XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8778

Avaliação do uso de finos de resíduos de concreto na estabilização de materiais de construção à base de solo

Evaluation of the use of fine concrete waste in the stabilization of soil-based construction materials

Priscila Alves da Silva Machado
UFMG|Belo Horizonte|Brasil|priscilamachadojm@hotmail.com
Sofia Araújo Lima Bessa
UFMG|Belo Horizonte|Brasil| sofiabessa@ufmg.br
Carina Ulsen
Escola Politécnica da USP|São Paulo| carina.ulsen@usp.br
Maria Teresa Paulino Aguilar
UFMG|Belo Horizonte|Brasil| teresa@ufmg.br

Resumo

O presente estudo avaliou o uso de finos de resíduos de concreto como alternativa de baixo carbono ao cimento *Portland* na estabilização de solos destinados à construção. Foram produzidas três misturas: solo natural, solo com finos reciclados e solo com 5% de estabilizante. As amostras foram caracterizadas por meio de ensaios de compactação e de resistência à compressão simples. Os resultados indicaram que os finos reciclados promoveram leve alteração na compactação e pequeno aumento na resistência em relação ao solo natural, enquanto o solo-cimento apresentou melhor desempenho mecânico. Nenhuma das misturas atingiu 2,0 MPa em blocos de terra comprimida, embora todas tenham superado 1,3 MPa em taipa de pilão. Conclui-se que os finos reciclados têm potencial para uso em materiais à base de solo, contribuindo para a sustentabilidade da construção civil, embora ajustes de dosagem ainda sejam necessários.

Palavras-chave: Resíduos de concreto. Construção em terra. Blocos de terra comprimida. Taipa pilão. Sustentabilidade.

Abstract

This study evaluated the use of fine particles from concrete waste as a low-carbon alternative to Portland cement for soil stabilization in construction materials. Three mixtures were produced: natural soil, soil with fine concrete waste (FCW), and soil-cement, all with 5% stabilizer content. The samples were characterized through compaction and unconfined compressive strength tests. The results indicated that FCW caused slight changes in compaction behavior and a small increase in strength compared to natural soil, whereas the soil-cement mixture showed better mechanical performance. None of the mixtures met the 2.0 MPa requirement for compressed earth blocks, although all exceeded the 1.3 MPa minimum for rammed earth samples. It was concluded that FCW has potential for use in soil-based construction materials, contributing to sustainability in the construction sector, although mix design adjustments are still required.

Keywords: Concrete waste. Earth construction. Compressed earth blocks. Rammed Earth. Sustainability.

Como citar:
MACHADO, P. A. S. et al. Avaliação do uso de finos de resíduos de concreto na estabilização de materiais de construção à base de solo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8778

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é reconhecida como uma das atividades que mais geram resíduos sólidos em escala global, entre os quais o resíduo de concreto tem grande representatividade. O acúmulo inadequado desses materiais acarreta impactos ambientais significativos, como a ocupação de aterros e a degradação de áreas naturais. De acordo com [1] um dos principais contribuintes para as mudanças climáticas globais é a produção e o descarte de resíduos, especialmente devido às emissões de gases de efeito estufa associadas ao ciclo de vida dos materiais. Nesse sentido, tem sido de grande interesse a investigação da reutilização de resíduos de concreto como alternativa sustentável, principalmente na forma de materiais finos de concreto reciclado. Estudos recentes demonstram que esses materiais podem ser incorporados a matrizes geotécnicas, contribuindo para a melhoria das propriedades mecânicas do solo e para a redução do consumo de materiais convencionais [2] e [3].

Nesse contexto, a reciclagem de resíduos de concreto tem sido amplamente investigada como estratégia para promover a economia circular na construção civil. Entre os produtos obtidos nesse processo, destacam-se os finos de concreto reciclado, que apresentam potencial de aplicação em sistemas geotécnicos e em materiais cimentícios. Estudos recentes demonstram que a incorporação desses finos pode modificar a distribuição granulométrica dos materiais, melhorar o empacotamento das partículas e influenciar as propriedades mecânicas e hidráulicas de misturas à base de solo [2,3]. Além disso, pesquisas sobre blocos de terra comprimida indicam que materiais reciclados a partir de resíduos de concreto podem contribuir para a redução do consumo de cimento Portland e da pegada de carbono associada à estabilização desses elementos construtivos [4].

Os blocos de terra comprimida (BTC) constituem uma opção construtiva de baixo impacto ambiental, caracterizada pelo uso predominante de solo e pelo consumo energético reduzido em sua produção. Entretanto, a suscetibilidade à ação da água e a limitada resistência mecânica de determinados solos frequentemente tornam necessária a utilização de agentes estabilizantes, sendo o cimento Portland um dos materiais mais empregados para essa finalidade. Contudo, a produção de BTC para uso como elemento de vedação não requer elevados valores de resistência à compressão. Apesar da comprovada eficiência do cimento na melhoria das propriedades mecânicas e de durabilidade dos BTC, sua produção está associada a elevados impactos ambientais, especialmente devido às emissões de dióxido de carbono.

Embora diversos estudos tenham investigado o uso de resíduos de construção e demolição em materiais de construção, ainda são limitadas as pesquisas que avaliam especificamente a utilização de finos de concreto reciclado como alternativa de baixo carbono ao cimento Portland na estabilização de misturas destinadas à produção de BTC. Dessa forma, permanece a necessidade de compreender como a incorporação desses finos influencia parâmetros geotécnicos fundamentais, tais como a compactação e a resistência mecânica, bem como sua viabilidade como material estabilizante.

Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo analisar o uso de finos reciclados provenientes de resíduos de concreto como um potencial substituto, de baixo carbono, do cimento Portland na estabilização de blocos de terra comprimida (BTC).

Para isso, avaliou-se a viabilidade técnica do material por meio da análise de seu comportamento de compactação e de sua influência sobre a resistência mecânica à compressão axial dos blocos produzidos. Os resultados obtidos permitem discutir o potencial de aplicação desses finos reciclados em sistemas construtivos, com ênfase no desempenho mecânico e na valorização dos resíduos da construção civil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAS

Os finos de resíduos de concreto (FRC) foram obtidos a partir da britagem de resíduos provenientes de usinas de reciclagem localizadas no estado de São Paulo, conforme procedimento de separação desenvolvido por [5]. Posteriormente, o material foi submetido ao processo de peneiramento, sendo utilizada exclusivamente a fração passante na peneira de 0,075 mm, caracterizada como fração fina do resíduo de concreto reciclado.

A caracterização química das amostras do FRC foi realizada por fluorescência de raios X em espectrômetro da marca Malvern Panalytical, modelo Zetium. A Perda ao Fogo (PF) foi realizada a 1.020 °C por 2 h (Tabela 1). A massa específica do FRC foi determinada por picnometria por intrusão de gás hélio, com valor de 2,601 g/cm³.

Tabela 1: Análise química - FRC

Elemento	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	PF
FRC (%)	37,00	9,28	2,91	<0,10	3,07	23,90	0,54	1,87	0,44	0,13	21,00

Fonte: os autores.

O solo utilizado foi caracterizado como solo residual, coletado na região de estudo, previamente seco ao ar, destorroado e peneirado para remoção de partículas grosseiras. O cimento *Portland* empregado foi do tipo CP V-ARI, devido à ausência de adição mineral e à elevada resistência inicial, sendo adequado à produção de componentes pré-moldados.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O solo foi inicialmente preparado de acordo com a ABNT NBR 6457:2024, que estabelece os procedimentos para preparação de amostras destinadas a ensaios de caracterização, compactação e determinação do teor de umidade [6].

A análise granulométrica, abrangendo as frações grossa e fina, foi realizada conforme a ABNT NBR 7181:2025 [7]. A determinação da massa específica dos grãos seguiu a ABNT NBR 6458:2025 [8]. Já os limites de consistência foram determinados por meio dos ensaios de limite de liquidez e de limite de plasticidade, conforme as normas ABNT NBR 6459:2025 [9] e ABNT NBR 7180:2025 [10], respectivamente.

Esses ensaios permitiram a classificação adequada do solo e a avaliação de suas propriedades geotécnicas, fornecendo subsídios para a análise do seu comportamento quando submetido à estabilização com cimento Portland e com finos reciclados de

resíduos de concreto. Na Tabela 2, são apresentadas as características físicas do solo estudado.

Tabela 2: Características Físicas do Solo

Caracterização granulométrica	Valores
D10 (mm)	0,001
D30 (mm)	0,030
D60 (mm)	0,18
Coeficiente de uniformidade (Cu = D60/D10)	180
Coeficiente de curvatura (Cc = $D30^2$ / (D10·D60))	2,8
Massa especifica	2,656
Limites de Atterberg	Valores
Limite de liquidez	43%
Limite de plasticidade	36%
Índice de Plasticidade	7%

Fonte: os autores.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DAS MISTURAS

Para este estudo, foram produzidas três misturas de compósitos de solo para aplicação em blocos de terra comprimida (BTC): (i) solo residual natural, utilizado como material de referência; (ii) solo estabilizado com cimento Portland do tipo CP V; e (iii) solo estabilizado com finos provenientes de resíduos de concreto (FRC). Para as misturas estabilizadas, adotou-se um teor de 5% em massa de estabilizante em relação ao solo seco, tanto para o cimento *Portland* quanto para o FRC [11].

A Tabela 3 apresenta a composição das misturas empregadas na produção das amostras analisadas, com as proporções dos materiais constituintes estabelecidas com base em suas respectivas massas.

Tabela 3: Composição das misturas de solo para produção das amostras

Mistura	**Solo (g)**	**Cimento *Portland* (CP V- ARI) (g)**	**Finos de resíduo de concreto (FRC)**	**Teor de estabilizante (%)**
Solo	3000	0	0	0
Solo + CP V	3000	150	0	5
Solo + FRC	3000	0	150	5

Fonte: os autores.

Os compósitos foram produzidos por meio da mistura manual dos materiais secos, seguida da adição gradual de água até a obtenção da umidade adequada para moldagem. O procedimento de preparo das misturas seguiu as diretrizes estabelecidas pela NBR 12254 (ABNT, 2013), que trata da execução de base de solo-cimento [12].

As misturas foram caracterizadas por meio de ensaios geotécnicos e mecânicos, visando avaliar seu comportamento quanto à compactação e à resistência. Inicialmente, realizou-se o ensaio de compactação, com auxílio de um compactador mecânico, conforme a ABNT NBR 7182:2025, adotando-se energia de compactação intermediária, com o intuito de determinar a umidade ótima de cada traço [13]. Com base nesses resultados, foram moldados corpos de prova cilíndricos para o ensaio de resistência à compressão simples, de acordo com as diretrizes das normas ABNT NBR 12024:2012 e NBR 12025:2012 [14] e [15].

Os corpos de prova foram confeccionados com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, sendo posteriormente submetidos à cura úmida em recipientes fechados, a fim de evitar a perda de umidade e assegurar condições adequadas para o desenvolvimento da resistência mecânica das misturas. Após a cura, os corpos de prova foram imersos em água por quatro horas, secos superficialmente, medidos e capeados antes da realização dos ensaios de compressão simples.

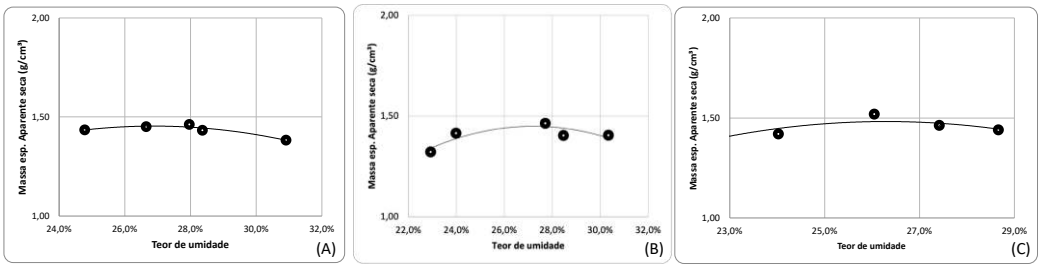
Os ensaios de compressão simples foram realizados em prensa hidráulica universal normalizada, Shimadzu, modelo AG-IC, adotando-se velocidade de carregamento de 1 mm/min. Para cada mistura, três corpos de prova foram ensaiados, o que permitiu obter valores médios representativos do comportamento mecânico. O carregamento foi aplicado até a ruptura dos corpos de prova, conforme preconizado pela ABNT NBR 12025:2012 [15].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

Os resultados obtidos no ensaio de compactação permitiram avaliar o comportamento das diferentes misturas quanto à relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca. A partir desses ensaios, foram traçadas as curvas de compactação do solo natural e das misturas estabilizadas, possibilitando a identificação da umidade ótima e da densidade seca máxima de cada composição. A comparação entre as curvas evidencia as alterações no comportamento do material em função da adição de estabilizantes, permitindo analisar o efeito dos finos reciclados e do cimento Portland sobre as propriedades geotécnicas do solo, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Curvas de compactação das misturas analisadas: (A) solo natural; (B) solo com adição de finos de concreto reciclado; (C) solo com adição de cimento.



Fonte: os autores.

Os resultados do ensaio de compactação indicaram variações no comportamento das misturas em função da adição de estabilizantes. O solo natural apresentou um teor de umidade ótima de 28% e massa específica seca máxima de 1,46 g/cm³. Para a mistura contendo finos de concreto reciclado, observou-se uma leve redução no teor de umidade ótima, para 27,7%, mantendo-se praticamente inalterada a massa específica seca máxima, também igual a 1,46 g/cm³.

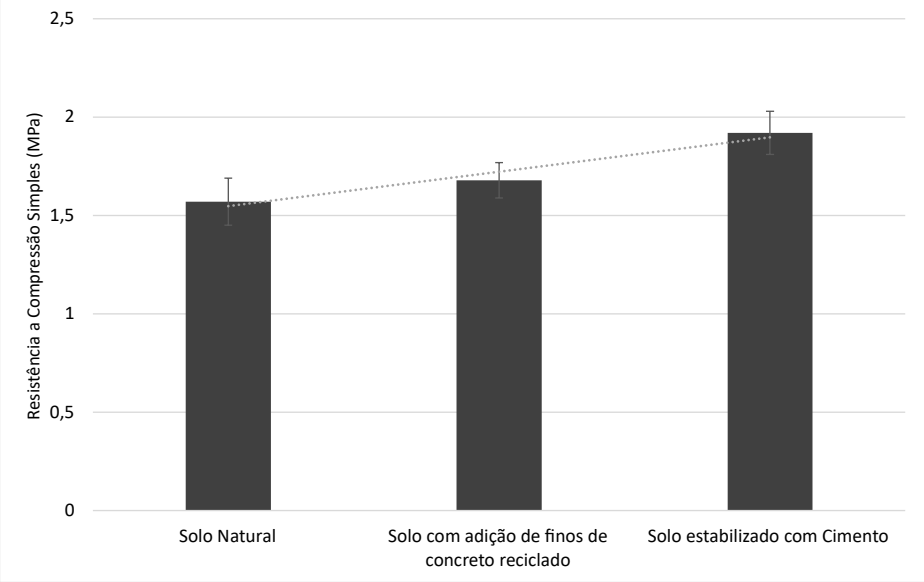
Por outro lado, a mistura solo-cimento apresentou redução mais expressiva no teor de umidade ótima, atingindo 26%, associada a um aumento da massa específica seca máxima para 1,52 g/cm³. Esse resultado indica uma melhoria no arranjo das partículas e maior eficiência na compactação, possivelmente devido à ação do cimento como

agente fíler, o que promove um melhor preenchimento dos vazios e maior coesão entre as partículas. Em geral, as três misturas apresentaram valores de compactação semelhantes entre si.

3.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples permitiram avaliar o comportamento mecânico das diferentes misturas analisadas. A partir dos ensaios, foram determinados os valores médios de resistência para cada composição, possibilitando a comparação entre os diferentes traços. A análise dos resultados evidencia a influência das variações na composição das misturas sobre a resistência dos corpos de prova, permitindo avaliar o desempenho mecânico dos materiais estudados, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Análise dos valores de resistência à compressão obtidos aos 14 dias.



Nota: As barras representam os valores médios obtidos a partir de três corpos de prova e as barras de erro correspondem ao desvio padrão dos resultados. Fonte: os autores.

Os valores médios de resistência à compressão simples obtidos para as misturas avaliadas foram de 1,57 ± 0,12 MPa para o solo natural, 1,68 ± 0,09 MPa para o solo com adição de finos de concreto reciclado e 1,92 ± 0,11 MPa para o solo-cimento. Os coeficientes de variação observados foram de 7,37%, 5,39% e 5,71%, respectivamente, indicando baixa dispersão dos resultados e boa repetibilidade dos ensaios realizados. Observa-se que a incorporação de FRC promoveu um ganho modesto de resistência em relação ao solo natural. Em termos percentuais, esse incremento corresponde a um aumento de resistência de aproximadamente 7,0% em relação ao solo natural. Já o solo-cimento apresentou um ganho mais expressivo, da ordem de 22,3%, evidenciando a contribuição mais efetiva do aglomerante para a melhoria do desempenho mecânico. A mistura solo-cimento apresentou o maior valor de resistência, evidenciando o efeito da cimentação promovida pelo aglomerante, que contribui para a formação de ligações mais rígidas entre as partículas e, consequentemente, para maior capacidade resistente.

Resultados semelhantes foram observados em estudos que avaliaram blocos de terra comprimida estabilizados com cimento Portland e materiais cimentícios reciclados provenientes de resíduos de concreto [4]. Os autores verificaram que a estabilização promoveu aumentos significativos na resistência mecânica em comparação aos blocos não estabilizados, com os maiores valores obtidos para as misturas contendo cimento Portland. Adicionalmente, os blocos estabilizados com materiais reciclados derivados de resíduos de concreto apresentaram desempenho inferior ao dos produzidos com cimento Portland, comportamento atribuído à maior porosidade e à demanda de água das misturas.

Quando comparados aos critérios normativos referentes a materiais constituídos predominantemente de solo, verifica-se que todos os valores obtidos atendem ao requisito mínimo estabelecido pela ABNT NBR 17014:2022, que define resistência mínima de 1,3 MPa para aplicações em taipa de pilão. Entretanto, ao se considerar o limite estabelecido pela ABNT NBR 8492:2013 para blocos de terra comprimida (2,0 MPa), nenhuma das misturas atingiu o valor normativo, embora o solo-cimento tenha apresentado desempenho mais próximo desse patamar [15] e [16].

Adicionalmente, observa-se a necessidade de obtenção de uma massa específica mais elevada, fator diretamente relacionado ao ganho de resistência mecânica. Para isso, pode ser necessário ajustar a curva granulométrica do solo, buscando uma melhor distribuição de partículas e redução dos vazios. Além disso, recomenda-se investigar a variação do teor de aglomerante, tanto de resíduo quanto de cimento, bem como avaliar o comportamento das misturas em idades superiores a 28 dias, a fim de verificar possíveis ganhos tardios de resistência.

Dessa forma, os resultados indicam que as misturas estudadas são tecnicamente viáveis para aplicações em taipa de pilão, especialmente a partir do solo natural e do solo com resíduos reciclados, enquanto o solo-cimento demonstra maior potencial estrutural, embora ainda seja insuficiente para atender integralmente aos requisitos de blocos de terra comprimida segundo a norma vigente.

4.CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que a incorporação dos finos reciclados promoveu um discreto aumento da resistência à compressão simples em relação ao solo natural, indicando potencial de aplicação como material complementar para estabilização. Entretanto, o desempenho obtido foi inferior ao observado para a mistura estabilizada com cimento Portland, que apresentou os maiores valores de resistência mecânica e de massa específica seca máxima.

Como principal contribuição, o estudo fornece informações experimentais sobre o comportamento geotécnico e mecânico de misturas de solo estabilizadas com finos reciclados de concreto, um tema ainda pouco explorado na literatura para aplicação em BTC. No entanto, os resultados devem ser analisados considerando algumas limitações, como a avaliação de apenas um teor de estabilizante (5%), de uma única idade de cura (14 dias) e a ausência de ensaios complementares de durabilidade, de absorção de água e de comportamento microestrutural.

Por fim, recomenda-se que pesquisas futuras investiguem diferentes teores de finos reciclados, períodos de cura mais longos e propriedades relacionadas à durabilidade, de modo a ampliar a compreensão do potencial de utilização desses materiais em sistemas construtivos à base de solo.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, ao Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia (ETG) e ao Centro Tecnológico da Universidade do Estado de Minas Gerais pelo apoio institucional, infraestrutura e suporte técnico essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Declaração sobre o uso de IA generativa

Durante a preparação deste artigo, a primeira autora utilizou o ChatGPT (OpenAI, GPT-5.5) para a revisão gramatical, aprimoramento da redação e melhoria da coesão textual do manuscrito. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] CHUA, Y. S.; RAHARDJO, H.; SATYANAGA, A. Structured soil mixture for solving deformation issue in GeoBarrier System. *Transportation Geotechnics*, v. 33, p. 100727, 2022.

[2] ABISHEV, R.; SATYANAGA, A.; GUNEY, M.; LIM, A.; KIM, J. Use of steel slag and recycled concrete in GeoBarrier system for slope stabilization. *Frontiers in Built Environment*, v. 11, p. 1598714, 2025.

[3] SANEI, M. et al. Utilizing recycled concrete aggregate fines as co-additives in low-carbon cement for problematic soil stabilization. *Transportation Research Record*, 2025.

[4] RANESI, A.; CRUZ, R.; SOUSA, V.; BOGAS, J. A. Energy consumption and carbon emissions of compressed earth blocks stabilized with recycled cement. *Materials*, v. 18, n. 17, p. 4194, 2025.

[5] ULSEN, C.; KAHN, H.; HAWLITSCHEK, G.; MASINI, E. A.; ANGULO, S. C. Separability studies of construction and demolition waste recycled sand. *Waste Management*, Oxford, v. 33, n. 3, p. 656-662, 2013

[6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:2024**. *Solos — Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade*. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

[7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:2025**. *Solo — Análise granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458:2025**. *Solos — Determinação da massa específica dos sólidos, da massa específica aparente e da*

absorção de água da fração retida na peneira com abertura de 2,0 mm. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459:2025**. *Solos — Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:2025**. *Solo — Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaios*. 3. ed. atual. rev. São Paulo: ABCP, 1986. 57 p. (Estudo Técnico ET-35).

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12254:2013**. *Solo-cimento — Execução de base de solo-cimento — Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182:2025**. *Solos — Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024:2012**. *Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

[15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025:2012**. *Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

[16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17014:2022**. *Taipa de pilão — Requisitos, procedimentos e controle*. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492:2012**. *Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.