

DESEMPENHO MECÂNICO E DURABILIDADE DE CONCRETOS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AGREGADOS NATURAIS POR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

RAFAELA NÖRNBERG¹; THAMIRES SILVEIRA²; GUILHERME TRINDADE³;
RAFAEL DELUCIS⁴.

¹*Universidade Federal de Pelotas – rafa.pn2003@hotmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas - thaamiresasilveira@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – guilherme.hoehr@ufpel.edu.br*

⁴*Universidade Federal de Pelotas – rafael.delucis@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregados reciclados (AR) para concreto surge como alternativa sustentável, reduzindo a extração de recursos naturais e o volume destinado a aterros (AKBARIMEHR et al., 2024). No entanto, os AR apresentam características distintas, como maior porosidade (4,7-5,0% de absorção versus 1,6% em agregados naturais) e menor densidade (2.300-2.450 kg/m³ contra 2.580 kg/m³) em relação a agregados convencionais, o que impacta as propriedades do concreto. Estudos demonstram que substituições de até 30-40% de AR mantêm reduções aceitáveis de resistência (10-15%), enquanto teores superiores a 50% podem comprometer a durabilidade, com aumento na penetração de cloretos e carbonatação (XIAO et al., 2018; AKBARIMEHR et al., 2024). Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho mecânico e a durabilidade de concretos com substituição parcial de agregados naturais por AR derivados de RCD, considerando diferentes teores de substituição (0-100%) e analisando parâmetros como resistência à compressão e a permeabilidade ao ataque de cloretos.

2. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido utilizando concreto convencional e concreto com agregados reciclados (AR) provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD). Como material ligante, foi empregado cimento Portland CP V-ARI, conforme especificado na NBR 16697 (ABNT, 2018), com resistência característica mínima de 53 MPa aos 28 dias. Os agregados naturais incluíram areia de rio com módulo de finura de 2,4 e brita graduada em dois tamanhos (0 e 1), com massas específicas entre 2,64-2,75 g/cm³ e absorção de água variando de 1,25% a 1,70%. Os agregados reciclados, obtidos através de processamento de RCD (britagem e peneiramento), apresentaram massa específica média de 2,16 g/cm³ e absorção de água significativamente maior (aproximadamente 9,0%), sendo submetidos a pré-saturação conforme recomendação da NBR 15116 (ABNT, 2021). A água utilizada, proveniente da rede de abastecimento de Pelotas/RS, atendeu integralmente aos requisitos da NBR 15900-1 (ABNT, 2009) para uso em concreto estrutural, de acordo com dados disponibilizados pelo SANEP/Pelotas.

A pesquisa avaliou concretos com diferentes teores de substituição de agregados naturais por reciclados (RCD), utilizando o método de dosagem de HELENE; TERZIAN (1993). Todas as misturas mantiveram teor fixo de cimento (420 kg/m³) e relação água/cimento de 0,45, visando a classe estrutural C25/30 com abatimento entre 80-120 mm (ABNT NBR 8953, 2015). Foram testados sete

níveis de substituição (0%, 20%, 25%, 45%, 50%, 65% e 100%), conforme detalhado na tabela de dosagem.

Tabela 1 - Dosagem dos concretos estudados

Teor de RCD	Cimento (kg/m ³)	Areia (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	RCD (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	a/c
0% RCD	420	740	1050	0	189	0.45
20% RCD	420	740	840	210	189	0.45
25% RCD	420	740	788	262	189	0.45
45% RCD	420	740	578	472	189	0.45
50% RCD	420	740	525	525	189	0.45
65% RCD	420	740	368	682	189	0.45
100% RCD	420	740	0	1050	189	0.45

Fonte: Autores.

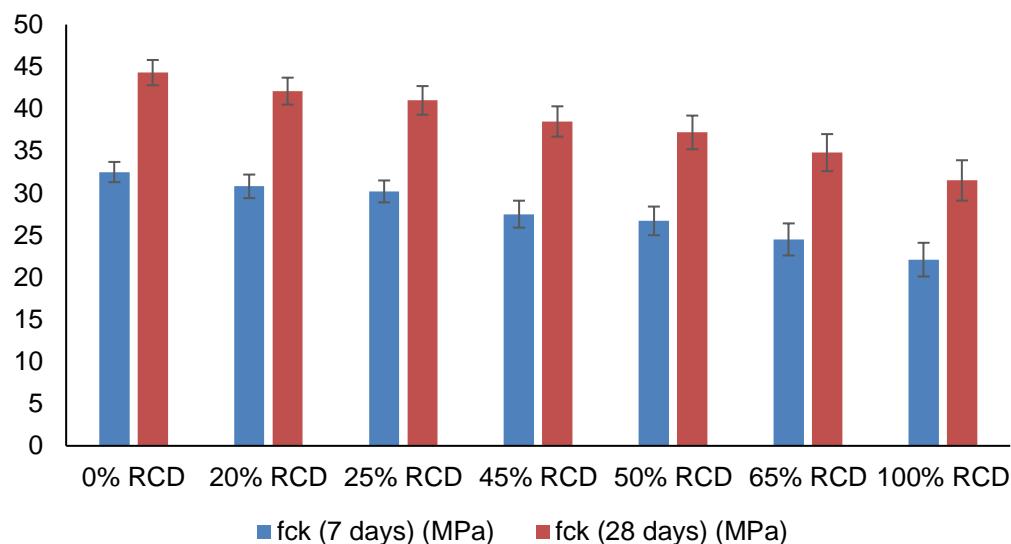
O processo de mistura em betoneira vertical seguiu três etapas: (1) homogeneização dos agregados secos por 30 s; (2) adição de cimento e 70% da água por 60 s; e (3) incorporação dos 30% restantes de água por mais 60 s. Corpos de prova cilíndricos (100x200 mm) foram moldados com vibração mecânica, desmoldados após 24 h e curados em câmara úmida ($23\pm2^\circ\text{C}$) até os ensaios. A resistência à compressão foi avaliada aos 7 e 28 dias, seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018), com aplicação de carga a $0,45\pm0,15$ MPa/s em prensa hidráulica de 2000 kN. A resistência à penetração de cloreto foi avaliada através de imersão em solução de NaCl 3,5% por 90 dias (método adaptado da ASTM C1202, 2019), seguida da aplicação de nitrato de prata 0,1M para medição da profundidade de penetração. Todos os procedimentos foram realizados em ambiente controlado ($23\pm2^\circ\text{C}$), garantindo a comparabilidade dos resultados entre as diferentes formulações estudadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização inicial dos materiais revelou diferenças significativas entre agregados naturais e reciclados. A resistência à compressão apresentada no gráfico 2, apresentou redução progressiva tanto aos 7 quanto aos 28 dias à medida que a porcentagem de RCD na mistura aumentava, passando de 44,3 MPa (0% RCD) para 31,5 MPa (100% RCD) aos 28 dias, representando uma queda de aproximadamente 29%. Entretanto, todas as misturas com até 50% de substituição atenderam aos requisitos para concreto estrutural (classe C25/30), com a formulação de 50% RCD alcançando 37,2 MPa. Substituições de até 20% resultaram em impacto mínimo nas propriedades mecânicas (apenas 5,2% de redução na resistência), mantendo excelente desempenho. Notou-se também que os desvios-padrão aumentaram progressivamente com maiores teores de RCD (de $\pm1,5$ MPa para $\pm2,4$ MPa), indicando maior variabilidade nas propriedades mecânicas à medida que a proporção de agregado reciclado aumenta. Este

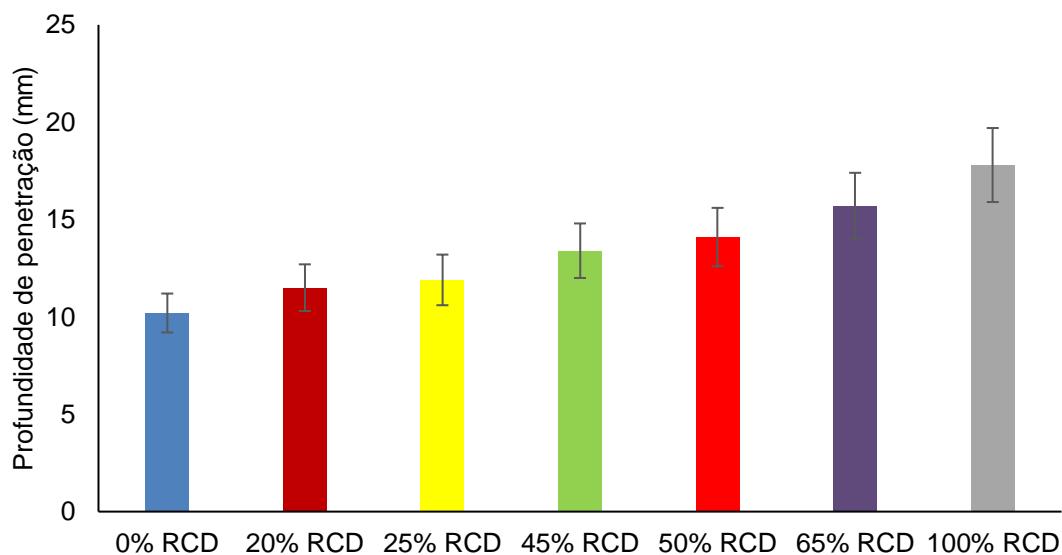
comportamento pode ser atribuído à maior heterogeneidade e capacidade de absorção de água dos agregados reciclados em comparação com os naturais (THÉRÉNÉ et al., 2020).

Figura 1 - Resistência à compressão dos concretos.



Quanto à durabilidade, na Figura 2, verificou-se um aumento consistente da profundidade de penetração com o teor de RCD, variando de 10,2 mm (0% RCD) para 17,8 mm (100% RCD). As misturas com até 50% de RCD mantiveram-se dentro do limite de 15 mm estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2024) para ambientes de moderada agressividade. O desempenho reduzido em teores mais elevados está relacionado à maior porosidade e conectividade dos poros nos agregados reciclados, que facilitam a difusão de íons cloreto (LIU et al., 2020).

Figura 2 - Resistência à penetração de cloretos.



4. CONCLUSÕES

O estudo comprovou a viabilidade técnica da incorporação de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) em concretos estruturais, com substituições de até 50% mantendo propriedades satisfatórias: abatimento ≥ 94 mm, resistência à compressão $\geq 37,2$ MPa aos 28 dias (classe C25/30) e penetração de cloretos inferior a 15 mm - atendendo aos requisitos da NBR 6118 (ABNT, 2024) para ambientes de moderada agressividade. Para teores superiores a 65%, observou-se redução progressiva no desempenho mecânico e aumento da porosidade, indicando a necessidade de estratégias compensatórias como pré-saturação dos agregados, uso de superplastificantes ou materiais cimentícios suplementares. A substituição parcial de até 50% mostrou-se uma solução equilibrada, combinando benefícios ambientais com desempenho estrutural adequado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKBARIMEHR, D.; ESLAMI, A.; NASIRI, A.; RAHAI, M.; KARAKOUZIAN, M. Performance Study of Sustainable Concrete Containing Recycled Aggregates from Non-Selected Construction and Demolition Waste. **Sustainability**, v.16, n.7, 2024.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1202-19: Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration**. West Conshohocken, 2019.
- HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto**. Brasília: Editora Pini, 1993. ISBN 8572660070.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 2015.
- HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto**. Brasília: Editora Pini, 1993. ISBN 8572660070.
- LIU, H.; LIU, C.; BAI, G.; ZHU, C. Study on the effect of chloride ion ingress on the pore structure of the attached mortar of recycled concrete coarse aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 263, 2020.
- THÉRÉNÉ, F.; KEITA, E.; NAËL-REDOLFI, J.; BOUSTINGORRY, P.; BONAFOUS, L.; ROUSSEL, N. Water Absorption of recycled aggregates: measurements, influence of temperature and practical consequences. **Cement and Concrete Research**, v. 137, 2020.
- XIAO, J.; MA, Z.; SUI, T.; AKBARNEZHAD, A.; DUAN, Z. Mechanical Properties of Concrete Mixed with Recycled Powder Produced from Construction and Demolition Waste. **Journal of Cleaner Production**, v.188, p.720-731, 2018.