



INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGREGADO NO CONCRETO

INFLUENCE OF THE ADDITION OF CIVIL CONSTRUCTION WASTE AS AGGREGATE ON CONCRETE

TESSARO, A.; MATHIES, E. L. A.; TRINDADE, G. H. INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGREGADO NO CONCRETO. **Revista Ciência e Sustentabilidade**, Juazeiro do Norte, V.8, N°1, p.46-69, jan./jun. 2024.

Alessandra Tessaro¹

Universidade Federal do Rio Grande

Eduardo Lucas Acosta Mathies²

Universidade Federal de Pelotas - UFPel

Guilherme Hoehr Trindade³

Universidade Federal de Pelotas - UFPel

Submissão: 28/02/2024

Aceite: 22/07/2024

¹ Possui graduação em Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal Sul-rio-grandense (2010), graduação em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pelotas (2014), mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas (2013) e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas (2017). Especialista em Auditoria. Perícia e Gestão Ambiental, em BIM e Engenharia de Segurança do Trabalho. Atualmente é professora adjunto, classe C, nível 1 da Universidade Federal do Rio Grande, atuando principalmente nos seguintes temas: resíduo de construção civil e demolição, concreto, argamassa. Formou e cadastrou junto ao CNPq o Grupo de Estudos e Pesquisa em Materiais e Tecnologia da Construção - GEMTEC.

E-mail: alessandrabuss@gmail.com

² Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pelotas (2012). Atualmente é assessor especial de área - engenheiro civil da Prefeitura Municipal de Pelotas. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Civil. Mestrado em andamento em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas. Orientador: Isabel T. Salamoni.

E-mail: eamathies@gmail.com

³ Possui Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (2008), Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria (2011) e Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2015). Atualmente é Professor do Magistério Superior, Adjunto C, do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pelotas. Liderança compartilhada do grupo "Inovação em Estruturas e Materiais para um Ambiente Construído Sustentável" (IEMACS) acesso em: dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/4509809830624530. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Materiais de Construção Civil, atuando principalmente nos seguintes temas: Dosagem de Concreto, Concreto de Alto Desempenho (CAD), Materiais Suplementares ao Cimento Portland, Resíduo de Construção e Demolição (RCD) como Agregado para Concretos e Argamassas e Patologia provocada pela Reação Álcali-Sílica (RAS).

E-mail: guilherme.hoehr@ufpel.edu.br

RESUMO

A inadequada gestão dos resíduos de construção civil e demolição (RCD) representa um desafio significativo para as cidades, resultando em depósitos irregulares que são prejudiciais à saúde e ao ambiente urbano. Este estudo investigou a reciclagem de RCD, com foco nos concretos reciclados, como uma solução para mitigar esses problemas, visando reduzir a disposição inadequada e melhorar a qualidade de vida urbana. A metodologia incluiu testes de resistência à compressão e absorção de água em diferentes traços de concreto reciclado, comparando-os com concretos de referência. A variação nas relações água/cimento (a/c) foi explorada para entender seu impacto nas propriedades mecânicas e de absorção. Os resultados revelaram que os concretos reciclados geralmente apresentaram resistência à compressão próxima à dos concretos de referência, destacando a viabilidade para aplicações estruturais. Contudo, a porosidade dos agregados de RCD graúdos influenciou negativamente a resistência em alguns casos. A relação a/c de 0,35 demonstrou desempenho comparável ou superior ao concreto de referência. Quanto à absorção de água, observou-se um aumento com o aumento da relação a/c, sendo que os concretos reciclados exibiram maior absorção. No entanto, todos os valores permaneceram abaixo de 6% aos 28 dias, indicando aceitabilidade para uso estrutural com base em análises estatísticas. Em conclusão, a reciclagem de RCD emerge como uma solução promissora para a gestão sustentável de resíduos. Apesar dos desafios relacionados à porosidade, os concretos reciclados mostraram-se viáveis, especialmente com uma relação a/c de 0,35. A absorção de água, embora aumentada, permaneceu dentro de limites aceitáveis. Assim, a reciclagem de RCD não apenas contribui para uma gestão ambientalmente consciente, mas também oferece potencial para melhorar a qualidade de vida nas áreas urbanas.

Palavras-chave: resíduo de construção e demolição; reciclagem; dosagem de concreto.

ABSTRACT

The inadequate management of construction and demolition waste (CDW) poses a significant challenge for cities, leading to irregular deposits that are detrimental to both public health and the urban environment. This study investigated CDW recycling, focusing on recycled concrete, as a solution to mitigate these issues, aiming to reduce improper disposal and enhance urban quality of life. The methodology involved testing the compressive strength and water absorption of different mixes of recycled concrete, comparing them with reference concretes. Variations in the water-to-cement (w/c) ratios were explored to understand their impact on mechanical properties and absorption. The results revealed that recycled concretes generally exhibited compressive strength close to that of reference concretes, highlighting their viability for structural applications. However, the porosity of coarse CDW aggregates negatively influenced strength in some cases. The w/c ratio of 0.35 showed comparable or superior performance to reference concrete. Regarding water absorption, an increase was observed with rising w/c ratios, with recycled concretes showing higher absorption. Nevertheless, all values remained

below 6% at 28 days, indicating suitability for structural use based on statistical analyses. In conclusion, CDW recycling emerges as a promising solution for sustainable waste management. Despite challenges related to porosity, recycled concretes proved viable, especially with a w/c ratio of 0.35. Water absorption, though increased, remained within acceptable limits. Thus, CDW recycling not only contributes to environmentally conscious waste management but also holds potential to improve quality of life in urban areas.

Keywords: construction and demolition waste; recycling; concrete dosing.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos segmentos mais significativos da economia brasileira, abrangendo a confecção de obras como casas, edifícios, estradas, obras de saneamento, instalações prediais, portos e aeroportos. No entanto, a construção civil não se restringe apenas à execução dessas obras. Ela também engloba atividades relacionadas ao planejamento, projetos, manutenção, restauração e outras ações associadas à produção de obras (OLIVEIRA, 2020).

Com o aumento populacional em áreas urbanas e o dinamismo tecnológico atual, a qualidade de vida dos seres vivos tem sido comprometida devido à crescente deposição de poluentes no meio ambiente. Isso gerou a necessidade de buscar a sustentabilidade por meio de alternativas para a utilização dos recursos existentes, orientadas por uma racionalidade ambiental, com o objetivo de preservar os recursos naturais (SILVA, 2014).

À medida que a construção civil intensifica suas atividades, há um grande aumento de resíduos provenientes da construção, compostos basicamente de restos de materiais cerâmicos, argamassa e seus componentes. Esses resíduos podem ser subdivididos em três grupos: Resíduos da Construção e Demolição (RCD), Resíduos da Construção Civil (RCC) e Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC). Independentemente da nomenclatura utilizada, a definição geral dos resíduos oriundos da construção civil é a mesma, conforme a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão desses resíduos (OLIVEIRA, 2020).

A disposição inadequada dos resíduos sólidos causa impactos significativos, como a degradação do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes, poluição do ar e proliferação de vetores de importância sanitária nos centros urbanos, além de catação em condições insalubres nas ruas e áreas de disposição final. Torna-se cada vez mais evidente a necessidade de adotar padrões de produção e consumo sustentáveis, pois o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos pode reduzir significativamente os impactos ao ambiente e à saúde. Em países desenvolvidos, que geram grandes quantidades de resíduos, há maior capacidade de gestão devido a fatores como recursos econômicos, preocupação ambiental da população e desenvolvimento tecnológico. Já em países em desenvolvimento, com urbanização acelerada, observa-se uma deficiência na capacidade financeira e administrativa para prover infraestrutura e serviços essenciais, como água, saneamento, coleta e destinação

adequada do lixo, moradia, e assegurar a segurança e o controle da qualidade ambiental para a população (JACOBI; BESEN, 2011).

A indústria da construção civil é o setor com maior responsabilidade pelos impactos ambientais gerados na sociedade. Embora seja uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico, ela também gera impactos significativos ao utilizar recursos naturais, modificar o ambiente e produzir uma enorme quantidade de resíduos. Portanto, a construção civil enfrenta o desafio de tornar suas práticas menos agressivas ao meio ambiente (SILVA, 2014).

A perspectiva de aumento no número de resíduos sólidos tem gerado estudos em vários países sobre as possibilidades de reaproveitamento desses materiais como agregados. No entanto, em comparação com países desenvolvidos, a reciclagem de resíduos no Brasil, especialmente para materiais de construção, ainda é bastante limitada (DEMAJOROVIC; LIMA, 2019).

Considerando um índice médio de geração per capita de resíduos de construção e demolição (RCD) de 500 kg por habitante por ano (ÂNGULO et al., 2003), estima-se que a geração total de RCD no Brasil, para uma população urbana de 160 milhões de pessoas conforme o censo do IBGE de 2010, seja de aproximadamente 80 milhões de toneladas por ano. No entanto, as escalas de produção das usinas de reciclagem no país ainda são pequenas, tipicamente processando menos de 100 toneladas de RCD por dia. Dessa forma, a reciclagem de RCD permanece quase insignificante em relação ao volume total gerado. Internacionalmente, as estimativas de geração de resíduos de construção variam de 130 a 3.000 kg por habitante por ano (GONÇALVES, 2013).

De acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2012), a cadeia produtiva da construção civil consome entre 14% e 50% dos recursos naturais extraídos do planeta. No Brasil, a construção civil é responsável por uma faixa de 51% a 70% da massa de resíduos sólidos urbanos (RSU). Em Pelotas, segundo dados de Tessaro et al. (2012), a densidade dos resíduos de construção obtida foi de 1,28 toneladas por metro cúbico, resultando na geração de aproximadamente 10.485,86 toneladas mensais de RCD no município. A geração mensal é de 8.192,08 metros cúbicos, o que corresponde a uma média diária de 315,08 metros cúbicos. A taxa de geração per capita é de 1,23 kg por habitante por dia.

A reciclagem dos resíduos da construção civil começou a ganhar ênfase comercial nas décadas de 80 e 90, com a instalação de moinhos e argamassadeiras nos canteiros de obras, facilitando a moagem dos resíduos. No entanto, esse método de produção enfrentou problemas devido à falta de planejamento e de conhecimento técnico por parte dos envolvidos nas obras, apesar dos benefícios econômicos que trouxe às construtoras. Além disso, o comportamento dos materiais reciclados e as propriedades finais dos concretos produzidos ainda não contavam com um controle de qualidade adequado (MIRANDA et al., 2009).

A substituição dos agregados convencionais por agregados reciclados oferece diversas vantagens, incluindo economia na aquisição de matéria-prima, redução da poluição gerada pela produção dos agregados e preservação das reservas naturais (DEMAJOROVIC; LIMA, 2019).

Outro benefício é a grande disponibilidade de resíduos de construção civil (RCD), que, ao serem reutilizados, podem reduzir os custos tanto para o construtor quanto para o consumidor final (MARINHOS, 2019). No entanto, é crucial identificar as propriedades dos RCD e adequar o método de dosagem para garantir que o uso desses materiais não comprometa as características desejadas do concreto. Portanto, esta pesquisa visa avaliar a viabilidade do uso de agregados reciclados de RCD na produção de concretos para obras de engenharia civil.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) destacam a necessidade de melhor compreender e propor soluções para atender às crescentes demandas de recursos e à geração de resíduos por sistemas humanos, independentemente da escala e intensidade, com metas a serem alcançadas até 2030. Para que os ODS sejam cumpridos, é necessário que haja um desenvolvimento sustentável na sociedade. Alcançar os objetivos da Agenda 2030 requer vontade política para traçar o rumo para um futuro sustentável e mudar as tendências atuais. Nos últimos anos, a sustentabilidade tem sido discutida e estudada sob enfoques ambientais, sociais e econômicos (FREITAS, 2023).

O desenvolvimento sustentável tornou-se um modelo para o crescimento econômico e social, bem como para a proteção ambiental (WAŹTRÓBSKI et al., 2022). No entanto, ele não pode ser alcançado sem um compromisso com as questões políticas e econômicas relacionadas ao aumento do consumo de materiais e energia (SUGAHARA; RODRIGUES, 2019). O desenvolvimento sustentável pode ser um modelo global reconhecido para atender às necessidades futuras e atuais, embora seja desafiador, controverso, contextual, imprevisível e multifacetado (AGBEDAHIN, 2019).

Existem várias formas de gerenciar os resíduos de construção e demolição, incluindo reciclagem, incineração e aterro, mas é crucial estabelecer uma hierarquia de disposição baseada na minimização de resíduos, consumo de recursos e danos ambientais, conforme os princípios do desenvolvimento sustentável. Reduzir a construção é a maneira mais eficaz de minimizar a geração de resíduos. A reciclagem e reutilização de resíduos da construção e demolição (RCD) ajudam a reduzir o consumo de recursos naturais e a gestão de áreas de despejo, além de eliminar problemas de saúde e poluição ambiental. Nos Estados Unidos, os RCC são reciclados há mais de 30 anos para pavimentos, enquanto na Europa, países como Holanda e Alemanha reciclam 70% e 30% de seus resíduos de construção, respectivamente (FREITAS, 2023).

Esta pesquisa tem como objetivo geral demonstrar a viabilidade do uso de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD), considerando sua variabilidade, na produção de concretos que apresentem desempenho mecânico e durabilidade aceitáveis para aplicações estruturais.

2 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido no município de Pelotas, RS, localizado a 250 km de Porto Alegre, a capital do estado, no extremo sul do Brasil. O município abrange uma área de 1.610,09 km², sendo 192,5 km² de área urbana, e possui uma população de 328.275 habitantes, dos quais

cerca de 92% residem na zona urbana (IBGE, 2010).

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa junto ao órgão responsável pela limpeza pública para verificar os procedimentos referentes à coleta e destinação final dos resíduos de construção e demolição (RCD) no município, bem como os agentes envolvidos. Após a identificação desses agentes (setor público e privado de coleta), foram realizadas visitas a essas entidades com o objetivo de coletar dados sobre as movimentações de carga, a destinação final dos resíduos, entre outros aspectos.

Com os dados da caracterização quantitativa dos resíduos de construção e demolição (RCD), foi calculada a média do peso, em toneladas, do RCD coletado ao longo de um período de 12 meses para estimar a quantidade total de RCD produzido mensalmente em Pelotas. Para essa estimativa, foi utilizada a metodologia adotada por Marques Neto (2005).

Para a caracterização qualitativa dos RCD, foi aplicado o método de amostragem de acordo com a NBR 10007 (ABNT, 2004). A amostragem envolveu a seleção aleatória de três caçambas de 5 m³ de resíduos provenientes de uma coletora do município. De cada caçamba, foram coletadas cinco amostras de 18 litros, totalizando uma amostra de 90 litros por caçamba.

Com as amostras representativas da composição dos resíduos de construção e demolição reciclados (RCD), foram realizadas a separação e a classificação dos componentes, determinando o volume e o peso dos resíduos, além da análise gravimétrica dos RCD. A classificação dos resíduos seguiu as diretrizes estabelecidas pelas Resoluções do Conama nº 307 (BRASIL, 2002) e nº 431 (BRASIL, 2011).

A pesquisa também incluiu a identificação, por meio de visitas in loco, dos pontos de depósito irregular de RCD no município, que foram marcados em um mapa para facilitar a visualização dos locais. Vale ressaltar que o estudo abrange apenas os resíduos coletados pelas empresas licenciadas, não incluindo aqueles presentes nos pontos de depósito irregular.

Na confecção dos concretos, foram utilizados tanto agregados naturais quanto reciclados, provenientes da britagem de resíduos de construção e demolição. Para a produção dos agregados reciclados, foram coletados separadamente resíduos de concreto e de argamassa nos aterros de inertes da cidade de Pelotas/RS.

Os agregados foram separados por meio do quarteamento das amostras, conforme a NBR 16915 (ABNT, 2021). A análise da granulometria dos agregados foi realizada segundo a ABNT NBR 17054 (ABNT, 2022). A absorção de água dos agregados miúdos foi determinada pela NM 30 (ABNT, 2000), enquanto a absorção de água dos agregados graúdos foi medida conforme a NBR 16917 (ABNT, 2021). A massa específica dos agregados miúdos foi determinada pela NBR 16916 (ABNT, 2021), e a massa unitária dos agregados graúdos foi avaliada de acordo com a NBR 16972 (ABNT, 2021).

Foi utilizado o cimento Portland tipo CP V-ARI RS, que, de acordo com informações do fabricante, atende às exigências da norma brasileira NBR 16697 (ABNT, 2018). As características deste cimento estão detalhadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Características químicas do cimento (fornecido pelo fabricante)

Composição química	Teores (%)
Resíduo Insolúvel	≤1
Perda ao fogo	≤4,5
MgO	≤6,5
SO ₃	≤3,5
CO ₂	≤3,0
S	-

Tabela 2 - Características físicas e mecânicas (fornecido pelo fabricante)

Finura	Resíduo na # 75 µm (%)	≤6
	Área específica (m ² /kg)	≥300
Tempo de pega (h)	Início	≥1
	Término	≤10
Expansibilidade (mm)	A frio	≤5
	A quente	≤5
Resistência à compressão (Mpa)	1 dia	≥14
	3 dias	≥24
	7 dias	≥34
	28 dias	-

Foi utilizada água da rede pública de abastecimento tanto para o amassamento do concreto quanto para a pré-umidificação dos agregados reciclados. Além disso, foi empregado um aditivo superplastificante à base de policarboxilato, isento de cloretos, desenvolvido para uso em concreto em geral, seguindo a quantidade especificada pelo fabricante.

Após a realização dos ensaios de caracterização dos materiais, foram confeccionados os concretos e moldados os corpos-de-prova. Diferentes traços de concreto foram testados para determinar a quantidade ideal de água para a mistura.

Foram desenvolvidas misturas com relações água/cimento (a/c) de 0,35, 0,5 e 0,65, e moldados 12 corpos-de-prova para cada traço, que variava entre rico, médio e pobre, seguindo o Método IPT/EP USP para identificar o comportamento do concreto.

Foram produzidos dois tipos de concreto: concretos de referência, que utilizam apenas agregados naturais, e misturas com 35% de substituição dos agregados naturais por reciclados. A substituição foi realizada em massa; no entanto, devido à diferença nas massas específicas entre os agregados reciclados e naturais, foi necessário ajustar a massa de agregado miúdo reciclado (AMR) para manter o volume da mistura.

Os concretos foram classificados em: a) CONC. REF: Concreto de referência, composto exclusivamente por agregados naturais. b) CONC. 35%: Concretos com 35% de substituição do agregado natural (AN) por agregado reciclado (AR), com taxas de absorção parcialmente compensadas.

Antes da moldagem, os agregados reciclados foram umedecidos por 10 minutos com 80% da água que seria absorvida em 24 horas pela massa do agregado reciclado correspondente ao traço escolhido. Isso garantiu que a mistura tivesse água suficiente disponível para as reações de hidratação do cimento, minimizando a absorção excessiva de água pelos agregados.

A mistura foi realizada em uma betoneira. Inicialmente, foi adicionado o agregado junto com parte da água de amassamento. Em seguida, foram incorporados o cimento e o restante da água, permitindo que a betoneira uniformizasse a mistura. Finalmente, foi adicionado o plastificante para melhorar a trabalhabilidade da mistura.

A trabalhabilidade dos concretos foi medida pelo abatimento de tronco de cone (slump test). Para cada traço de mistura, foram moldados 8 corpos de prova cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015), para ensaios de resistência à compressão, e 4 corpos de prova adicionais para o ensaio de absorção de água.

Após a moldagem, os corpos de prova cilíndricos foram expostos à temperatura e umidade ambiente por 24 horas. Em seguida, foram desmoldados e imersos em recipientes com água saturada em cal, onde permaneceram até a data dos ensaios. A resistência à compressão foi determinada aos 7 e aos 28 dias de cura, utilizando a NM 101 (ABNT, 1997). O ensaio de absorção de água foi realizado após 28 dias de cura, de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme diagnóstico realizado em Pelotas, existem oito empresas privadas licenciadas para a coleta e transporte de resíduos de construção e demolição (RCD), além de um serviço público de coleta gerido pela prefeitura. A prefeitura disponibiliza gratuitamente caçambas para a população, que são deixadas no local solicitado por 24 horas e, após esse prazo, são recolhidas. As solicitações para a colocação das caçambas são feitas por telefone, e uma ficha com os dados do local da coleta é preenchida no momento do pedido. Tijolos e telhas em bom estado são recolhidos e encaminhados ao pátio da prefeitura, onde são disponibilizados para a população carente, para serem usados em reformas e construções que exigem pouco material.

Parte dos resíduos recicláveis de construção e demolição (RCCRCD) são comercializados pelas empresas como material de aterro ou descartados irregularmente em áreas não licenciadas. Foram identificados 36 pontos de deposição irregular, os quais foram mapeados e estão representados na Figura 1.

Figura 1 – Locais de disposição irregular de RCD (pontos em azul) no município de Pelotas, RS (2014)



A identificação dos pontos de deposição irregular de RCD foi realizada por meio de um monitoramento sistemático conduzido pelas equipes de pesquisa em colaboração com as autoridades locais. Foram realizadas visitas de campo em áreas predeterminadas, com foco em locais conhecidos por problemas de deposição irregular e em regiões com características predisponentes, como margens de canais e áreas afastadas. Durante essas visitas, os pontos foram registrados utilizando coordenadas geográficas e fotografias para documentar a localização e a extensão dos depósitos. A análise dos dados coletados permitiu identificar 36 pontos de deposição irregular, que foram mapeados e descritos em um relatório detalhado. O processo incluiu o uso de equipamentos de GPS e software de GIS para garantir a precisão das informações e possibilitar uma análise abrangente dos impactos ambientais e padrões de deposição.

Observou-se que a deposição irregular de RCD ocorre com maior frequência ao longo da malha viária do município e nas margens do Canal São Gonçalo. A área ao longo da malha viária é mais afastada do centro do município e inclui regiões com banhados, o que contribui para um significativo impacto ambiental, como evidenciado na Figura 2.

Figura 2 – Resíduos da construção e demolição depositados junto aos banhados no município de Pelotas, RS.



Segundo Tessaro et al. (2012), banhados não atuam apenas como sumidouros ou reservatórios para partículas inorgânicas e nutrientes solúveis, mas também como fontes de compostos orgânicos dissolvidos e particulados. Eles desempenham funções essenciais na manutenção dos recursos hídricos e possuem importância ecológica significativa, incluindo a produção de alimentos, a conservação da biodiversidade, a contenção de enchentes e o controle da poluição. A deposição inadequada ao longo da margem do Canal São Gonçalo e seus afluentes (Figura 3) representa um grave problema ambiental, pois, além de deteriorar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, contribui para as inundações na área urbana e para a proliferação de vetores de doenças.

Figura 3 – Resíduos de construção e demolição depositados próximo a afluentes do canal São Gonçalo (Pelotas, RS)



Em todos os pontos de deposição irregular observados, além dos resíduos de construção e demolição (RCD), foram identificados resíduos domésticos, hospitalares, de poda de árvores e volumosos. Tais ocorrências são comuns em locais de deposição de RCD, pois esses pontos frequentemente atraem outros tipos de resíduos, agravando os impactos ambientais já causados. Essa situação deve levar os gestores públicos a adotar uma postura mais rigorosa na fiscalização e a exigir maior responsabilidade dos gestores de RCD para lidar com a situação de forma adequada.

Para o diagnóstico da origem dos RCD, apenas uma empresa de coleta (Empresa D) concordou em participar do levantamento. De acordo com os dados fornecidos por essa empresa, 40% dos entulhos recolhidos mensalmente no município são de RCD, 10% de resíduos de poda e 10% de volumosos.

Na Tabela 3, observa-se que 85% do RCD gerado no município refere-se à Classe A, que consiste em fração mineral composta por argamassas, concretos, materiais cerâmicos e solo natural, todos reutilizáveis ou recicláveis na forma de agregado. Esse valor é semelhante aos dados de outros municípios, como Passo Fundo - RS, onde Bernardes et al. (2008) encontraram 94,9% de RCD Classe A no RCD gerado naquela localidade.

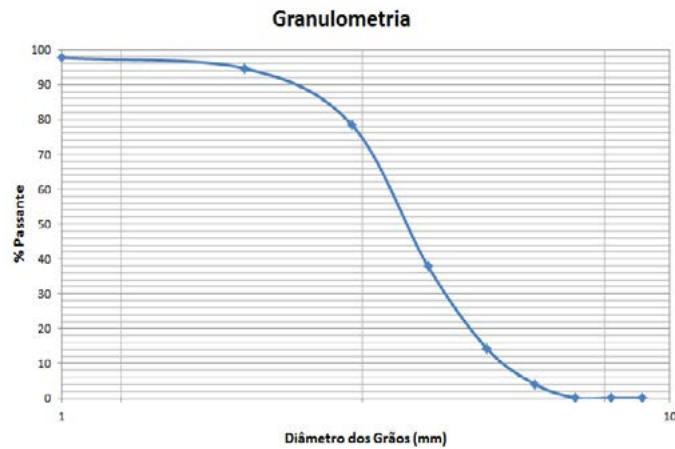
Tabela 3 – Composição gravimétrica e a classificação dos RCD segundo CONAMA no 431 (BRASIL, 2011)

Material	%	Classe	% por classe
Argamassa e Concreto	37	A	85
Material Cerâmico	30		
Solo Natural	18		
Madeira	3,7		
Metal	2,7		
Plásticos/PVC	2	B	13
Papel/Papelão	1,3		
Vidro	1		
Gesso	2,3		
Matéria Orgânica	2	-	2

A areia utilizada foi adquirida comercialmente. Para a análise, foram pesados 300 g de areia e registrado o peso retido em cada peneira, conforme apresentado na Tabela 4. A curva granulométrica da areia está representada na Figura 4.

Tabela 4 – Granulometria do agregado miúdo

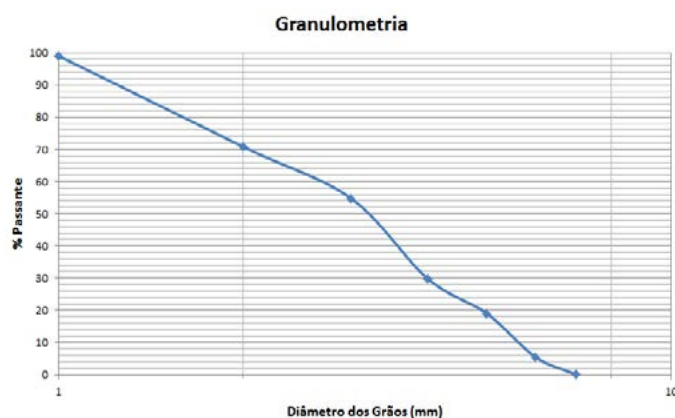
Peneira (mm)	Areia (g)	%retira	% acumulada
2,38	6,8	2,27	2,27
2	9,3	3,1	5,37
1,19	48,7	16,23	21,6
0,59	121,5	40,53	62,13
0,42	70,8	23,6	85,73
0,297	30,7	10,23	95,96
0,149	11,9	3,97	99,93
0,074	0,12	0,04	99,97
Fundo	0,1	0,03	100
Total	299,92	100	

Figura 4 – Curva Granulométrica do agregado miúdo

A absorção de água dos agregados miúdos foi de 1,29%, e a massa específica dos agregados miúdos foi de 2,59 kg/m³. A análise da granulometria dos agregados graúdos está detalhada na Tabela 5, e a curva granulométrica é apresentada na Figura 5.

Tabela 5 – Granulometria do agregado graúdo

Peneira (mm)	Areia (g)	%retira	% acumulada
19	32,9	1	1
12,7	923,3	28,2	29,2
9,5	526,4	16,15	45,35
6,3	816,6	24,97	70,32
4,76	355,8	10,8	81,18
2,38	442,7	13,43	94,55
Fundo	179,7	5,45	100
Total	3295,4	100	

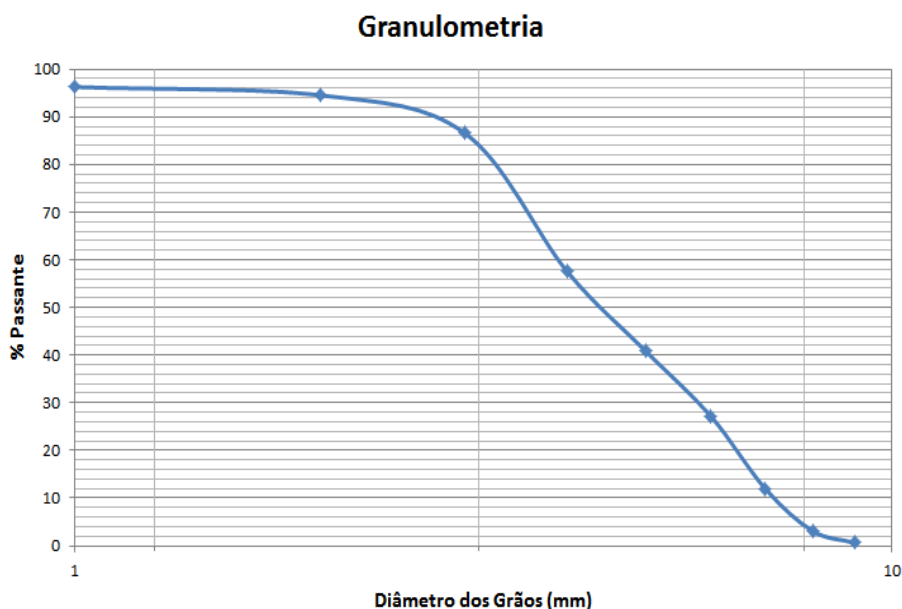
Figura 5 – Curva Granulométrica do agregado graúdo

A absorção de água dos agregados graúdos foi de 0,60%, e a massa unitária dos agregados graúdos foi de 2,61 kg/m³. A areia utilizada foi obtida pela britagem do agregado reciclado e peneirada até alcançar uma granulometria próxima à natural. Para a análise, foram pesados 300 g de areia e registrado o peso retido em cada peneira, conforme apresentado na Tabela 6. A curva granulométrica da areia está representada na Figura 6.

Tabela 6 – Granulometria do agregado miúdo

Peneira (mm)	Areia (g)	%retira	% acumulada
19	32,9	1	1
12,7	923,3	28,2	29,2
9,5	526,4	16,15	45,35
6,3	816,6	24,97	70,32
4,76	355,8	10,8	81,18
2,38	442,7	13,43	94,55
Fundo	179,7	5,45	100
Total	3295,4	100	

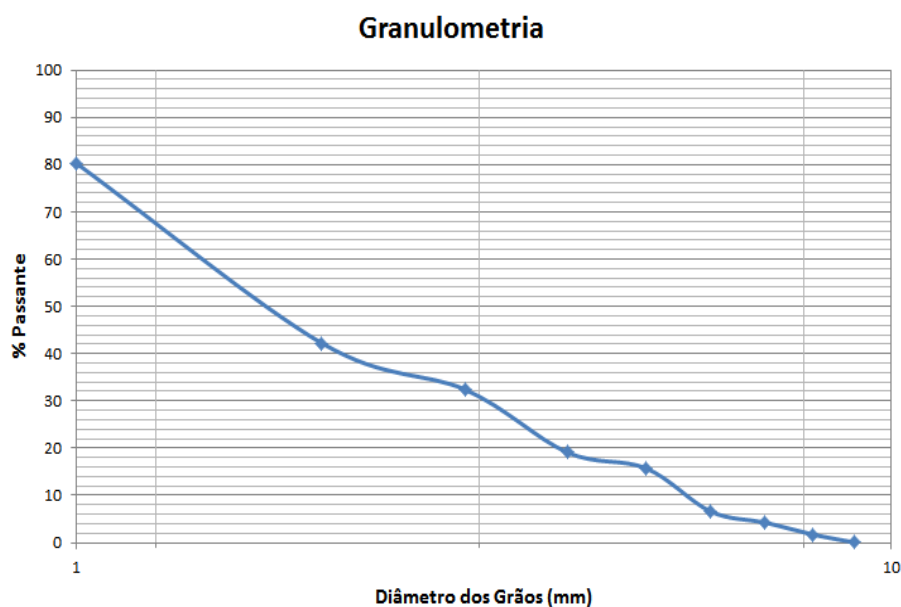
Figura 6 – Curva Granulométrica do agregado miúdo reciclado



A absorção de água dos agregados miúdos foi de 9,31%, e a massa específica dos agregados miúdos foi de 2,46 kg/m³. Após a britagem do agregado reciclado, a análise da granulometria foi realizada, com os resultados apresentados na Tabela 7 e a curva granulométrica exibida na Figura 7.

Tabela 7 – Granulometria do agregado graúdo

Peneira (mm)	Agregado (g)	%retira	% acumulada
19	593,4	19,77	19,77
12,7	1141,7	38,1	57,87
9,5	294,5	9,81	67,68
6,3	398,1	13,26	80,94
4,76	101,4	3,38	84,32
2,38	274,4	9,14	93,46
2	70,9	2,36	95,82
1,19	74,8	2,49	98,31
Fundo	50,7	1,69	100
Total	2999,9	100	

Figura 7 – Curva Granulométrica do agregado graúdo

A absorção de água dos agregados graúdos foi de 9,83%, e a massa unitária dos agregados graúdos foi de 2,53 kg/m³. A absorção de água do agregado miúdo reciclado foi 7,22 vezes maior do que a do agregado natural, devido à maior porosidade do agregado reciclado. Tenório (2007) obteve resultado semelhante, com o agregado reciclado apresentando uma absorção de água 7,66 vezes maior do que o agregado natural, que tinha uma absorção de água de 1,22%, enquanto o agregado reciclado apresentou 9,34%. A massa específica do agregado miúdo

reciclado é menor do que a da areia natural, o que, juntamente com o maior valor de absorção de água, confirma a maior porosidade do agregado reciclado. Esta maior porosidade pode resultar em uma menor resistência do agregado, possivelmente diminuindo a resistência mecânica dos concretos produzidos com ele. A elevada absorção de água também sugere que o agregado reciclado pode influenciar a consistência dos concretos, especialmente se não for submetido a uma pré-molhagem, conforme observado por Tenório (2007). Os resultados encontrados neste estudo são consistentes com os de Tenório, mostrando que a massa específica do agregado miúdo natural é 1,05 vezes maior do que a do agregado miúdo reciclado. A análise dos dados dos ensaios de caracterização de Lintz et al. (2012) confirma que os agregados naturais têm massas específicas superiores às dos agregados reciclados, corroborando os resultados encontrados no presente estudo para essas características físicas. Essa diferença indica que os agregados reciclados, geralmente mais porosos, possuem menor densidade e maior absorção de água em comparação com os agregados naturais.

A análise da absorção de água dos agregados graúdos revela que os agregados reciclados têm uma absorção significativamente maior (9,83%) em comparação com os agregados naturais (0,60%). Esse resultado é consistente com a expectativa, dado que os agregados reciclados são mais porosos e menos densos, o que é refletido na sua massa específica. A Figura 8 ilustra essa diferença, destacando a maior porosidade e a menor densidade dos agregados reciclados em relação aos naturais.

Figura 8

- A) Agregado miúdo natural;
- B) Agregado miúdo reciclado proveniente de argamassa;
- C) Agregado miúdo reciclado proveniente de concreto;
- D) Agregado graúdo reciclado proveniente de concreto;
- E) Agregado graúdo reciclado proveniente de argamassa;
- F) Agregado graúdo natural





A metodologia de dosagem IPT USP, utilizada nesta pesquisa, requer a criação de um diagrama de dosagem para correlacionar resistência à compressão, abatimento, relação água/cimento, traço de agregados e consumo de cimento. Para isso, são estabelecidos três pontos de dosagem: um traço mais rico, um intermediário e um mais pobre em cimento.

No estudo, foram adotadas três relações água/cimento (a/c): 0,35; 0,50; e 0,65. A proporção de aglomerante para agregados foi determinada para cada relação a/c , levando em consideração o “slump test” (ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone), conforme a NBR 16889 (ABNT, 2020). Inicialmente, foi definido um abatimento do tronco de cone de $100 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ e um traço intermediário de 1:2,12:2,76. Caso o abatimento especificado não fosse atingido, a quantidade de água ou aditivo era ajustada para alcançar a trabalhabilidade desejada.

Os valores obtidos para as relações a/c 0,35; 0,50; e 0,65 estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Traço unitário

Mistura	Cimento	Teor de aditivo	Areia	Brita
REF 0,65	1	0,15%	2,12	2,76
REF 0,50	1	0,13%	2,12	2,76
REF 0,35	1	0,32%	2,12	2,76
RCD 0,65	1	0,15%	2,1	2,73
RCD 0,50	1	0,13%	2,1	2,73
RCD 0,35	1	0,27%	2,1	2,73

Conhecendo os traços dos concretos produzidos, foi possível determinar a quantidade de cimento necessária para 1 m^3 de concreto para cada traço. As quantidades dos materiais são apresentadas na Tabela 9.

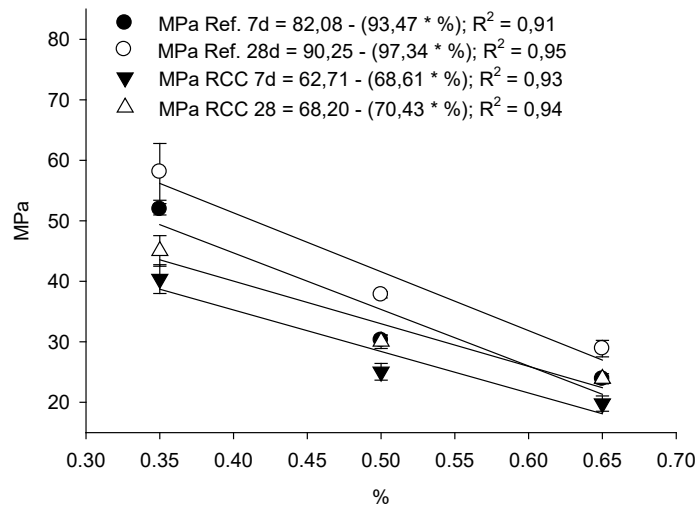
Tabela 9 – Quantidade de materiais calculados a partir do estudo de dosagem

Traço	Fator A/C	Cimento (Kg/m³)	Água (Kg/m³)	Areia Nat (Kg/m³)	Areia RCD (Kg/m³)	Brita 0 Nat (Kg/m³)	Brita 0 RCD (Kg/m³)	Brita 1 Nat (Kg/m³)	Brita 1 RCD (Kg/m³)	Aditivo (Kg/m³)
REF	0,35	535,35	187,39	631,74	-	342,61	-	694,35	-	1,74
	0,50	535,35	180,86	766,96	-	329,57	-	669,13	-	1,74
	0,65	535,35	184,78	870,43	-	336,96	-	683,91	-	1,74
RCD	0,35	535,35	232,17	760,44	84,48	345,65	115,22	701,97	233,91	1,96
	0,50	535,35	253,30	949,13	105,65	342,61	114,22	695,61	231,87	1,96
	0,65	535,35	200	1049,13	116,52	340,96	113,65	692,26	230,74	1,96

A Tabela 10 apresenta os valores em Mpa dos corpos de prova rompidos aos 28 dias. A Figura 9 apresenta a análise estatística da resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados aos 28 dias.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de compressão

	Referência (Mpa)					
	7 dias			28 dias		
	0,35	0,5	0,65	0,35	0,5	0,65
a/c	0,35	0,5	0,65	0,35	0,5	0,65
CP1	51,50	29,79	23,38	61,48	38,26	28,46
CP2	52,90	29,67	24,26	62,06	37,09	27,77
CP3	52,43	30,21	23,52	56,81	37,68	30,86
CP4	50,80	31,35	24,33	51,99	38,12	28,44
Média	51,91	30,26	23,87	58,09	37,79	28,88
Desvio Padrão	0,76	0,55	0,42	3,69	0,40	0,99
	RCD 35% (Mpa)					
	7 dias			28 dias		
	0,35	0,5	0,65	0,35	0,5	0,65
a/c	0,35	0,5	0,65	0,35	0,5	0,65
CP1	37,14	25,90	20,74	47,91	30,02	23,14
CP2	42,72	26,04	17,94	47,23	31,11	23,14
CP3	41,38	23,06	20,09	46,76	30,44	23,22
CP4	40,26	25,18	20,40	43,20	31,26	24,11
Média	40,37	25,04	19,79	46,27	30,71	23,40
Desvio Padrão	1,67	0,99	0,93	1,54	0,48	0,35

Figura 9 – Análise Estatística do ensaio de compressão

Os resultados obtidos revelam que, para os concretos de referência, a resistência à compressão varia conforme a relação água/cimento (a/c). Para a relação a/c de 0,65, a resistência está em torno de 29 MPa; para a relação a/c de 0,50, a resistência é de aproximadamente 30 MPa; e para a relação a/c de 0,35, a resistência alcança cerca de 58 MPa. Em contraste, para os concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD), a resistência à compressão para a relação a/c de 0,65 é de aproximadamente 23 MPa, para a relação a/c de 0,50 é de cerca de 38 MPa e para a relação a/c de 0,35 é em torno de 47 MPa.

Esses resultados confirmam que a resistência à compressão diminui conforme a relação a/c aumenta, um comportamento que segue a Lei de Abrams, que estabelece que a resistência do concreto diminui com o aumento da relação água/cimento. Além disso, as resistências obtidas para ambos os tipos de concreto estão dentro dos padrões normativos para concreto armado em elementos estruturais, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014). Isso indica que tanto os concretos produzidos com agregados naturais quanto aqueles com RCD atendem aos requisitos técnicos exigidos para aplicações estruturais. Para concreto utilizado em elementos estruturais, a norma estabelece que a resistência à compressão deve ser superior a 20 MPa aos 28 dias. Este valor é fundamental para garantir a segurança e a durabilidade das estruturas de concreto.

Os concretos reciclados demonstraram, em geral, resistências à compressão próximas das obtidas para seus respectivos concretos de referência. As reduções acentuadas observadas em alguns casos evidenciam a influência negativa da porosidade dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) graúdos sobre sua própria resistência e, conseqüentemente, sobre a resistência do concreto produzido.

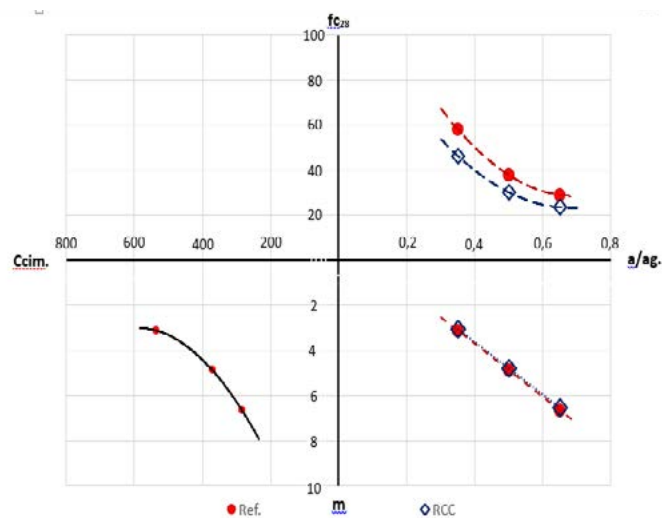
No entanto, em situações em que as resistências se aproximaram ou até superaram as do concreto de referência, os concretos reciclados foram os que apresentaram uma relação água/cimento (a/c) de 0,65. Este comportamento foi observado por Leite (2001) e Vieira (2003) em estudos anteriores, enquanto Carrijo (2005) não encontrou casos em que os concretos reciclados superassem as resistências dos concretos de referência.

De acordo com Tenório (2007), uma das possíveis explicações para esse fenômeno é que os agregados reciclados podem ter absorvido parte da água de mistura, o que reduz a relação a/c efetiva. Além disso, Neville (1997) sugere que, com o aumento da relação a/c , a pasta de cimento torna-se o fator limitante da resistência, um aspecto também identificado por Carrijo (2005). Dessa forma, a absorção de água pelos agregados reciclados e a relação a/c elevada podem impactar a resistência do concreto, evidenciando a importância de considerar esses fatores na formulação e no desempenho dos concretos reciclados.

A análise da resistência à compressão axial revelou que, para as relações água/cimento (a/c) mais elevadas, o uso de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) não apresentou um impacto significativo na resistência do concreto. Todos os traços testados apresentaram resistências superiores a 20 MPa aos 28 dias de cura, o que indica que, em termos de resistência à compressão axial, o concreto com RCD pode ser adequado para uso estrutural, desde que se realize uma análise estatística de acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015).

Com base nos dados experimentais obtidos para os diferentes traços (intermediário, pobre e rico), é possível traçar o diagrama de dosagem e estabelecer as correlações matemáticas entre a resistência à compressão axial e a relação água/cimento ($f_{cj} = f(a/c)$), o traço e a relação A/C ($m = f(a/c)$), o consumo de cimento e o traço ($C = f(m)$), e a resistência à compressão e o consumo de cimento ($f_{cj} = f(C)$). Essas correlações são fundamentais para otimizar a formulação do concreto e garantir seu desempenho adequado em aplicações estruturais.

Figura 12 – Diagrama de Dosagem para f_{c28} aos 28 dias



A partir dos resultados obtidos nos ensaios, elaborou-se um diagrama de dosagem que inclui quadrantes para relacionar diferentes aspectos do comportamento dos concretos estudados. O primeiro quadrante mostra a relação entre a relação água/cimento e a resistência à compressão, conforme a Lei de Abrams. De acordo com essa lei, com o aumento da relação água/cimento, a resistência à compressão do concreto tende a diminuir. O segundo quadrante relaciona a relação água/cimento com o teor de agregados, seguindo a Lei de Lyse, que sugere

que o teor de agregados deve variar conforme a relação água/cimento para manter a consistência do concreto. O terceiro quadrante associa o teor de agregados com o consumo de cimento, utilizando a equação de Molinari, que ajuda a determinar o consumo de cimento necessário com base na quantidade de agregados.

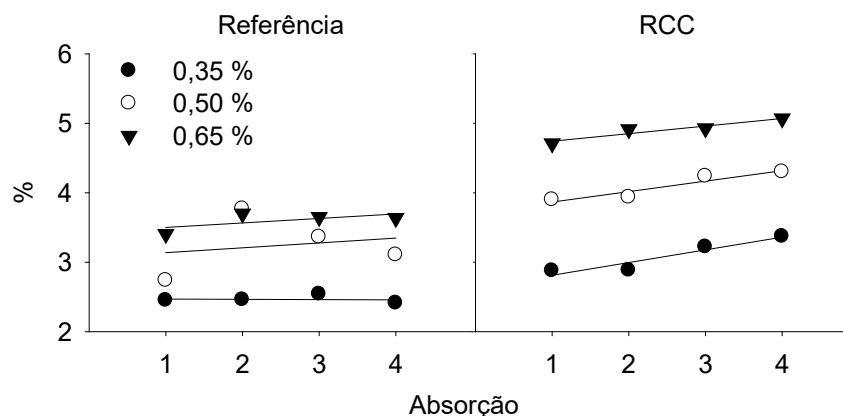
Este método de dosagem, conforme descrito por Helene e Terzian (1993), considera quatro materiais principais: cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo, o que pode complicar a montagem do modelo de comportamento.

Os valores de absorção de água dos corpos de prova aos 28 dias de cura estão apresentados na Tabela 11, e a Figura 10 ilustra a análise estatística desses resultados, oferecendo uma visão detalhada da absorção de água dos corpos de prova e contribuindo para a avaliação da eficácia dos concretos produzidos.

Tabela 11 – Valores de absorção dos corpos de prova com idade de 28 dias

	Referência			RCD 35%		
	0,35	0,5	0,65	0,35	0,5	0,65
1	2,03	2,74	3,40	2,45	3,39	5,07
2	2,17	3,77	3,70	2,46	3,67	4,93
3	2,88	3,36	3,65	2,54	3,93	5,48
4	2,87	3,10	3,64	2,41	3,90	4,91
Média	2,49	3,24	3,60	2,46	3,72	5,10
Desvio Padrão	0,39	0,32	0,10	0,04	0,19	0,19

Figura 10 – Análise estatística da absorção dos corpos de prova aos 28 dias



Na Tabela 11 e na Figura 10, observa-se que, com o aumento da relação água/cimento, a absorção de água dos corpos de prova também aumentou, tanto para o traço referência quanto para o traço com 35% de RCD. O concreto contendo RCD apresentou uma maior absorção de água em comparação ao concreto de referência.

A norma estabelece que o valor de absorção de água para concretos não deve ultrapassar 6% aos 28 dias. Esse limite é crucial para garantir a durabilidade e a resistência ao ataque de agentes externos, além de assegurar uma boa performance do concreto em termos de impermeabilidade. Em termos de absorção, verificou-se que para relações água/cimento menores, o uso de RCD não teve um impacto significativo, ao contrário do que foi observado na resistência. Além disso, para todos os traços analisados, a absorção de água aos 28 dias permaneceu abaixo de 6%. Esse resultado sugere que, com relação à absorção, o uso de RCD é viável para fins estruturais, desde que se realize uma análise estatística detalhada para assegurar a adequação do material para aplicações estruturais.

4 CONCLUSÕES

Os resíduos de construção civil representam um grave problema para as cidades, devido ao grande número de depósitos irregulares que favorecem a formação de vetores de doenças e o acúmulo de lixo. A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCCRCD) contribui para a redução do número de resíduos dispostos inadequadamente no meio ambiente, promovendo, conseqüentemente, uma melhoria na qualidade de vida urbana.

Os concretos reciclados, em geral, demonstraram resistência à compressão próxima à dos concretos de referência. No traço com relação água/cimento (a/c) de 0,35, o concreto de referência atingiu uma resistência de 51 MPa, enquanto o concreto reciclado apresentou 47 MPa. No traço com relação a/c de 0,5, o concreto de referência alcançou 38 MPa, em comparação com 30 MPa para o concreto reciclado. Para o traço com relação a/c de 0,65, o concreto de referência obteve 29 MPa, enquanto o concreto reciclado alcançou 23 MPa. Esses resultados indicam que, embora os concretos reciclados apresentem um desempenho ligeiramente inferior em resistência comparado aos concretos de referência, eles ainda são uma alternativa viável para aplicações estruturais, especialmente considerando os benefícios ambientais associados à sua utilização.

Os casos em que ocorreram reduções acentuadas na resistência à compressão evidenciam a influência negativa da porosidade dos agregados reciclados de RCD graúdos sobre a resistência tanto dos próprios agregados quanto do concreto. No entanto, os concretos reciclados com relação água/cimento (a/c) igual a 0,35 apresentaram resistências que praticamente se igualaram ou até superaram as dos concretos de referência.

Em relação à absorção de água, observou-se que a absorção aumentou com o aumento da relação água/cimento, tanto para o traço de referência quanto para o traço com 35% de RCCRCD. O concreto com substituição de RCCRCD mostrou uma absorção de água maior do que o concreto de referência. No entanto, todas as absorções obtidas foram inferiores a 6% aos 28 dias, o que indica que, do ponto de vista da absorção, os concretos reciclados são adequados para uso estrutural, desde que analisados estatisticamente.

5 REFERENCIAS

AGBEDAHIN, A. V. Sustainable development, Education for Sustainable Development, and the 2030 Agenda for Sustainable Development: Emergence, efficacy, eminence, and future. **Sustainable Development**, v. 27, n. 4, p. 669–680, 1 jul. 2019.

ÂNGULO, S. C., KAHN, H., JOHN, V. M., ULSEN, C. (2003). **Metodologia de caracterização de resíduos de construção e demolição**. VI Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – Materiais Reciclados e suas Aplicações, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2015.

_____. **NBR 6118:2014** Versão Corrigida:2014. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 2015. 3 p.

_____. **NBR 9778:2005** Versão Corrigida 2:2009. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

_____. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. ABNT, 2004.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. 2018.

_____. **NBR 16889**: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 2020

_____. **NBR 16915**: Agregados -Amostragem, 2021. 8 p.

_____. **NBR 16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. 2021. 7 p.

_____. **NBR 16917**: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água, 2021.

_____. **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. 2021. 6p.

_____. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

_____. **NM 30**: Agregado miúdo-Determinação da absorção de água. 2000.

_____. **NM 101**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 1996.

BERNARDES, A. et al. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 3, p. 65-76, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n. 307**, 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil e dá outras providências. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil. Brasília, 17 de julho de 2002. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/CONAMA/> >.

_____. **CONAMA n. 431**, de 24 de maio de 2011, que altera o artigo 3º da Resolução nº 307.

CARRIJO, P. M. **Análise da influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto**. São Paulo: USP, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, 2005

GONÇALVES, M. M. **Resíduos com aplicação na construção civil: Sistematização da análise quanto ao potencial deletério e métodos de ensaio**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

DEMAJOROVIC, J.; LIMA, M. **Cadeia de reciclagem: um olhar para os catadores**. Editora Senac São Paulo, 2019.

FREITAS, G. S. Agenda 2030: O desafio para a indústria da construção civil referente ao seu resíduo. **Revista Geociências-UNG-Ser**, v. 22, n. 1, p. 5-14, 2023.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, **Manual da dosagem e controle do concreto**. São Paulo, Pini, 1993, 300p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censos Demográficos** 1950, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010. 2010.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 25, p. 135-158, 2011.

LEITE, M. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LINTZ, R. C. C., JACINTHO, A. E. P. G. A., PIMENTEL, L. L., & GACHET-BARBOSA, L. A. Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, 5, 166-181. 2012.

MARINHOS, A. S. **Análise e quantificação de resíduos de gesso acartonado gerados em uma obra de edifício vertical residencial na cidade de Londrina: estudo de caso**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MARQUES NETO, J. C. M. **Gestão de resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2005.

MIRANDA, L. F. R., ÂNGULO, S. C., CARELI, E.D (2009). A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986 – 2008. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, nº1, p. 57-71, jan/mar 2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**/ Tradução Salvado E. Giammusso – São Paulo: Pini, 1982.

OLIVEIRA, L. J. C., SOARES, M. C. B., QUARESMA, W. M. G., & ADORNO, A. L. C. Gestão de resíduos: uma análise sobre os impactos da geração de rejeitos na construção civil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24447-24462, 2020.

SILVA, M. B. L. **Novos materiais à base de resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduos de produção de cal (RPC) para uso na construção civil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais PIPE. Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014. 84 p.

SUGAHARA, C. R.; RODRIGUES, E. L. Desenvolvimento Sustentável: um discurso em disputa. **Desenvolvimento em Questão**, v. 17, n. 49, p. 30–43, 17 out. 2019.

TENÓRIO, J. J. L. **Avaliação de propriedades do concreto produzido com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição visando aplicações estruturais.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. 2007

TESSARO, A. B.; SÁ, J. S.; SCREMIN, L. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, v. 12, p. 121-130, 2012.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Porto Alegre, 2003. 150 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WĄTRÓBSKI, J.; BĄCZKIEWICZ, A.; ZIEMBA, E.; SAŁABUN, W. Sustainable cities and communities assessment using the DARIA-TOPSIS method. **Sustainable Cities and Society**, v. 83, 1 ago. 2022.