos mostram resultados favoráveis a esta aplicação, porém, atentando-se a limitações do material, como heterogeneidade na composição, menor resistência mecânica e maior absorção de água. Para corrigir essas deficiências pode-se aplicar a técnica de dopagem, que consiste em impregnar o agregado com calda de alto desempenho de forma a alterar sua estrutura. Assim, este trabalho aborda o emprego da técnica de dopagem em agregados de RCC com a finalidade de produzir concretos estruturais. Para isso, será feita a caracterização do agregado reciclado e realizado o estudo e a definição do traço da calda de alto desempenho, variando proporção de aditivo superplastificante e sílica ativa. Espera-se, com este trabalho, contribuir para o desenvolvimento sustentável do país, permitindo o uso efetivo de material hoje sem valor comercial como agregado alternativo na elaboração de concretos estruturais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos; técnica de dopagem; concreto estrutural; meio ambiente.

### The doping technique in construction waste aggregates for the production of structural concrete

**ABSTRACT:** The high consumption of natural resources in construction brings about a large waste volume. Alternatively, as a solution, civil construction waste (CCW) can be used in the concrete. Studies show favorable results for this application, albeit paying attention to the restrictions of the material, such as heterogeneity in composition, lower mechanical resistance and greater water absorption. To rectify such deficiencies the doping technique can be utilized, which consists of impregnating the aggregate with high-performance grout in order to adjust its structure. Hence, this study addresses the use of the doping technique in CCW aggregates with the purpose of producing structural concretes. For this purpose, the recycled aggregate will be characterized and the high-performance grout mix will be studied and defined, varying the proportion of superplasticizer additive and silica fume. This study is expected to contribute to the sustainable development of the country, allowing the effective use of material that currently has no commercial value as an alternative aggregate in structural concrete.

**KEYWORDS:** Wastes; doping technique; structural concrete; environment.

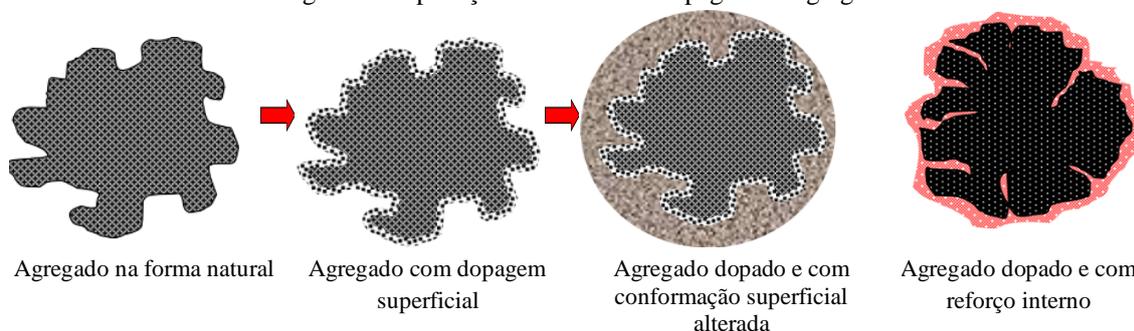
### INTRODUÇÃO

Sabe-se que a indústria da construção gera um grande volume de resíduos e que apenas 21% de todo o entulho gerado diariamente pela construção civil são reciclados, segundo a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (Abrecon, 2018). Assim, conciliar atividades produtivas com condições que levem a um desenvolvimento sustentável consciente e menos agressivo ao meio ambiente é desafio constante (FERREIRA, 2022).

Aliar o uso dos resíduos de construção civil (RCC) à produção do concreto estrutural é foco de diversos estudos científicos. Porém, apesar da existência dessas pesquisas ainda há muito a ser discutido, principalmente quanto à queda de resistência, que chega a ser de 60% quando 25% de RCC é usado; fato atribuído à excessiva porosidade da mistura elaborada com agregado reciclado (RABELLO, 2015).

No cenário de reutilização do RCC e na necessidade de suprir suas deficiências surge a técnica de dopagem de agregados (Figura 1). A técnica consiste em impregnar o agregado deficitário com materiais que venham reagir com outros aglomerantes, modificando a textura do material, ou estabelecendo uma ponte de ligação entre ele e os outros aglomerantes utilizados, ou reforçando o próprio agregado com sua dopagem interna pelo preenchimento dos poros existentes (TRIGO, 2012).

Figura 1 – Aplicação da técnica de dopagem de agregado.



Fonte: Trigo (2012).

Diante do exposto, observa-se a importância do estudo da dopagem em agregados alternativos, a exemplo do RCC, que, apesar de ter alto potencial de uso devido à disponibilidade, apresenta características deficitárias, como alta porosidade; fator que muitas vezes restringe seu uso em concretos estruturais. Desta forma, este trabalho busca estudar uma calda de alto desempenho capaz de reforçar e melhorar a matriz de agregados alternativos, tornando-os aptos a serem usados em concretos estruturais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O agregado reciclado de RCC utilizado no presente trabalho foi fornecido pela empresa Mejan Ambiental de Votuporanga/SP. Para a calda de alto desempenho foram usados o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI) e a sílica ativa como aglomerantes, sendo esta no teor de 10%, conforme sugere Trigo (2012). A fim de obter baixas relações de água para a calda foi utilizado aditivo superplastificante, sendo estudados os teores de 0,4% a 1,6% da massa de cimento, de modo a obter consistência adequada para a impregnação dos agregados.

Inicialmente, fez-se a caracterização dos materiais cimento, sílica ativa, aditivo superplastificante e agregado graúdo de RCC. A granulometria do RCC foi feita por peneiramento, conforme indica a NBR 17054:2022. Para determinação das massas específica e unitária, bem como absorção de água, foram seguidas as NBR 16917:2021 e NBR 16972:2021.

O estudo da calda partiu do ensaio de mini abatimento do tronco de cone (Kantro), de acordo com Monte (2003), o qual avalia o teor de aditivo e a área de espalhamento da calda, possibilitando criar uma curva e determinar a porcentagem ótima de aditivo superplastificante. A homogeneização da mistura e a ordem de colocação dos materiais seguiram o estudo de Trigo (2012).

Uma vez determinada a calda de alto desempenho em consistência adequada à impregnação dos agregados, foram determinados os tempos de pega da mistura mediante NBR 16607/2018. Na sequência, selecionaram-se alguns grãos de agregado de RCC para proceder a impregnação/reforço dos mesmos. Após aplicada a técnica de dopagem, foram realizadas imagens dos agregados nas condições natural (sem dopagem) e dopado (com calda de alto desempenho), para verificar a eficiência da impregnação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

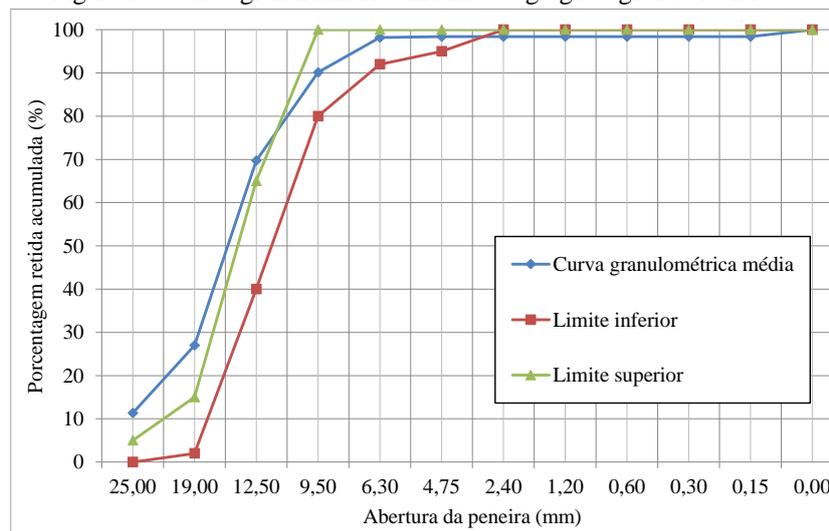
O ensaio de granulometria do agregado graúdo reciclado foi realizado em três amostras distintas a fim de se obter uma média entre os resultados e a aceitabilidade do ensaio. A Figura 2 mostra uma amostra do RCC usado no trabalho e a curva granulométrica mostrada na Figura 3 refere-se à média dos resultados, sendo de 25mm o diâmetro máximo do RCC e módulo de finura igual a 7,07.

Figura 2 – Agregado graúdo de RCC estudado no trabalho.



Fonte: Autores (2024)

Figura 3 – Curva granulométrica média do agregado graúdo reciclado.



Fonte: Autores (2024)

O resultado de massa específica absoluta média do agregado graúdo de RCC foi de  $2,44 \text{ g/cm}^3$ , aproximadamente 13% menor que a massa específica de uma pedra natural, que está em torno de  $2,80 \text{ g/cm}^3$ . Essa diferença se dá principalmente pela presença de argamassa aderida ao agregado, o que aumenta a porosidade do agregado. Os resultados de massa específica absoluta dos aglomerantes foram fornecidos pelos respectivos fabricantes. O cimento usado foi o CPV ARI, da marca CSN Cimentos, sendo a massa específica absoluta igual a  $3,02 \text{ g/cm}^3$ . Em relação a sílica ativa, usou-se uma da marca Methatec, com massa específica absoluta de  $2,20 \text{ g/cm}^3$ . Optou-se por usar um aditivo superplastificante de 3ª geração à base de policarboxilato, da marca BASF, cuja densidade é de  $1,07 \text{ g/cm}^3$ .

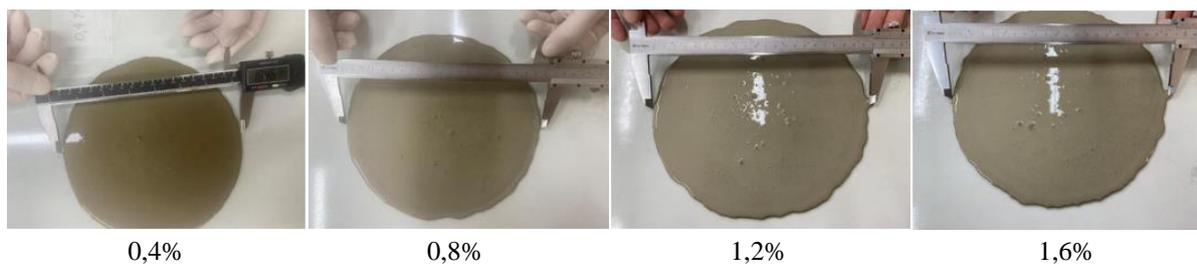
Com relação as massas unitárias solta e compactada, os valores encontrados para o agregado graúdo reciclado foram, respectivamente, iguais a  $0,98 \text{ g/cm}^3$  e  $1,00 \text{ g/cm}^3$ ; também inferiores aos respectivos valores em agregado natural.

Antes de realizar o ensaio de absorção de água, procedeu-se a determinação da composição do agregado reciclado graúdo por análise visual, de acordo com o Anexo A da ABNT NBR 15116:2021, classificando-o como ARCO (agregado reciclado de concreto). Após ensaio de absorção, preconizado pela NBR 16917:2021, chegou-se ao valor médio de 18,5%. Observa-se que o resultado não atende ao limite de 7% estabelecido por norma; fator que pode ser beneficiado após a dopagem. O aumento da absorção pode ser atribuído à maior porosidade do material quando comparada à do agregado natural.

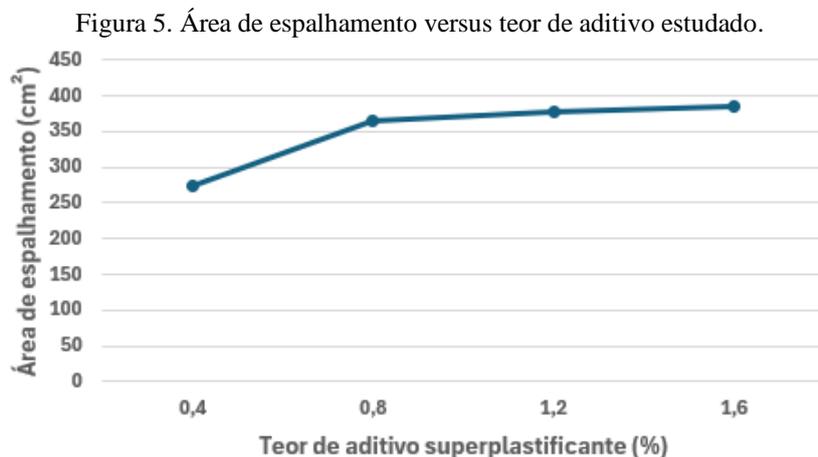
O estudo de dosagem da calda de alto desempenho para dopagem dos agregados graúdos iniciou com o ensaio de Kantro. Os consumos dos materiais foram definidos de acordo com estudo de Trigo (2012), em que se considerou o teor de sílica ativa de 10% e a relação água/aglomerante ( $a/agl$ ) em 0,35. Desta forma, o traço da calda de alto desempenho resultou em 0,9:0,073:0,35, faltando somente definir o teor de aditivo, que, neste caso, foi avaliado em 0,4%, 0,8%, 1,2% e 1,6% da massa de cimento.

A Figura 4 mostra os diferentes diâmetros obtidos de acordo com o teor de aditivo avaliado. Com os valores de diâmetros médios, determinaram-se as áreas de espalhamento aproximadas de cada pasta, conforme a porcentagem de aditivo na mistura (Figura 4).

Figura 4. Diâmetros de espalhamento nos diferentes teores de aditivo avaliados.



Fonte: Autores (2024)



Fonte: Autores (2024)

Ao analisar os resultados, percebe-se que houve um aumento significativo na área de espalhamento ao aumentar o teor de aditivo de 0,4% para 0,8%. Em contrapartida, teores maiores que 0,8% praticamente não contribuíram para ganho no espalhamento, indicando um teor ótimo de 0,8%.

Buscando não somente o máximo espalhamento, mas também a menor perda de espalhamento com o tempo e a menor interferência na pega, realizou-se o ensaio de determinação dos tempos de início e fim de pega. Esse ensaio é valioso, pois teores inadequados podem causar retardamento da pega, dificultando a impregnação do material com a calda. Os resultados estão na Tabela 1.

Tabela 1: Tempos de pega da calda de alto desempenho para diferentes teores de aditivo superplastificante.



Tempo de pega (minutos)	Teor de aditivo (%)			
	0,4	0,8	1,2	1,6
<b>Início</b>	197	366	394	432
<b>Fim</b>	375	434	536	544

Fonte: Autores (2024)

Assim, a partir dos ensaios de miniabatimento do tronco de cone e tempo de pega, conclui-se que o aditivo em um teor de 0,8% relativo à massa de aglomerante foi o mais adequado tanto para dispersar as partículas, sem ocasionar exsudação da mistura, quanto para não provocar retardamento excessivo da pega do cimento. Além disso, este teor não compromete a viabilidade quanto ao tempo de produção do concreto dopado, já que a mistura do concreto (agregado previamente dopado e demais materiais constituintes) ocorrerá aos 366 minutos (6 horas e 6 minutos).

A fim de avaliar as condições e eficiência da calda de dopagem, foram selecionados alguns grãos de agregado de RCC e feita a impregnação/reforço dos mesmos com a calda de alto desempenho. A

Figura 6 mostra as imagens dos agregados nas condições natural (sem dopagem) e dopado (com calda de alto desempenho). Pode-se observar que a alteração mais significativa está na conformação superficial do grão, que tende para uma forma mais esférica, e na diminuição dos poros superficiais. O formato esférico e menor quantidade de vazios superficiais podem representar aumento na fluidez de concretos elaborados com agregados dopados.

Figura 6. Grãos de RCC antes (linha superior) e após impregnação com calda (linha inferior).



Fonte: Autores (2024)

## CONCLUSÕES

Atualmente o setor mineral discute o problema da disponibilidade dos recursos naturais, principalmente daqueles localizados dentro ou no entorno dos aglomerados urbanos. O declínio da possibilidade de exploração destes bens minerais gera preocupação quanto às perspectivas de garantia de suprimento futuro. Conjuntamente, há a significativa geração de resíduos produzidos pela indústria da construção civil, que, em sua maioria, acaba não sendo reciclada. Assim, desenvolver uma técnica capaz de melhorar o desempenho de agregados deficientes e/ou aqueles outrora tidos como inadequados para a produção de concretos, é necessário e urgente. Após os resultados, pode-se concluir que o procedimento de dopagem com calda de alto desempenho desenvolvido neste trabalho mostrou-se eficiente quanto à diminuição da porosidade do agregado de RCC, permitindo o uso de material hoje sem valor comercial como agregado alternativo na elaboração de concretos estruturais.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

H.C.P.S e A.P.M.T.G. contribuíram com a curadoria e análise dos dados. H.C.P.S. procedeu com a metodologia e experimentos. H.C.P.S e A.P.M.T.G atuaram na redação do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Mejan Ambiental pelo fornecimento do material utilizado no decorrer de todo o processo de pesquisa bem como aos técnicos de laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP - Campus Votuporanga pelo apoio fornecido durante essa trajetória.

## REFERÊNCIAS

ABRECON - **Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição**. Seminário Nacional da Reciclagem de RCD. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**- Agregados reciclados para usos em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607**- Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917**. Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**- Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**- Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

FERREIRA, E. T. **ESTUDO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA CONCRETO ESTRUTURAL APLICADO EM LAJES PRÉ-MOLDADAS**, 2022. Cap.1 p. 15-27

MONTE, R. **AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DE ENSAIO DESTINADAS À VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES EM PASTAS DE CIMENTO PORTLAND**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

RABELLO, A.C.L. **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CONCRETO ESTRUTURAL**, REINPEC Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico. Itaperuna-RJ, 2015.

TRIGO, A. P. M. **ESTUDO DA DOPAGEM DE AGREGADOS PARA FINALIDADE DE USO EM CONCRETOS ESTRUTURAIS**. Universidade De São Paulo Escola De Engenharia De São Carlos Departamento De Engenharia De Estruturas Laboratório De Materiais Avançados À Base De Cimento USP – EESC – SET – LMABC. São Carlos, 2012.