AMOSTRAGEM, BENEFICIAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO DE EDIFICAÇÕES DE BAIXA RENDA PARA OBTENÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS

Sampling, processing, and characterization of demolition waste from low-income buildings to obtain recycled aggregates

Karla Kamila Barros Pinheiro
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | karla.pinheiro@ctec.ufal.br

Thauany Alves Pastor
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | thauany.pastor@delmiro.ufal.br

Clovis Veloso de Santana
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | clovis.santana@ctec.ufal.br

Wayne Santos de Assis
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | Wayne.assis@ctec.ufal.br

Paulo César Correia Gomes
Universidade Federal de Alagoas | Maceió, Alagoas | pgomes@ctec.ufal.br

RESUMO

O beneficiamento dos resíduos é fundamental para garantir sua qualidade. O artigo apresenta os processos de amostragem e beneficiamento de resíduos de demolição (RD) para obtenção de agregados reciclados. O RD foi de construções de baixo padrão. Inicialmente, passou por triagem e cominuição primária (RDP), uma amostra representativa foi avaliada. A gravimetria e peneiramento do RDP foram realizados. As propriedades do RDP < 4,75 mm foram avaliadas. Uma cominuição secundária do 4,75 mm < RDP < 25 mm foi realizada, originando agregados miúdos e graúdos, ARSM e ARSG, respectivamente e caracterizados. Na gravimetria, verificou-se baixos níveis de impurezas. Alto teor de finos e argila no ARP (< 4,75 mm) indicou-o inadequado para concreto. A composição do ARSG, apresentou um elevado teor de cerâmica, denominando-o de agregado reciclado misto (ARM). A granulometria e propriedades dos agregados foram satisfatórias. Concluiu-se que o RD, após os processos de beneficiamento, gerou agregados reciclados adequados.

Palavras-chave: Resíduos de Demolição; Amostragem; Beneficiamento; Agregados reciclados.

ABSTRACT

Waste processing is essential to ensure its quality. This article presents the sampling and processing processes of demolition waste (RD) to obtain recycled aggregates. The RD was from low-standard constructions. Initially, it underwent screening and primary comminution (PCR), and a representative sample was evaluated. Gravimetry and sieving of the PCR were performed. The properties of PCR < 4.75 mm were evaluated. A secondary comminution of 4.75 mm < PCR < 25 mm was performed, producing fine and coarse aggregates, ARSM and ARSG, respectively, and characterized. Gravimetry showed low levels of impurities. High content of fines and clay in the PCR (< 4.75 mm) indicated it was unsuitable for concrete. The composition of the ARSG presented a high ceramic content, calling it mixed recycled aggregate (MRA). The granulometry and properties of the aggregates were satisfactory. It was concluded that RD, after the beneficiation processes, generated suitable recycled aggregates.

Keywords: Demolition Waste; Sampling; Beneficiation; Recycled aggregates.

1 INTRODUÇÃO

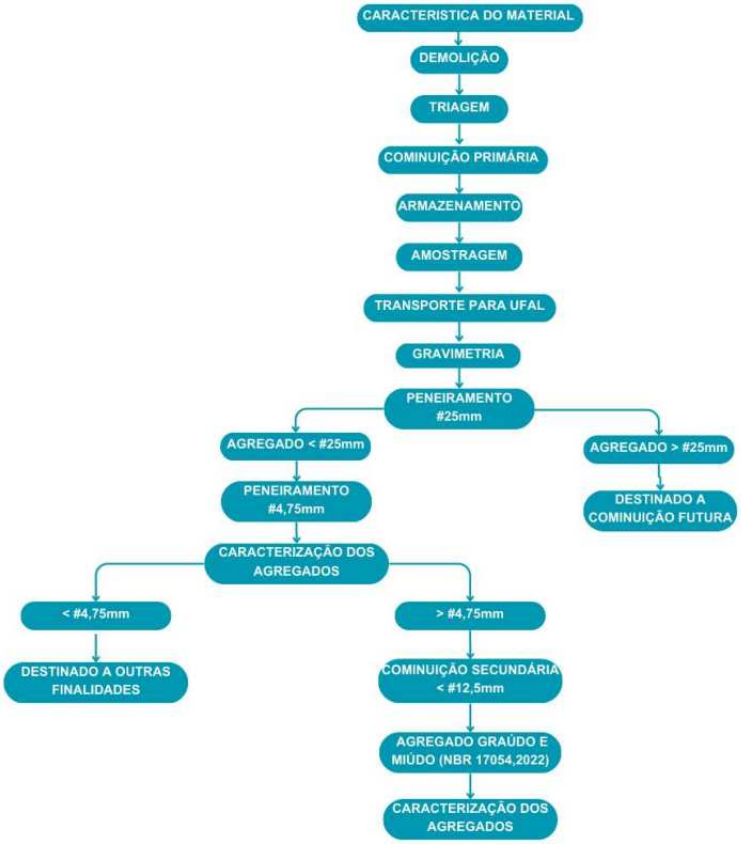
Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), compostos por materiais como tijolos, blocos cerâmicos, argamassa, concreto, madeira e metais (CONAMA, 2011), representam uma alternativa sustentável ao descarte inadequado. Em 2023, o Brasil gerou cerca de 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, sendo 20 milhões provenientes da região Nordeste (ABRELPE, 2024). A geração de RCD é um fenômeno global, e a urbanização, que deve atingir 68% até 2050 (ONU, 2022), aumentará a demanda por construções e resíduos. Esse cenário ressalta a importância de uma gestão responsável e sustentável, com ênfase na reutilização dos RCD como agregados na construção civil.

O beneficiamento do RCD, que inclui triagem, remoção de contaminantes, cominuição e peneiramento (Santos, 2007), é essencial para produzir agregados reciclados de qualidade. A triagem elimina materiais indesejáveis, enquanto a britagem e peneiramento ajustam a granulometria, tornando-a compatível com agregados naturais. A caracterização gravimétrica, conforme a NBR 10.007 (ABNT, 2004), determina os constituintes e seus percentuais em massa e volume. A composição do RCD varia conforme a região, e o processo de beneficiamento deve ser adaptado conforme a aplicação, garantindo a compatibilidade com o elemento construtivo desejado (Malta; Silva; Gonçalves, 2013). Este artigo consiste na apresentação e análise das etapas aplicadas na amostragem, beneficiamento e caracterização do resíduo de demolição (RD) para obtenção de agregados reciclados.

2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada é mostrada no fluxograma, Figura 1, e em seguida cada etapa detalhada.

Figura 1: Fluxograma da metodologia do estudo.



Fonte: Autores, 2025.

2.1 CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL

Os RD, gerados das demolições de residências de baixo padrão, foram obtidos em uma região do município de Maceió, Alagoas, nas áreas A2 e A3 (Figura 2). O RD é composto por paredes de tijolos cerâmicos e maciços, fundações de alvenaria e pedra rachão, coberta em madeiramento e telhas cerâmicas, além de lajes pré-moldadas unidirecionais.

Figura 2: Localização das áreas demolidas geradoras dos resíduos utilizados.



Fonte: Autores, 2025.

2.2 DEMOLIÇÃO, TRIAGEM E COMINUIÇÃO

A demolição das residências foi realizada com uma escavadeira hidráulica equipada com garra hidráulica (Figura 3a), que além de demolir, fazia a triagem, retirando metais, madeira e outros materiais presentes no RD (Figura 3b). O RD foi transportado por caçambas (Figura 3c) para a cominuição primária em um britador de mandíbulas, resultando no resíduo de demolição primário (RDP) (Figura 3d).

Figura 3: Procedimentos: (a) segregação mecanizada; (b) materiais do RD; (c) transporte do RD para cominuição primária; (d) geração de RDP.



Fonte: Autores, 2025.

2.3 TRANSPORTE, ARMAZENAMENTO E AMOSTRAGEM

O RDP foi transportado em 107 caçambas, totalizando 1500 m³, e passou por inspeção visual (Figura 4a). A amostragem seguiu a NBR 16915 (2021), com a área dividida em quatro setores de cerca de 375 m³. Em cada setor, o material foi retirado das pilhas, exceto do topo, com escavadeira de concha de 1 m³ e braço de 5 metros, abrangendo as três camadas (Figura 4b). As pilhas foram escolhidas aleatoriamente.

2.4 TRANSPORTE, GRAVIMETRIA E PENEIRAMENTO

O RDP de cada lote foi transportado para o Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), como pode ser visualizado na Figura 5, ao todo foram três caçambas.

Os RDPs foram separados manualmente, conforme a Resolução n° 431 do CONAMA (2011), em classes A (argamassa, azulejos, blocos cerâmicos, concreto) e B (gesso, madeira, plástico, metais, vidros). Para o

estudo gravimétrico (ABNT NBR 10.007, 2004), o material de maior volume (classe A) foi extraído aleatoriamente e pesado. As impurezas estão na Figura 6, e o RDP isento de contaminantes na Figura 7.

Figura 4: Armazenamento e amostragem: (a) pilhas de RDP; (b) fluxo da amostragem do RDP.

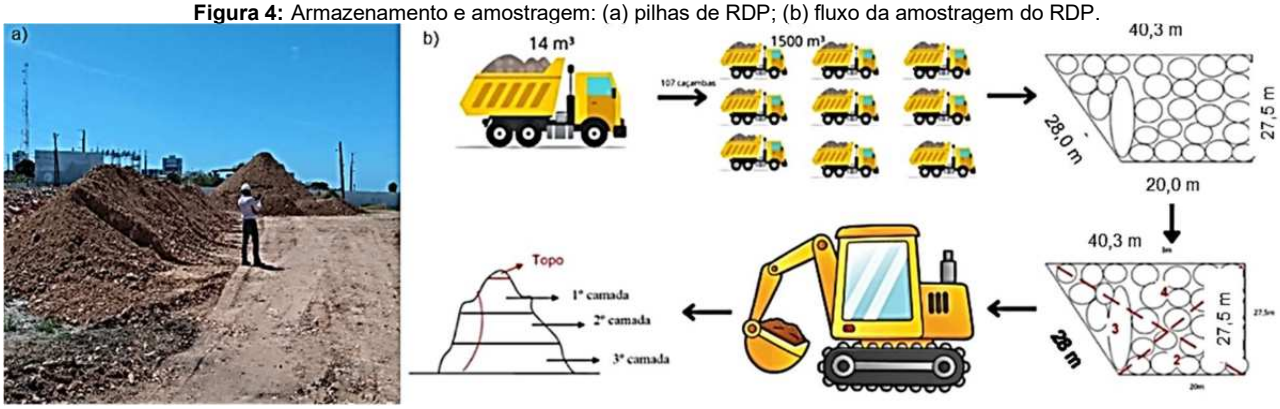


Figura 5: Recebimento do RDP no galpão.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 6: Separação das impurezas: (a) Metais (a1), madeiras e fibras naturais (a2) e plásticos (a3); (b) panos; (c) vidros; (d) gesso e (e) RDP sem impurezas.



Fonte: Autores, 2025.

O estudo gravimétrico determinou o volume de dois lotes de RDPs utilizando a fórmula do volume de um elipsoide, resultando em 29,40 m². O material foi selecionado aleatoriamente, e cada etapa do protocolo experimental foi repetida três vezes para garantir a confiabilidade dos dados. As dimensões do recipiente metálico prismático para armazenagem do material foram 41,88 cm de altura, 27,88 cm de largura e 38,24

cm de comprimento. Três pesagens por fatia de lote foram realizadas, permitindo a determinação da massa unitária e da densidade específica aparente.

O RDP, livre de impurezas, foi passado na peneira de 25 mm. Esse procedimento separou o RDP em duas dimensões: > 25 mm, armazenado para futuras britagens, e < 25 mm, direcionado para a obtenção de agregados reciclados primário (ARP), como mostra a Figura 7.

Figura 7: RDP: (a) retido na peneira de 25 mm; (b) passante na peneira de 25mm - ARP.



(a) (b)

Fonte: Autores, 2025.

O ARP ≤ 25 mm foi peneirado em 4,75 mm, conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022), separando-se em miúdo (≤ 4,75 mm) e graúdo (> 4,75 mm e < 25 mm), conforme Figura 8. Não houve outras separações do miúdo ≤ 0,150 mm. O tempo ideal de peneiramento (30 s) foi definido estatisticamente. Após caracterização, o ARP ≤ 4,75 mm foi descartado por não atender à norma. O ARP > 4,75 mm passou por cominuição secundária para gerar novos agregados aplicáveis em elementos estruturais.

Figura 8: Peneiramento do ARP (< 25 mm) na peneira com abertura de 4,75 mm.



Fonte: Autores, 2025.

2.5 COMINUIÇÃO SECUNDÁRIA PARA OBTENÇÃO DOS AGREGADOS

O ARP (4,75 ≤ ARP ≤ 25 mm) passou por cominuição secundária em britador de mandíbulas (Figura 9a), gerando agregado reciclado secundário (ARS) ≤ 12,5 mm com distribuição adequada para blocos. Após peneiramento em 4,75 mm (Figura 9b), separou-se em miúdo e graúdo, homogeneizados pelo método de Chevron (2012) (Figura 9c). As amostras foram quarteadas conforme a NBR 16915 (ABNT, 2021), com quarteado tipo Jones (Figura 9d), assegurando homogeneidade e volume ideal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 GRAVIMETRIA DO RDP

Na análise gravimétrica foi determinada a densidade (kg/m³) e a massa (kg) do ARP. Assim foi encontrado um valor de 1460,4 kg/m³ e 885 kg, respectivamente. Diante disso, a soma das impurezas (Figura10) presente

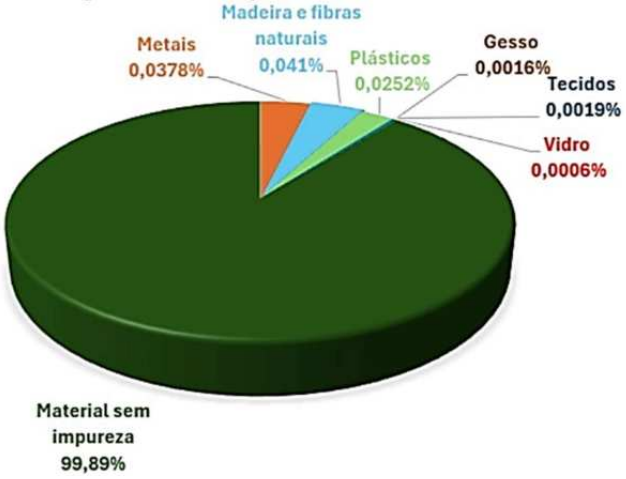
no ARP foram inferiores a 1%, portanto, o material está apto a ser utilizado como agregado reciclado (AR). A análise da composição gravimétrica do resíduo é importante para avaliar a qualidade do resíduo e seu potencial para o uso como agregado reciclado. Assim, esta pesquisa apresentou um teor de material sem impurezas maior do que Lima, Cabral (2013), o qual seu resíduo apresentou 93,4%.

Figura 9: Processos de beneficiamento: (a) cominuição secundária - britador de mandíbulas; (b) separação do ARS em miúdos e graúdos; (c) homogeneização; d) quarteador tipo Jones.



Fonte: Autores, 2025.

Figura 10: Análise gravimétrica do ARP.



Fonte: Autores, 2025.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO ARP ≤ 4,75 mm

A Tabela 1 mostra que o ARP ≤ 4,75 mm não atendeu aos limites normativos para teor de finos e argila, evidenciando elevada presença de materiais pulverulentos e argilosos. Isso indica baixa qualidade para o uso em concreto e argamassas, devido à possível redução da resistência, aumento da porosidade e menor durabilidade.

Tabela 1: Ensaios de caracterização do RDP ≤ 4,75 e limites da NBR 15116 (2021).

	Teor de pulverulento	Absorção de água	Limite Normativo (NBR 15116, 2021)	Teor de argila	Limite Normativo (NBR 15116, 2021)	Massa Unitária (g/cm³)
Agregado miúdo primário	18,5%	8,07%	< 12%	26,05 %	< 3%	1,28

Fonte: Autores, 2025.

O teor de pulverulento e argila excedem os limites normativos, comprometendo a trabalhabilidade e o desempenho do concreto. A cominuição do agregado graúdo reduz partículas indesejáveis e favorece uma distribuição granulométrica mais contínua, sendo, portanto, uma alternativa mais viável para obter material de melhor qualidade.

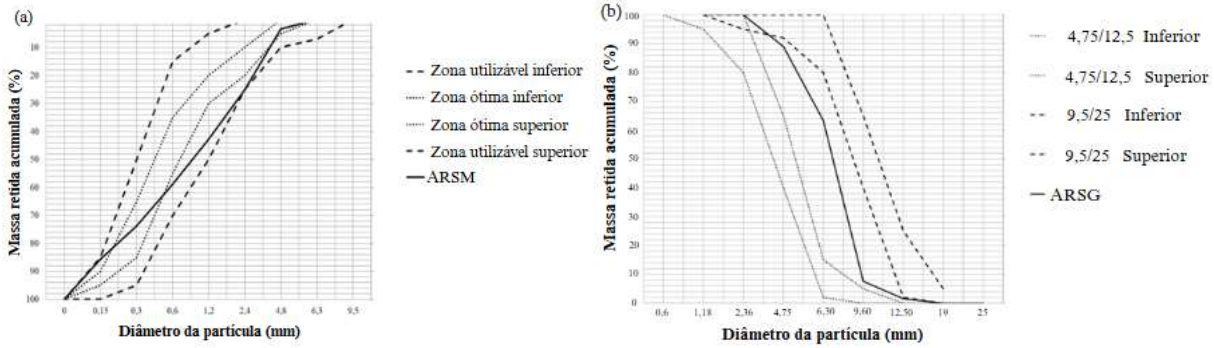
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO ARS

A granulometria dos ARS, miúdos (ARSM) e graúdos (ARSG), obtidos pela cominuição secundária e peneiramento, é apresentada na Figura 11. A análise granulométrica do ARSM mostrou uma dimensão

máxima de 4,75 mm (Figura 14a), com módulo de finura de 2,8, situando-se entre a zona ótima superior e inferior, e a zona utilizável inferior. O ARSG, com dimensão máxima de 9,6 mm (Figura 14b) e módulo de finura de 6,12, se enquadrou parcialmente na zona 4,75/12,5, alcançando a zona inferior 9,25/25 a partir de um diâmetro de aproximadamente 6,3 mm.

Outras propriedades são apresentadas na Tabela 2. Os ARS atenderam às recomendações normativas, comprovando sua viabilidade para uso no concreto. A maior massa unitária do ARSM sugere maior eficiência no empacotamento das partículas. A análise conjunta da massa unitária e da curva granulométrica contínua indica uma combinação granulométrica adequada, tornando o material apropriado para aplicação em elementos de concreto.

Figura 11: Composição granulométrica: (a) ARSM; (b) ARSG.



Fonte: Autores, 2025.

Tabela 2: Ensaios de caracterização do ARS.

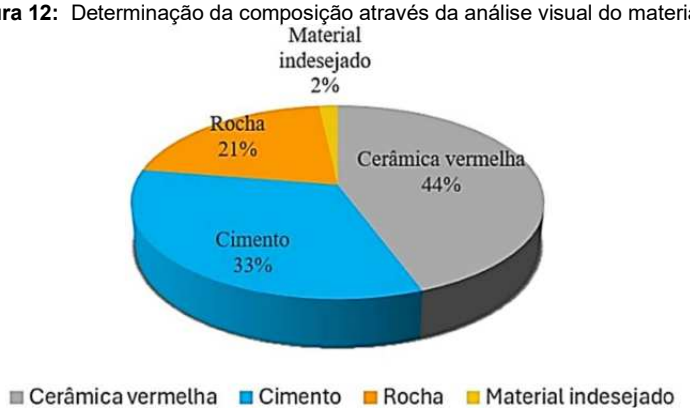
	Teor de pulverulento	Absorção de água	Limite Normativo (NBR 15116, 2021)	Massa Unitária (g/cm³)
ARSM	11,77%	8,36%	< 12%	1,38
ARSG	3,10	10,73%		1,23

Fonte: Autores, 2025.

O teor de finos do ARSM esteve dentro da recomendação normativa, contribuindo para o aumento da absorção de água do material. Isso resultou em um teor de finos significativo e uma absorção de água elevada, em comparação ao ARSG. Assim, ao dosar esse material, é essencial avaliar o quantitativo de água de pré-molhagem, pois o ARSM tende a absorver mais água do que os agregados naturais.

A análise visual do ARSG (Figura 12) confirmou a caracterização do RD, destacando a cerâmica vermelha como material predominante (44%), tipicamente proveniente de alvenaria, tijolos, blocos cerâmicos e telhas de demolições. Segundo Oliveira (2023), o percentual de resíduos cerâmicos influencia diretamente a taxa de absorção de água, afetando propriedades como densidade, absorção de água e resistência mecânica. Esses agregados tendem a apresentar maior porosidade, o que pode impactar negativamente o desempenho do concreto, caso não sejam adotados cuidados específicos em seu uso. Além disso, de acordo com as recomendações normativas, quando a fração cerâmica ultrapassa 30% da composição, o resíduo deve ser classificado como um agregado reciclado misto (ARM).

Figura 12: Determinação da composição através da análise visual do material.



Fonte: Autores, 2025.

4 CONCLUSÕES

A análise gravimétrica mostrou que o RDP apresentou baixo índice de impurezas (menos de 1%), sendo adequado para agregados reciclados no concreto. No entanto, o RDP com granulometria < 4,75 mm foi destinado a outras aplicações, por não atender aos limites normativos de pulverulento e teor de argila. A cominuição secundária gerou ARSM e ARSG, ambos em conformidade com as normas para agregados reciclados. Conclui-se que, após beneficiamento, o RD gerou agregados reciclados com potencial para uso em concretos e/ou argamassas.

REFERÊNCIAS

ANGULO, S.C.; FIGUEIREDO, AD de. Concreto com agregados reciclados. **Concreto: ciência e tecnologia**, v. 1, p. 1731-1767, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2024. ABRELPE. São Paulo, [s. n.]. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 30 de março de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16915**. Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2021.

BORGES, G. F. Produção de blocos de concreto para vedação: análise da viabilidade técnico-econômico da utilização de agregados reciclados. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Resolução CONAMA nº 431, de 17 de julho de 2011. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=305>. Acesso em: 31 de janeiro de 2025.

DIAS, L.I.R.; RAMOS, E. C.; FLORENCIO, O. Aproveitamento de resíduos da construção e demolição (RCD) na fabricação de blocos de concreto sem e com adição de óxido de grafeno. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 1, p. 5972-5989, 2021.

LIMA, A. S. CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). **Artigos Técnico**, v. 18, n. 2, 2013.

MALTA, J. O.; SILVA, V. S.; GONÇALVES, J. P. Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 176-188, 2013.

OLIVEIRA, K. J. de M. Avaliação de agregados reciclados de resíduos de construção civil da cidade de Uberaba. Dissertação. Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 2023.

PASTOR, T.A. Análise da viabilidade do uso de resíduos de construção e demolição para geração de blocos reciclados. 2024. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2024.

PAES, F. R. Estudos de parâmetros que influenciam na resistência à compressão de concretos utilizados na confecção de blocos estruturais. Maceió, 2010. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Alagoas, 2010.

SANTOS, E. C. Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados. (RCD-R) em estruturas de solo reforçado. São Carlos. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, 2007.