XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/113

Reaproveitamento do Resíduo da Lapidação do Granilite na Produção de Tijolos Ecológicos de Solo-Cimento

Arnon Berg Michel de Lima
Mestrando, UFAL, Delmiro Gouveia, Brasil, arnon.lima@campusdosertao.ufal.br

Francisco Aureliano Rocha de Vasconcelos Teixeira
Doutorando, UFV, Viçosa, Brasil, francisco.teixeira@proinfra.ufal.br

Alexandre Nascimento de Lima
Professor, UFAL, Delmiro Gouveia, Brasil, alexandre.lima@ctec.ufal.br

Eduardo Lima de Miranda
Mestrando, UFAL, Delmiro Gouveia, Brasil, eduardo.miranda@campusdosertao.ufal.br

José Tassis Feitosa Santos
Mestrando, UFAL, Delmiro Gouveia, Brasil, jose.feitosa@ctec.ufal.br

RESUMO: A construção civil é uma das principais geradoras de resíduos sólidos no Brasil, sendo o descarte inadequado de seus subprodutos um desafio ambiental crescente. Entre esses resíduos, destaca-se o proveniente da lapidação de pisos graniliticos (RLG), um pó fino e inerte. Este estudo avaliou a viabilidade técnica da incorporação do RLG na produção de tijolos ecológicos de solo-cimento como alternativa sustentável. Foram moldados quatro traços, com proporção solo:cimento de 9:1 e teores de RLG de 0%, 5%, 10% e 15%, em massa relativa ao cimento. As amostras foram curadas por sete dias e submetidas a ensaios de compressão simples, absorção de água, índice de vazios e análise dimensional, conforme normas da ABNT. O RLG atuou como material de preenchimento, promovendo redução do índice de vazios (31,32% a 30,89%) e da absorção de água (18,50% a 18,28%), dentro do limite de 20% da NBR 8491. Observou-se queda progressiva na resistência à compressão (1,56 MPa a 1,31 MPa), abaixo do mínimo exigido para uso estrutural. Conclui-se que o uso de até 10% de RLG é tecnicamente viável para aplicações não estruturais, contribuindo para o reaproveitamento de resíduos finos e para a sustentabilidade na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: Tijolo Ecológico, Resíduo da Construção civil, Geotecnia Ambiental, Sustentabilidade, Solo-Cimento.

ABSTRACT: The construction industry is one of the main generators of solid waste in Brazil, and the improper disposal of its by-products poses an increasing environmental challenge. Among these wastes, granilite polishing waste (RLG), a fine and inert powder, stands out. This study evaluated the technical feasibility of incorporating RLG into the production of soil-cement eco-bricks as a sustainable alternative. Four mixtures were prepared with a fixed soil-to-cement ratio of 9:1 and RLG contents of 0%, 5%, 10%, and 15% by cement mass. Samples were cured for seven days and subjected to unconfined compressive strength, water absorption, void ratio, and dimensional analysis, following ABNT standards. RLG acted as a filler, promoting a reduction in void ratio (from 31.32% to 30.89%) and water absorption (from 18.50% to 18.28%), both within the 20% limit set by NBR 8491. However, a progressive decrease in compressive strength was observed (from 1.56 MPa to 1.31 MPa), below the minimum required for structural use. It is concluded that incorporating up to 10% RLG is technically feasible for non-structural applications, contributing to the reuse of fine waste and promoting sustainability in the construction sector.

KEYWORDS: Eco Brick, Construction Waste, Environmental Geotechnics, Sustainability, Soil-Cement.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais impactantes ambientalmente, devido ao elevado consumo de recursos naturais e à geração significativa de resíduos. A produção de cimento responde por cerca de 8% das emissões globais de CO_2, em decorrência do processo de calcinação do calcário e da queima de combustíveis fósseis (Hossain *et al.*, 2021). Além disso, o resíduo da construção e demolição (RCD) tem aumentado exponencialmente, agravando problemas como saturação de aterros, contaminação de solo e desperdício de recursos minerais (Rosa, Silva e Lafayette, 2023; Mello *et al.,* 2024).

No contexto brasileiro, estima-se que os RCDs representam mais da metade dos resíduos sólidos urbanos, sendo provenientes principalmente de obras residenciais, reformas e ampliações (Almeida *et al.*, 2025; Muniz e Oliveira, 2022). Nesse cenário, torna-se urgente o desenvolvimento de alternativas sustentáveis, que promovam a valorização de resíduos e a redução do uso de recursos não renováveis.

Entre os resíduos pouco estudados está o resíduo da lapidação do granilite (RLG), um pó fino gerado durante o polimento de pisos granilíticos, cuja composição mineral é semelhante à de resíduos de rochas ornamentais, como mármore e granito (Rosa, Silva e Lafayette, 2023; Silva e Nienov, 2022). Estudos apontam que materiais desse tipo, quando incorporados a matrizes cimentícias, podem atuar como filler mineral ou material pozolânico secundário, promovendo maior compacidade, menor absorção de água e, em alguns casos, aumento de resistência mecânica (Silva e Nienov, 2022; Yin *et al.*, 2025).

Paralelamente, os tijolos ecológicos de solo-cimento surgem como uma tecnologia viável e ambientalmente responsável, pois dispensam o processo de queima típico dos tijolos cerâmicos, reduzindo significativamente o consumo energético e as emissões de gases poluentes (Sousa e Tavares, 2023; Wang e Abuel-Naga, 2025). Além disso, esses tijolos permitem o uso de solos locais e a incorporação de resíduos, o que os torna uma alternativa atrativa para habitações de interesse social e construções de baixo impacto (Metzker *et al.*, 2022).

Pesquisas anteriores demonstraram que a substituição parcial de agregados ou do próprio cimento por resíduos finos pode resultar em tijolos com resistência à compressão superior a 2,0 MPa e absorção de água inferior a 20%, atendendo aos requisitos das normas brasileiras NBR 8491 (ABNT, 2012), NBR 8492 (ABNT, 2013) e NBR 10833 (ABNT, 2012). Contudo, o desempenho depende fortemente da dosagem, granulometria e reatividade do resíduo incorporado (Aguiar *et al.*, 2024; Muniz e Oliveira, 2022).

Neste contexto, o presente trabalho investiga a viabilidade técnica da utilização do RLG como aditivo mineral em tijolos ecológicos de solo-cimento. Foram analisadas diferentes proporções do resíduo, com avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos tijolos moldados, em conformidade com normas técnicas da ABNT. A proposta se alinha aos princípios da economia circular, promovendo a valorização de resíduos sólidos e contribuindo para a sustentabilidade na construção civil brasileira.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais Utilizados

Neste estudo, foram empregados três materiais principais para a produção dos tijolos ecológicos:

- Solo: proveniente de jazida no município de Água Branca-AL (Figura 1), classificado como areno-argiloso. Após a coleta, o solo foi seco ao ar livre, destorroado e peneirado em malha de 4,75 mm.



Figura 1. Local da coleta do solo, Autores 2026.

- Cimento Portland: do tipo CP II-F-32, conforme especificações da NBR 16697 (ABNT, 2018), adquirido em estabelecimento comercial da região (Figura 2).



Figura 2. Cimento utilizado, Autores 2026.

- RLG: coletado em obra urbana, com aspecto de pó seco e coloração clara (Figura 3). Apresentou massa específica de 2,46 g/cm³ e índice de finura de 1,6%, características que o qualificam como um resíduo fino inerte, com potencial para atuar como material de enchimento (filler) em composições cimentícias.

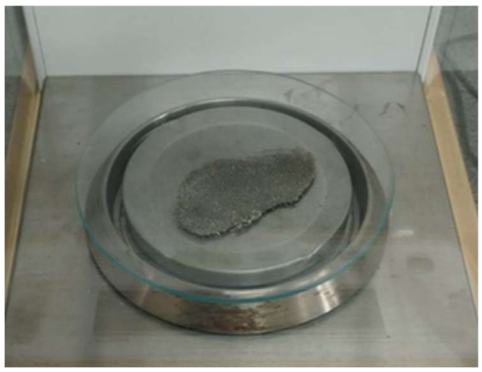


Figura 3. RLG utilizado, Autores 2026.

2.2 Traço e Misturas

Foram elaborados quatro traços com proporções fixas de solo:cimento de 9:1, variando o teor de RLG em relação à massa do cimento: 0% (controle), 5%, 10% e 15%.

A água foi adicionada até obtenção da umidade ótima para prensagem, conforme o método empírico do "teste da bolinha". A homogeneização foi realizada manualmente, garantindo distribuição uniforme dos materiais.

2.3 Moldagem e Cura

Os tijolos foram moldados em prensa manual, com dimensões padrões de 240 mm (comprimento) × 120 mm (largura) × 70 mm (altura), conforme NBR 10833 (ABNT, 2012). A cura foi realizada por aspersão de água duas vezes ao dia durante sete dias, em ambiente coberto e ventilado.

2.4 Ensaios Realizados

Os corpos de prova foram submetidos aos seguintes ensaios:

- Análise dimensional: conforme NBR 8491 (ABNT, 2012);

- Absorção de água: conforme NBR 9778 (ABNT, 2005);
- Índice de vazios: calculado a partir da massa seca, volume aparente e massa específica, NBR 9778 (ABNT, 2005);
- Resistência à compressão simples: conforme NBR 8492 (ABNT, 2012).

Os ensaios foram realizados nos laboratórios do Campus do Sertão e no Laboratório de Engenharia de Materiais (LEMA) do Centro de Tecnologia (CTEC) no Campus AC Simões, ambos da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tijolos ecológicos produzidos com diferentes teores de RLG (0%, 5%, 10% e 15%) foram avaliados quanto às propriedades físicas e mecânicas. Os parâmetros analisados incluíram: dimensões, absorção de água, índice de vazios e resistência à compressão simples, conforme as normas da ABNT.

3.1 Análise Dimensional

Todos os traços atenderam aos requisitos dimensionais estabelecidos pela NBR 8491 (ABNT, 2012), apresentando variações inferiores a ±1 mm nas dimensões de comprimento, largura e altura. A presença do RLG não comprometeu a estabilidade geométrica dos tijolos, indicando compatibilidade dimensional entre os diferentes teores de resíduo e o processo de moldagem.

A Figura 4 apresenta o processo de verificação dimensional dos tijolos, evidenciando a uniformidade obtida nos corpos de prova. Esses resultados demonstram a viabilidade técnica do uso do RLG sem prejuízo à padronização dos elementos, fator essencial para a intercambialidade e o empilhamento adequado em obra.



Figura 4. Análise dimensional dos tijolos ecológicos, Autores 2026.

3.2 Absorção de Água

A absorção de água apresentou leve declínio com o aumento do teor de RLG, variando de 18,50% a 18,28% (Tabela 1). Mesmo com a incorporação do resíduo, todos os traços mantiveram-se abaixo do limite de 20% estabelecido pela NBR 8491 (ABNT, 2012), evidenciando que o RLG não comprometeu o desempenho físico dos tijolos.

Tabela 1. Absorção de água com diferentes teores de RLG, Autores 2026.

Teor de RLG	Absorção média (%)
0%	18,50
5%	18,41
10%	18,32
15%	18,28

Esse comportamento é atribuído ao efeito de empacotamento das partículas finas do RLG, que reduzem a porosidade do sistema. Aguiar *et al.* (2024) relataram tendência semelhante ao utilizar resíduos cerâmicos

em solo-cimento. Yin *et al.* (2025) também destacam que a granulometria fina de materiais inertes favorece a redução da permeabilidade e da absorção de água em matrizes cimentícias.

3.3 Índice de Vazios

O índice de vazios seguiu comportamento similar à absorção, com redução gradual conforme o teor de RLG aumentava, variando de 31,32% a 30,89% (Tabela 2).

Tabela 2. Índice de vazios dos tijolos, Autores 2026.

Teor de RLG	Índice de vazios (%)
0%	31,32
5%	31,15
10%	30,94
15%	30,89

Esse resultado reforça o papel do RLG como material de preenchimento (filler), conforme discutido por Silva e Nienov (2022), Rosa, Silva e Lafayette (2023), indicando melhor empacotamento das partículas e redução do volume de vazios.

3.4 Resistência à Compressão Simples

Os valores de resistência à compressão apresentaram redução progressiva com o aumento do teor de RLG, indo de 1,56 MPa a 1,31 MPa, conforme apresentado na Tabela 3. Nenhum dos traços avaliados atingiu o valor mínimo exigido para uso estrutural (≥ 2,0 MPa), conforme critérios da NBR 8491 (ABNT, 2012). A Figura 5 ilustra o desempenho mecânico de um dos corpos de prova testados.

Tabela 3. Resistência à compressão simples, Autores 2026.

Teor de RLG	Resistência média (MPa)
0%	1,56
5%	1,42
10%	1,35
15%	1,31

Apesar disso, os traços com até 10% de RLG mantiveram resistências superiores a 1,30 MPa, o que pode ser aceitável para aplicações não estruturais, como alvenarias de vedação. Comportamento semelhante foi observado por Metzker *et al.* (2022) e Muniz e Oliveira (2022), que destacam o potencial de resíduos inertes em sistemas de solo-cimento com função de fechamento.

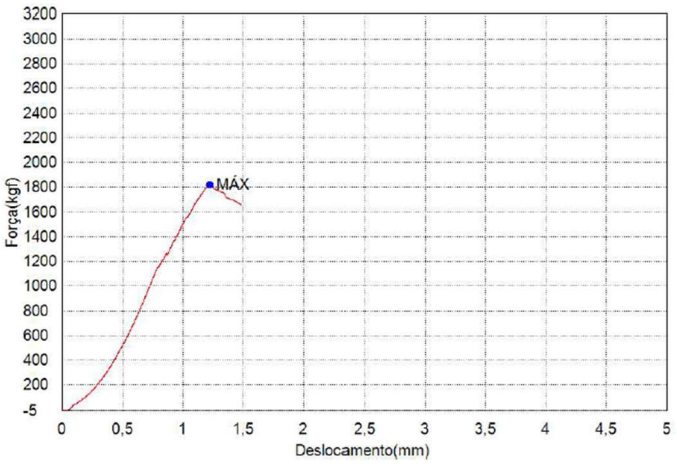


Figura 5. Resistência à compressão simples do tijolo, Autores 2026.

Quintana *et al.* (2024) também relataram perdas mecânicas em teores superiores a 10% de substituição com resíduos minerais. Rosa, Silva e Lafayette (2023) obtiveram melhores desempenhos ao utilizar resíduos de mármore e granito, porém com tempo de cura de 28 dias, o que ressalta a influência do período de hidratação no desenvolvimento da resistência. No presente estudo, o tempo de cura de 7 dias pode ter limitado esse ganho, aspecto a ser aprofundado em futuras investigações.

3.5 Análise Técnica Integrada

A incorporação do RLG promoveu reduções discretas na absorção de água e no índice de vazios dos tijolos. A absorção variou de 18,50% para 18,28%, enquanto o índice de vazios reduziu de 31,32% para 30,89%, correspondendo a variações inferiores a 2%. Esses resultados indicam que o resíduo exerceu efeito de preenchimento (filler), contribuindo para um melhor empacotamento das partículas. Entretanto, do ponto de vista tecnológico, tais reduções podem ser consideradas pouco expressivas, uma vez que não resultaram em alterações significativas no desempenho físico do material.

Apesar disso, os resultados confirmam o potencial do RLG como material de preenchimento em matrizes de solo-cimento, comportamento semelhante ao observado por Silva e Nienov (2022) e Rosa, Silva e Lafayette (2023), que também verificaram redução da porosidade e melhoria da compacidade em sistemas contendo resíduos minerais finos. A literatura aponta ainda que a utilização de materiais pozolânicos ou estabilizantes pode potencializar esses efeitos e contribuir para o desenvolvimento da resistência mecânica (Yin et al., 2025).

O teor de cimento adotado (10%) encontra-se dentro da faixa recomendada para tijolos ecológicos de solo-cimento (Leonel *et al.*, 2017; Sousa e Tavares, 2023). Estudos demonstram que ajustes na relação cimento/resíduo, bem como a utilização de aditivos reativos, podem melhorar o desempenho mecânico e a durabilidade dos blocos (Metzker *et al.*, 2022; Yin *et al.*, 2025).

Embora o RLG apresente granulometria fina e comportamento semelhante ao relatado para resíduos minerais ricos em sílica na literatura, não foram observados indícios de contribuição pozolânica significativa nas condições estudadas. Dessa forma, seu principal mecanismo de atuação está associado ao preenchimento dos vazios da matriz, diferentemente de materiais como sílica ativa ou cinza volante, que podem participar das reações de hidratação e contribuir para o ganho de resistência (Yin *et al*., 2025).

Em contrapartida, a resistência à compressão apresentou redução de aproximadamente 16% entre o traço de referência e o traço contendo 15% de RLG. Resultado semelhante foi relatado por Quintana *et al.* (2024), que observaram perdas mecânicas associadas ao aumento do teor de resíduos minerais em composições de solo-cimento. Assim, os ganhos físicos observados não foram suficientes para compensar a redução do desempenho mecânico.

Dessa forma, a incorporação de até 10% de RLG demonstra viabilidade técnica para aplicações não estruturais, especialmente em elementos de vedação e construções de baixo impacto. Essa viabilidade está associada principalmente aos benefícios ambientais proporcionados pelo reaproveitamento de um resíduo de difícil destinação, contribuindo para a redução do descarte inadequado, para a economia circular e para a sustentabilidade da construção civil, conforme discutido por Almeida *et al.* (2025); Morselli, Quadro e Andreazza (2025) e Wang e Abuel-Naga (2025).

4 CONCLUSÕES

Este estudo avaliou a influência da adição do resíduo da lapidação do granilite (RLG) em tijolos ecológicos de solo-cimento, considerando propriedades físicas e mecânicas.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que:

- A incorporação do RLG promoveu reduções discretas na absorção de água (≈1,2%) e no índice de vazios (≈1,4%), indicando efeito de preenchimento das partículas finas, porém sem alterações substanciais no comportamento físico dos tijolos.
- Todos os traços atenderam ao limite normativo de absorção de água (< 20%), mesmo com 15% de RLG;
- A resistência à compressão foi inversamente proporcional ao teor de RLG, com valores entre 1,56 MPa (0%) e 1,31 MPa (15%), inferiores ao mínimo exigido para fins estruturais (2,0 MPa);

- Embora os resultados mecânicos não tenham atendido aos critérios normativos estabelecidos para tijolos de solo-cimento, a incorporação de até 10% de RLG promoveu redução de aproximadamente 13% na resistência à compressão em relação ao traço de referência, sem alterações significativas nos parâmetros físicos avaliados. Dessa forma, os resultados indicam potencial de aplicação do resíduo em sistemas não estruturais, desde que estudos complementares sejam realizados para otimização da dosagem e aumento da resistência mecânica;
- O uso do RLG representa uma alternativa ambientalmente vantajosa, promovendo a valorização de resíduos finos da construção civil e o alinhamento com os princípios da economia circular e da sustentabilidade.

Os resultados obtidos devem ser analisados considerando algumas limitações experimentais. O período de cura adotado foi de apenas sete dias, inferior aos 28 dias normalmente utilizados para avaliação definitiva de materiais cimentícios. Além disso, não foram realizados ensaios estatísticos inferenciais para verificar a significância das diferenças observadas entre os traços. Dessa forma, recomenda-se cautela na extrapolação dos resultados e a realização de estudos complementares envolvendo maiores tempos de cura, maior número de amostras e análises estatísticas robustas.

Por fim, recomendamos como temas para trabalhos futuros:

- Avaliação da durabilidade dos tijolos sob ciclos de molhagem/secagem;
- Investigar tempos de cura superiores (28 dias);
- Testar combinações do RLG com aditivos pozolânicos ou estabilizantes químicos;
- Análise de viabilidade econômica e ambiental por meio de Análise de Ciclo de Vida (ACV);
- Estudos em escala piloto para produção em maior volume.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Engenharia de Materiais (LEMA/CTEC/UFAL) pela parceria na realização dos ensaios de compressão e aos laboratórios do Campus do Sertão da UFAL pela infraestrutura para caracterização dos materiais e preparação das amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Amanda de Oliveira; CERQUEIRA, Niander Aguiar; ALEXANDRE, Jonas; ALMEIDA, Mayara Silva de (2024). Inovação sustentável na construção: tijolos de solo-cimento melhorados com resíduo cerâmico reciclado. *Revista Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 13, p. 1-24. https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-344

ALMEIDA, Mayara Silva de; CERQUEIRA, Niander Aguiar; MELO, João Pedro de Oliveira; BARRETO, Marcelo Neves; SOUZA, Victor Barbosa de; MADALENA, Jonathan de Andrade Paula (2025). Solo-cimento como alternativa sustentável: o papel da UENF na inovação e redução de impactos ambientais na construção civil. *Revista Caderno Pedagógico*, v. 22, n. 7, p. 1-23. https://doi.org/10.54033/cadpedv22n7-307

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 8491: *Tijolo de solo-cimento — Requisitos*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 8492: *Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). NBR 9778: *Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 10833: *Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018). NBR 16697: *Cimento Portland — Requisitos*. Rio de Janeiro.

HOSSAIN, Md. Uzzal; XUAN, Dongxing; NG, S. Thomas; AMOR, Bem (2021). Designing sustainable partition wall blocks using secondary materials: A life cycle assessment approach. *Journal of Building Engineering*, v. 43. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103035

LEONEL, R. F.; FOLGUERAS, M. V.; DALLA VALENTINA, L. V. O.; PRIM, S. R.; PRATES, G. A.; CARASCHI, J. C. Characterization of soil-cement bricks with incorporation of used foundry sand. *Cerâmica*, v. 63, n. 367, p. 329–335. https://doi.org/10.1590/0366-69132017633672131

MELLO, Giane Alves; FERRARINI, Suzana Frighetto; CAETANO, Marcelo Oliveira; PACHECO, Fernanda (2024). Matrizes cimentícias com o uso de resíduos de construção e demolição para redução do impacto ambiental de blocos de pavimentação. *Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes*, v. 12, n. 37, p. 143–161. https://doi.org/10.17271/23178604123720245240

METZKER, Stefânia Lima Oliveira; SABINO, Ticyane Pereira Freire; MENDES, Juliana Farinassi; RIBEIRO, André Geraldo Cornélio; MENDES, Rafael Farinassi (2022). Soil-cement bricks development using polymeric waste. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, p. 21034-21048. https://doi.org/10.1007/s11356-021-16769-z

MORSELLI, Luiza Beatriz Gamboa Araújo; QUADRO, Maurízio Silveira; ANDREAZZA, Robson (2025). Sustainable stabilized compressed earth blocks from construction and demolition waste. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 30, e20240112. https://doi.org/10.1590/S1413-415220240112

MUNIZ, Eduardo Ramos; OLIVEIRA, Lorena Alves de (2022). Propriedades mecânicas de tijolos ecológicos formulados com resíduos de construção civil. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 8, p. 60016–60030. https://doi.org/10.34117/bjdv8n8-333

QUINTANA, Luíse Lence; FLORES, Wladimir Hernández; SILVA, Sabrina Neves da; GALIO, Alexandre Ferreira (2024). Aproveitamentos de resíduos da construção civil na produção de tijolos solo-cimento. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 9, p. 1–28. https://doi.org/10.55905/oelv22n9-042

ROSA, Joedy Mayara de Souza Santa; SILVA, Rayane Gabriella Pereira da; LAFAYETTE, Kalinny Patricia Vaz (2023). Sustainable Alternative for the Production of Soil Cement Bricks. *Journal of Management and Sustainability*, v. 13, n. 1, p. 45–58. https://doi.org/10.5539/jms.v13n1p45

SILVA, Eliziane da; NIENOV, Fabiano Alexandre (2022). Estudo de solo-cimento com a incorporação de resíduo proveniente do beneficiamento secundário de rochas ornamentais. *Conhecimento em Construção*, v. 9, p. 135–158. https://doi.org/10.18593/cc.v9.30068

SOUSA, Luís Ribeiro de; TAVARES, Felipe Fernando da Costa (2023). Tijolo de solo-cimento com resíduos sólidos: Uma oportunidade para construção de casas populares em Macapá, AP. *Cerâmica Industrial*, v. 28, n. 1, e022801. https://doi.org/10.4322/cerind.2022.011

WANG, Yuxin (Justin); ABUEL-NAGA, Hossam (2025). Unfired bricks from wastes: A review of stabiliser technologies, performance metrics, and circular economy pathways. *Buildings*, v. 15, p. 1861. https://doi.org/10.3390/buildings15111861

YIN, Xiaosan; RAHMAN, Md Mashiur; SUN, Yuzhou; ZHAO, Yi; WANG, Jian (2025). Sustainable soil–cement composites with rice husk ash and silica fume: A review of performance and environmental benefits. *Materials*, v. 18, 2880. https://doi.org/10.3390/ma18122880