

INOVAÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NO SETOR DA CONSTRUÇÃO: AVALIAÇÃO DE RESÍDUOS DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO COMO ALTERNATIVA MATERIAL

INTRODUÇÃO

A geração do resíduo de construção é um dos importantes impactos ocasionados pelas atividades provenientes da construção civil. Este tipo de resíduo resulta em efeitos deteriorantes ao ambiente local, dentre eles pode-se citar: a alteração da paisagem, dificuldades impostas ao tráfego de pedestres e veículos, comprometimento da drenagem urbana, assoreamento de recursos hídricos, atração para a disposição de resíduos não-inertes e a multiplicação de vetores de doenças (HOOD, 2006).

Ao longo dos anos, os resíduos sólidos tornaram-se um desafio crescente para as administrações municipais, especialmente no que tange à coleta, transporte e disposição final. A dificuldade em encontrar locais adequados para destinação nas áreas urbanas tem agravado o problema, forçando o descarte em locais cada vez mais distantes, o que, por sua vez, eleva significativamente os custos de transporte (SHOOSHTARIAN et al., 2020).

Para Olofinnade; Manda & Ede (2021), a gestão de resíduos de construção e demolição em países em desenvolvimento enfrenta desafios significativos, especialmente devido à imprevisibilidade dos volumes de resíduos gerados nos canteiros de obras, o que dificulta o planejamento e a alocação de recursos. A falta de dados precisos por parte dos contratantes agrava a situação, levando a estratégias inadequadas de gerenciamento de resíduos e aumentando os riscos ambientais e de saúde. Os autores ainda destacam a necessidade de sistemas de gestão mais eficazes e de marcos legislativos sólidos que promovam a conformidade e a responsabilidade nesse processo.

Desse modo, este artigo, investiga o potencial da reciclagem dos resíduos da construção civil como uma alternativa para suprir a demanda dos agregados, e diminuir as pressões ambientais ao território, eventualmente, contribuindo para a melhora na sustentabilidade de atividades deste tipo. Neste contexto, a preservação do meio ambiente e a busca pelo desenvolvimento sustentável tem estimulado a realização de diversas pesquisas relacionadas ao uso de agregados reciclados, provenientes de resíduos sólidos, principalmente do meio da construção civil (BEHERA et al., 2014; ROBALO et al., 2021).

Portanto, neste trabalho fez-se a caracterização do resíduo de corpos de prova de concreto (RCPC) utilizando de forma experimental na produção de concreto em diferentes percentuais de adições, buscando-se compreender de forma científica o comportamento do concreto com reutilização desses materiais, avaliando, a possibilidade de sua utilização na produção em escala comercial, sendo essa, uma forma alternativa e sustentável na destinação desses resíduos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Amadei (2011), após a explosão demográfica que aconteceu no início do século XX, houve o crescimento das construções civis nos centros urbanos, e, com isso, a geração de Resíduos de Construção também aumentou, tornando-se um grave problema socioambiental. Esses resíduos ganharam atenção após a 2ª Guerra Mundial, pois muitos países utilizaram esses materiais como base de matéria-prima para reconstrução. Ainda segundo o autor esses resíduos podem ser utilizados em bases para pavimentação, argamassas, concretos, entre outros, reduzindo assim áreas destinadas aos aterros, a diminuição da poluição e o menor consumo dos recursos naturais. Assim há a necessidade de se conscientizar a população de que

a matéria-prima é limitada, devendo ser utilizada de forma racional. Além disso, deve-se buscar fontes alternativas de materiais.

Portanto, a reciclagem do resíduo de construção e demolição é uma forma de aproximar o setor da construção civil da sustentabilidade, através da redução dos impactos gerados através dos resíduos e da geração de uma nova fonte de matéria a qual pode ser substituída pela natural (ÂNGULO *et al.*, 2002).

METODOLOGIA

O presente estudo foi conduzido em ambiente laboratorial, com a realização de ensaios de compressão axial para avaliar o comportamento do concreto produzido com resíduos de corpos de prova de concreto (RCPC). O concreto de referência, utilizado como base de comparação, foi composto por areia, brita, cimento Portland e água, moldado para atingir uma resistência de 20 MPa. Os materiais convencionais (areia, brita e cimento Portland) foram adquiridos no comércio local, enquanto os resíduos de corpos de prova foram obtidos no depósito de entulhos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Toledo.

Os RCPC utilizados foram resíduos de corpos de prova descartados após ensaios de resistência mecânica. Esses corpos de prova foram dosados originalmente para alcançar resistência de compressão de 20 MPa aos 28 dias. Para o concreto de referência, foi adotado um traço volumétrico de 1:3:3 (cimento:areia), com uma relação água/cimento (a/c) de 0,61 e abatimento, medido pelo ensaio de *slump test*, de 9 cm \pm 1 cm. Esse traço é amplamente utilizado em obras da cidade de Toledo-PR, o que justifica sua escolha para este estudo.

A substituição da areia natural pelo RCPC foi realizada em quatro níveis: 25%, 50%, 75% e 100%, além do traço padrão sem substituição (0%). O objetivo foi identificar o percentual de substituição que oferece o melhor desempenho. Para cada um dos percentuais de substituição, foram avaliados vários traços de concreto, inicialmente com a relação a/c fixa em 0,61 e, em seguida, com o abatimento fixo em 9 cm \pm 1 cm, variando-se a relação a/c.

Dois abordagens foram utilizadas: (1) Relação a/c constante (a/c cte): A relação água/cimento foi mantida fixa em 0,61 para todas as substituições, enquanto o abatimento variou de acordo com cada traço. (2) Abatimento constante (*slump cte*): O valor do abatimento foi mantido em 9 cm \pm 1 cm para todas as substituições, com variação da relação água/cimento.

O concreto sem substituição (0%), composto por areia natural, brita, água e CP II Z, foi denominado Ref e utilizado como referência. Todos os ensaios, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, foram realizados neste traço para comparação com os concretos contendo RCPC. Foram moldados quatro corpos de prova (CPs) para cada nível de substituição de areia natural por RCPC. O processo de moldagem foi padronizado, com a adição dos materiais à betoneira seguindo a mesma sequência: água, brita, cimento e areia natural. Nos casos em que houve substituição por RCPC, este foi adicionado após a areia.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para o ensaio de resistência à compressão axial simples foram moldados 4 corpos de prova (CP) de concretos para cada substituição de areia natural por RCPC, além do concreto padrão (sem substituição). As idades de rompimentos escolhidas foram de 3 e 28 dias. Assim, as Tabelas 1 e 2, mostram os resultados de resistência à compressão axial obtidos nos variados concretos e, o Gráfico 1 ilustra a tendência do ganho de resistência dos concretos com as idades.

Tabela 1 – Resistências à compressão axial aos 3 dias – relação a/c cte

Composição (MPa)

Amostras	Padrão	75% areia 25 RCPC	50% areia 50% RCPC	25% areia 75% RCPC	100% RCPC 0% Areia
CP 1	16,08	16,80	20,77	18,18	17,97
CP 2	17,02	13,19	21,33	15,08	12,61
CP 3	15,66	18,14	24,21	19,81	15,69
CP 4	14,51	18,39	25,40	20,15	16,88
Média	15,82	16,63	22,93	18,31	15,79

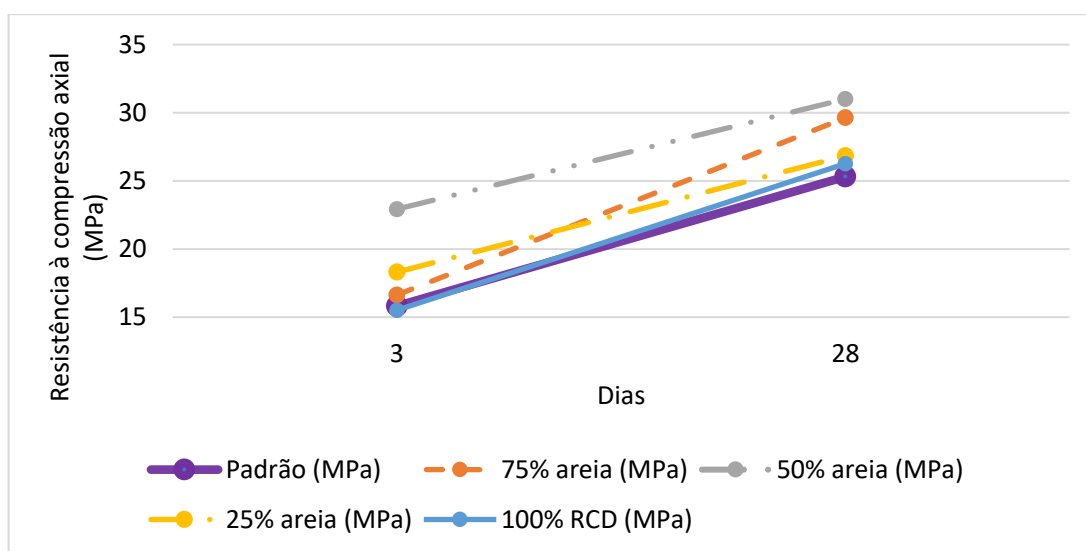
Fonte: Autores.

Tabela 2 – Resistências à compressão axial aos 28 dias – relação a/c cte

Amostras	Padrão	Composição (Mpa)			
		75% areia 25% RCPC	50% areia 50% RCPC	25% areia 75% RCPC	100% RCPC 0% Areia
CP 1	27,29	29,70	31,43	26,79	24,12
CP 2	24,95	30,12	29,44	27,73	27,85
CP 3	24,52	28,23	29,64	24,55	25,71
CP 4	24,46	30,46	33,52	28,29	27,38
Média	25,31	29,63	31,01	26,84	26,27

Fonte: Autores.

Gráfico 1 – Resistências à compressão axial: Idades de 3 e 28 dias e relação a/c cte.



Fonte: Autores.

Conforme os resultados obtidos (Tabelas 1, 2, e Gráfico 1), verifica-se que o traço do concreto feito com a composição de 50% de areia natural e 50% de RCPC obteve resultados superiores ao concreto padrão (Ref. 0%), embora todas os concretos com substituições tiveram valores acima da referência. No entanto, é bom lembrar a dificuldade em se confeccionar e manipular os concretos com as substituições (areia natural por RCPC) mantendo-se a mesma quantidade de água de amassamento.

Da mesma forma, foram confeccionados 4 corpos de prova para análises de resistência a compressão axial de concretos com as variadas substituições, mantendo-se o abatimento constante (slump cte). Assim, a Tabela 3 mostra os resultados das resistências obtidas aos 28 dias de idade. Para melhores análises nos resultados de resistência a compressão axial, o Gráfico 2, ilustra graficamente a comparação dos variados concretos, ou seja, concretos donde

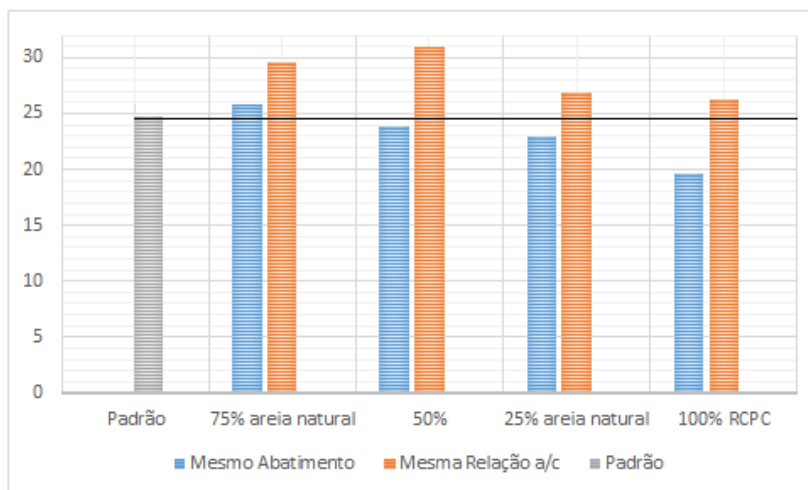
mantiveram-se a relação a/c constante (a/c cte=0,61) e os concretos com o abatimento constante (slump cte), todos aos 28 dias de idade.

Tabela 3 – Resistências à compressão axial aos 28 dias – slump cte

Amostra	Composição (MPa)			
	75% areia 25% RCPC	50% areia 50% RCPC	25% areia 75% RCPC	100% RCD 0% areia
Amostra 1	26,63	24,55	23,81	20,47
Amostra 2	24,09	24,66	22,45	19,83
Amostra 3	24,91	21,79	23,09	17,55
Amostra 4	27,94	24,47	22,69	20,44
Média	25,89	23,87	23,01	19,57

Fonte: Autores.

Gráfico 2 – Resistências aos 28 dias e seus respectivos traços.



Fonte: Autores.

Analisando os resultados do Gráfico 2, verifica-se visivelmente que os variados concretos, mantendo-se a relação a/c cte, tiveram resistências inferiores aos concretos com slump cte em todas as substituições. Além disso, quando comparado com o concreto padrão, somente o concreto com 75% de areia e 25% de RCPC teve resistência superior, nas demais, foram inferiores. Já para os concretos mantendo o slump cte, estes atingiram resistências superiores ao padrão para todas as substituições.

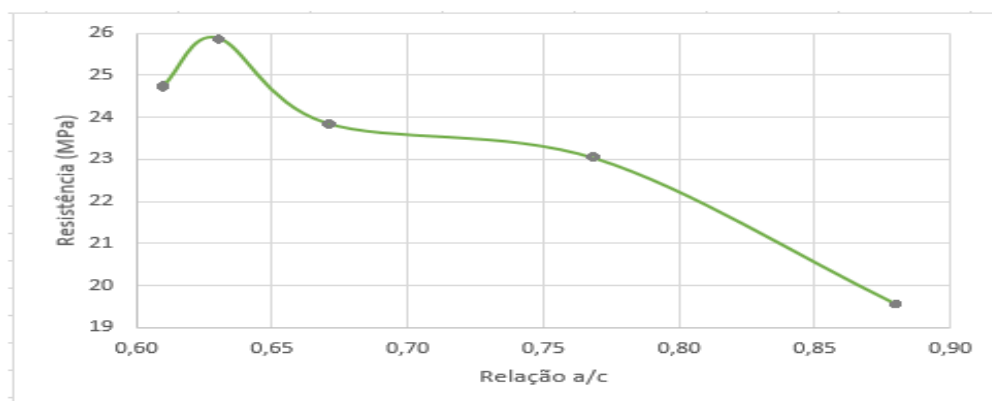
Para verificar o comportamento variável de resistência mecânica com o acréscimo de água de amassamento na massa de concreto, a Tabela 4 e o Gráfico 3 mostram os resultados obtidos no concreto padrão e nos concretos com as variadas substituições de areia natural por RCPC na idade de 28 dias.

Tabela 1 – Resistências à compressão aos 28 dias – slump cte

Traço	Resistência Média (MPa)	Relação a/c
Padrão	24,74	0,61
75% areia + 25 RCPC	25,89	0,63
50% areia + 50% RCPC	23,87	0,67
25% areia + 25% RCPC	23,01	0,77
100% RCPC	19,57	0,88

Fonte: Autores.

Gráfico 3 – Resistência à compressão axial simples, de acordo com relação a/c utilizada.



Fonte: Autores.

Observa-se o decréscimo acentuado da resistência à compressão (Gráfico 3) com o aumento da quantidade de água na massa dos variados concretos, para manter uma massa trabalhável, sem aspecto áspero/rijo. Através deste é possível observar que a resistência à compressão do concreto com a taxa de substituição de 75% de areia natural e 25% de RCPC se mostrou com uma resistência superior às demais, mostrando que apesar de aumentar a relação a/c, a utilização moderada desse material tende a aumentar a sua resistência, porém, quando a relação a/c é demasiadamente alta, há a tendência de reduzir sua resistência conforme o aumento dessa relação a/c.

O traço de concreto que se apresentou com valores de resistência melhores foi a de 25% de substituição do agregado miúdo natural por RCPC, mantendo-se a relação a/c constante, tendo um abatimento de 8 cm. Um outro traço que se mostrou resultados interessantes foi o de 50% de substituição do agregado miúdo natural e 50% de RCPC, tendo um pequeno aumento em sua resistência mecânica, porém teve-se um decréscimo no valor do abatimento de 6,5 cm, prejudicando na trabalhabilidade do concreto.

Fazendo uma análise dos dois traços que se mostraram mais eficientes, pode-se dizer que a taxa de substituição de 25% do agregado miúdo natural por reciclado seria satisfatório, pois teria uma resistência próxima a máxima atingida, e ainda assim manteria o seu abatimento de 8 cm, porém, com taxas maiores de substituição o abatimento seria reduzido drasticamente, visto que a quantidade de material pulverulento do resíduo reciclado absorve grande quantidade de água.

Os resultados obtidos indicam que a substituição parcial da areia natural por RCPC pode ser tecnicamente viável, especialmente nas proporções de até 50%. Verificou-se que os concretos com substituição de 25% e 50% de RCPC apresentaram desempenho em termos de resistência à compressão comparável ao concreto de referência (0% RCPC). Em alguns casos, esses traços superaram ligeiramente a resistência do concreto padrão, o que sugere que o RCPC pode ser uma alternativa adequada, dependendo do contexto de aplicação. Esses resultados demonstram que a reutilização de RCPC contribui para a redução do uso de materiais virgens, sendo uma alternativa promissora para a mitigação dos impactos ambientais gerados pela indústria da construção civil. Além disso, observou-se uma tendência de diminuição da trabalhabilidade à medida que aumentam as taxas de substituição de areia por RCPC, especialmente com níveis de substituição acima de 50%, o que aponta a necessidade de ajustes na relação água/cimento para garantir a qualidade da mistura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicaram que a substituição de até 50% de areia natural por RCPC em concretos pode ser tecnicamente viável, apresentando resistência à compressão dentro dos parâmetros aceitáveis para aplicações estruturais. Essa abordagem oferece uma solução alternativa para a destinação de resíduos de construção, contribuindo para a economia de recursos naturais e a redução de impactos ambientais. No entanto, substituições superiores a 50% apresentaram desafios quanto à trabalhabilidade da mistura, o que demanda estudos adicionais para avaliar possíveis ajustes na relação água/cimento e garantir a qualidade da mistura em contextos de maior substituição.

A inovação relacionada à viabilidade técnica do uso de RCPC em concretos estruturais, observada neste trabalho, demonstra seu potencial para aplicações mais sustentáveis de atividades de construção civil, como em pavimentações e elementos de concreto não estruturais. Recomenda-se, para futuras pesquisas, a investigação de outros parâmetros, como durabilidade, permeabilidade e comportamento a longo prazo, que são fundamentais para garantir a segurança e a adequação do uso de RCPC em larga escala. Além disso, é importante avaliar a viabilidade econômica dessa substituição em diferentes contextos regionais, considerando os custos de coleta, processamento e transporte dos resíduos.

Este estudo buscou contribuir para as pesquisas sobre inovação e sustentabilidade no Brasil, ao investigar o uso de materiais reciclados, como o RCPC, em concretos estruturais. A substituição de recursos naturais por resíduos reciclados tem o potencial de fomentar a inovação na criação de novos materiais, além de fortalecer práticas sustentáveis na construção civil, ao reduzir o uso de matérias-primas e o descarte inadequado de resíduos. Assim, acredita-se que os resultados obtidos estão alinhados aos objetivos de desenvolvimento sustentável, promovendo soluções que respeitam o contexto local e aprimoram tanto a eficiência técnica quanto os benefícios ambientais em aplicações concretas futuras.

REFERÊNCIAS

AMADEI, D. I. B, **Avaliação de Blocos de Concreto para Pavimentação Produzidos com Resíduos de Construção e Demolição do Município de Juranda/PR**. Universidade Estadual de Maringá, Maringá. Dissertação (Mestrado). 147p. 2011.

ÂNGULO, S. C.; JONH, V. M., **Normalização dos Agregados Graúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados para Concretos e a Variabilidade**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002.

BEHERA, M. et al. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. **Construction and Building Materials**, v. 68, p. 501–516, 2014.

HOOD, R. S. S., **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Construção e Demolição como Agregado Miúdo Reciclado na Confecção de Blocos de Concreto para Pavimentação**. 2006. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

OLOFINNADE, O. M.; MANDA, I.; EDE, A. N. Management of construction & demolition waste: barriers and strategies to achieving good waste practice for developing countries. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1036, n. 1, p. 012045, 2021.

ROBALO, K. et al. **Experimental development of low cement content and recycled construction and demolition waste aggregates concrete** **Construction and Building Materials**, 2021.

SHOOSHARIAN, S. et al. **Using recycled construction and demolition waste products: A review of stakeholders' perceptions, decisions, and motivations** **Recycling**, 2020.