RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO COM RESÍDUOS DE PET

Compressive strength and absorption of soil-cement blocks with PET waste

Bianka Dayana Sueldo Alvarez
Universidad Privada del Valle | Tiquipaya, Cochabamba | biankasueldoalvarez@gmail.com

Marialaura Herrera Rosas
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | marialaura.rosas@aluno.ufop.edu.br

Nahúm Gamalier Cayo Chileno
Universidade Federal de Lavras | Lavras, Minas Gerais | nahum.cayo.chileno@gmail.com

Joaquin Humberto Aquino Rocha
Universidad Mayor de San Simón | Cochabamba, Bolivia | joaquinaquinorocha@gmail.com

Resumo

A incorporação de resíduos na construção civil é uma alternativa promissora para reduzir impactos ambientais e promover a economia circular. Neste estudo, avaliou-se o efeito da adição de PET reciclado (0,5%, 1,0% e 1,5% em volume) nas propriedades mecânicas e físicas de blocos de solo-cimento. Foram analisadas a resistência à compressão e a absorção de água. Os resultados mostraram que a incorporação de 1,0% e 1,5% de PET aumentou moderadamente a resistência à compressão, devido à sua capacidade de restringir a propagação de fissuras. Além disso, observou-se uma redução significativa na absorção de água, associada à natureza hidrofóbica do PET, que melhora a compactação da matriz. No entanto, teores elevados podem comprometer a uniformidade do material. Os resultados indicam que o uso de PET reciclado pode ser uma alternativa sustentável para a produção de blocos de solo-cimento, contribuindo para a reutilização de resíduos plásticos na construção civil.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Reciclagem de polímeros; Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The incorporation of waste materials in civil construction is a promising alternative to reduce environmental impact and promote a circular economy. This study evaluated the effect of adding recycled PET (0.5%, 1.0%, and 1.5% by volume) on the mechanical and physical properties of soil-cement blocks, focusing on compressive strength and water absorption. The results showed that incorporating 1.0% and 1.5% PET moderately increased compressive strength by limiting crack propagation. Additionally, a significant reduction in water absorption was observed, attributed to PET's hydrophobic nature, which enhances matrix densification. However, higher PET contents may compromise material uniformity. The findings indicate that recycled PET can be a sustainable alternative for producing soil-cement blocks, contributing to plastic waste reuse in construction.

Keywords: Sustainability; Polymer recycling; Mechanical properties.

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais da construção civil tem impulsionado a busca por materiais alternativos mais sustentáveis (Sangmesh *et al*., 2023). Os blocos de solo-cimento se destacam como uma solução viável, pois utilizam matérias-primas locais e apresentam menor consumo energético em comparação com materiais convencionais (Kariyawasam, Jayasinghe, 2016; Islam *et al*., 2020). Além disso, sua composição permite a incorporação de resíduos recicláveis, contribuindo para a redução da poluição ambiental e a promoção da economia circular (Bogas *et al*., 2019; Thennarasan Latha *et al*., 2023).

Dentre os resíduos passíveis de incorporação, o polietileno tereftalato (PET) reciclado tem ganhado destaque devido à sua ampla disponibilidade e propriedades que podem influenciar o desempenho dos blocos (Metzker *et al*., 2022). Estudos indicam que a adição de PET pode impactar diretamente a resistência à compressão e a absorção de água, fatores essenciais para a durabilidade e viabilidade estrutural dos blocos (Silva *et al*., 2021). No entanto, a influência da quantidade de PET na matriz cimentícia ainda não é completamente compreendida, tornando necessário um estudo mais detalhado.

Neste contexto, o presente trabalho investiga o efeito da incorporação de diferentes teores de PET reciclado (0,5%, 1,0% e 1,5% em volume) nas propriedades mecânicas e físicas dos blocos de solo-cimento. O objetivo é avaliar se a presença de PET pode melhorar o desempenho do material, especialmente em termos de resistência à compressão e absorção de água, garantindo sua aplicabilidade na construção civil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

O solo utilizado veio de Tiquipaya, Cochabamba, Bolívia, com remoção da matéria orgânica superficial. A análise granulométrica seguiu a norma ASTM D6913 (ASTM, 2009), e os limites de Atterberg foram determinados conforme a ASTM D4318 (ASTM, 2018). O ensaio de compactação Proctor Estândar foi realizado segundo a ASTM D698 (ASTM, 2021) para o solo e suas misturas. O cimento usado foi do tipo IP-40, classificado como Portland-puzolana segundo a ASTM C595 (ASTM, 2010). O resíduo de PET utilizado neste estudo é proveniente da reciclagem de garrafas PET pós-consumo, fornecido por uma empresa local de reciclagem (Bolivia). O material foi previamente limpo, triturado e classificado, apresentando forma predominantemente lamelar e dimensões variando entre 0,3 e 10 mm. Sua morfologia foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com um equipamento HITACHI TM 3000.

2.2 PRODUÇAO DOS BLOCOS

Os blocos de solo-cimento foram produzidos com 10% de cimento Portland e adição de PET reciclado em diferentes proporções volumétricas: 0,0% (referência), 0,5%, 1,0% e 1,5%. A quantidade de água foi ajustada conforme a umidade ótima obtida no ensaio de compactação Proctor. A proporção solo-cimento de 90:10 seguiu recomendações da literatura (Metzker *et al*., 2022). A Figura 1 ilustra o processo de fabricação dos blocos com resíduos de PET. Os materiais foram pesados e misturados mecanicamente para homogeneização. A moldagem dos blocos, de 12,5×25×7,5 cm, foi feita com uma prensa manual tipo Lego. Conforme a literatura (Rocha *et al*., 2021), a cura ocorreu em laboratório, com umedecimento por 7 dias e secagem sobre lona plástica para evitar contato com o solo até os ensaios.

2.3 MÉTODOS DE ENSAIO

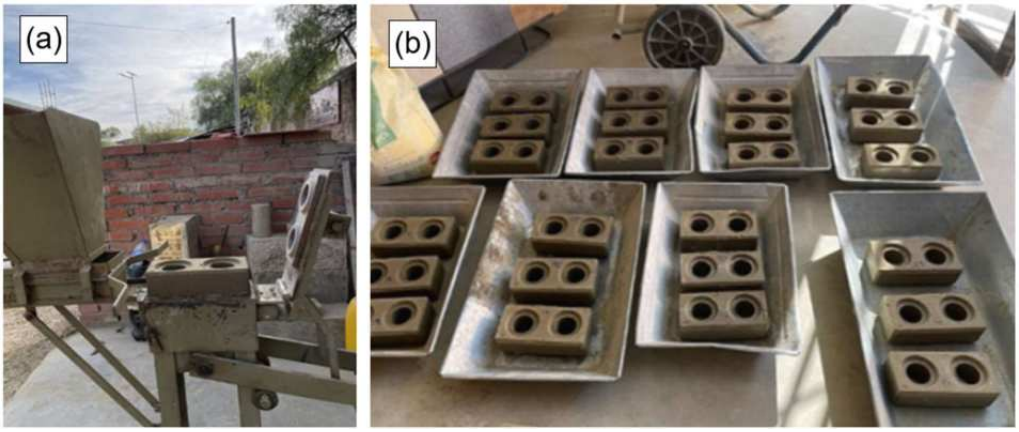
A resistência à compressão foi avaliada aos 7, 28 e 56 dias, com quatro blocos para cálculo da média e desvio padrão. Os ensaios foram realizados em uma prensa universal AUTOMAX (Controls Group), conforme a NBR 8492 (ABNT, 2012). Aos 28 dias, analisou-se a microestrutura dos blocos e sua aderência ao PET por microscopia eletrônica de varredura (HITACHI TM 3000).

A absorção de água também foi avaliada conforme a NBR 8492 (ABNT, 2012), usando quatro blocos em cada idade e aplicando a equação 1.

$$A = \frac{m_1 - m_2}{m_2} x100 \quad (1)$$

Onde A é a absorção de água (%), m_1 a massa seca (g) e m_2 a massa saturada (g).

Figura 1: (a) prensa manual e (b) produção de blocos.

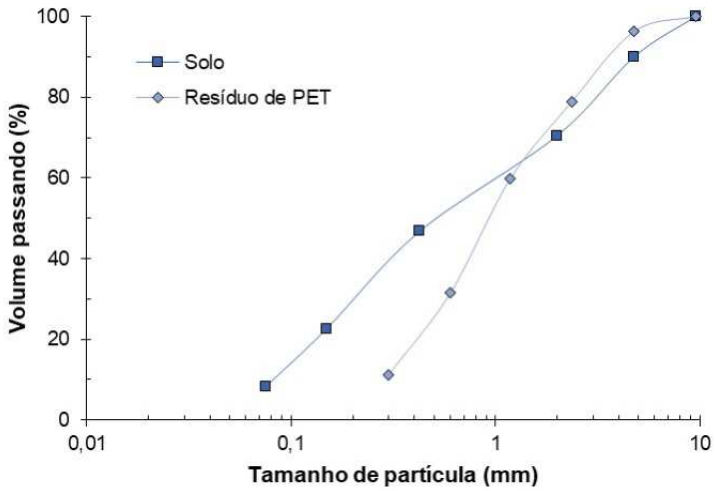


3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS E MISTURAS

A Figura 2 compara a distribuição granulométrica do solo e dos resíduos de PET. O solo apresenta uma quantidade significativa de partículas finas (argilas e siltes), além de uma fração de partículas mais grossas (areias), caracterizando-o como um material granular com presença relevante de finos. Em contraste, o PET exibe uma distribuição predominantemente composta por partículas mais grossas. Embora o PET reciclado apresente morfologia majoritariamente lamelar, a análise por peneiramento foi utilizada para caracterizar o intervalo dimensional das partículas incorporadas à matriz. Ainda que essa técnica não represente com precisão a geometria das partículas, sua aplicação fornece uma referência inicial para compreender a interação físico-mecânica entre os componentes da mistura.

Figura 2: Granulometria do solo e do resíduo de PET

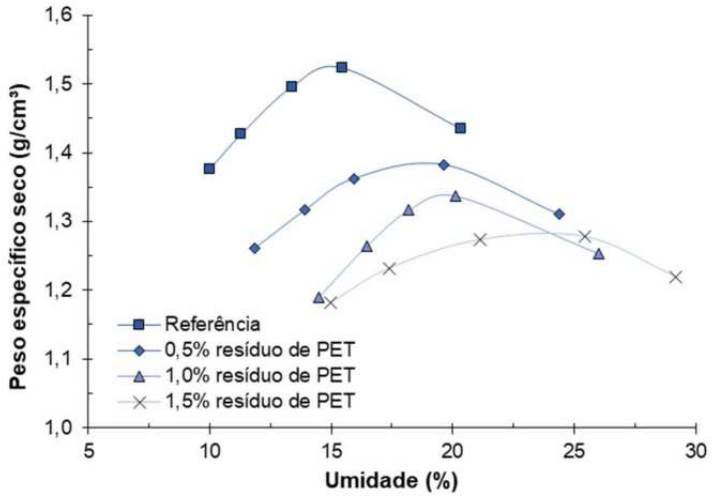


Fonte: Autores.

Os limites de Atterberg indicaram um limite líquido de 32%, limite plástico de 22,20% e índice de plasticidade de 9,80%, classificando o solo como de baixa a média plasticidade, com pouca presença de argila. Essa característica é coerente com sua granulometria, que apresenta partículas finas e grossas. Segundo a classificação USCS (ASTM, 2020), o solo é um limo arenoso ou argila limosa de baixa plasticidade, sendo coeso e pouco suscetível a variações volumétricas por umidade, o que favorece seu uso na construção (Budhu, 2015). Sua coesão natural e baixa plasticidade contribuem para a formação de uma matriz sólida e estável, essencial para a durabilidade dos blocos de solo-cimento (Elahi *et al*., 2021).

A Figura 3 e a Tabela 1 mostram os resultados do ensaio de compactação Proctor. A mistura de referência (sem PET) atingiu o maior peso específico seco, com 1,52 g/cm³, a uma umidade ótima de 15,45%. As misturas com PET apresentaram menor peso específico seco máximo, com o pico de densidade ocorrendo em um teor de umidade maior do que na referência.

Figura 3: Teste de compactação Proctor



Fonte: Autores.

Tabela 1: Valores máximos do teste de compactação Proctor Estândar

Mistura	Peso específico seco máximo (g/cm³)	Umidade ótima (%)
Referência	1,52	15,45
0,5%	1,38	19,64
1%	1,34	20,12
1,5%	1,28	25,43

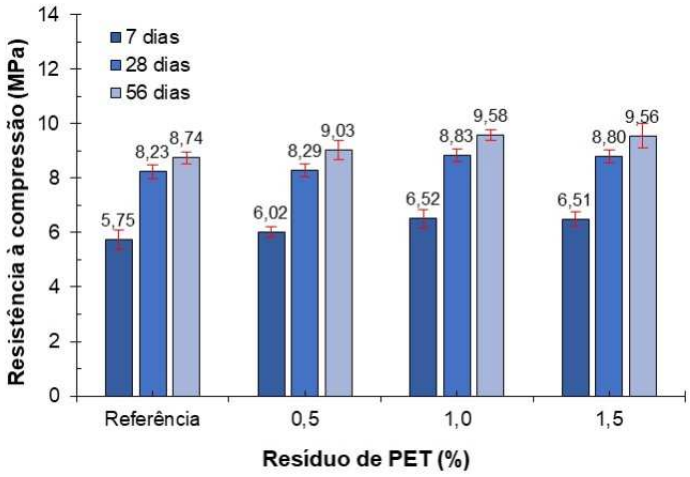
Fonte: Autores.

A adição de PET nas misturas reduz a densidade seca máxima, pois as partículas de PET, sendo menos densas que o solo e o cimento Portland, formam uma estrutura menos compacta ao ocupar espaço na matriz. Além disso, devido à natureza hidrofóbica do PET, que tem baixa afinidade com a água, o aumento de seu conteúdo eleva a demanda de água necessária para atingir a densidade máxima (Metzker *et al*., 2022), explicando a mudança para uma umidade ótima maior. A inclusão de partículas maiores de PET não só diminui a densidade de compactação, mas também afeta a uniformidade da matriz, reduzindo a densidade seca máxima.

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão dos blocos aumentou com a incorporação de resíduos de PET, especialmente nas formulações com 1,0% e 1,5% em volume (Figura 5).

Figura 5: Resistência à compressão de blocos de solo-cimento com PET



A mistura com 0,5% apresentou um acréscimo inferior a 5% em todas as idades avaliadas (7, 28 e 56 dias), sem significância estatística. Em contraste, as formulações com 1,0% e 1,5% demonstraram ganhos estatisticamente significativos, evidenciando a contribuição positiva do PET reciclado para o desempenho mecânico dos blocos. Esse aumento pode ser atribuído, em parte, ao maior teor de água nas misturas com PET (Figura 3), que favorece a hidratação do cimento e a formação de uma matriz mais coesa (Silva *et al*.,

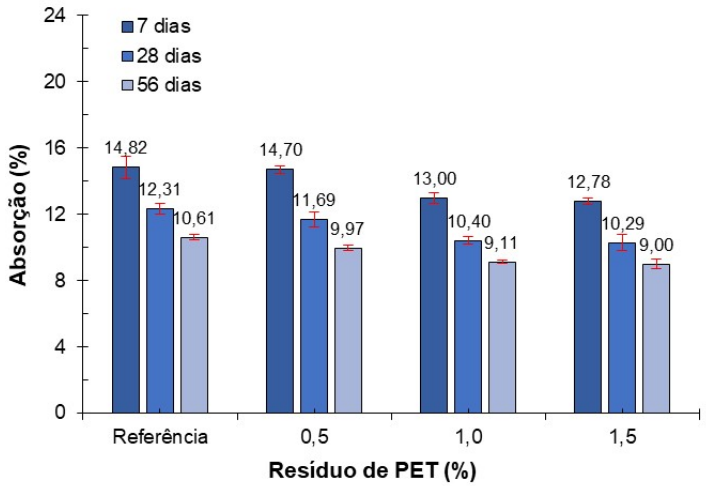
2021). Além disso, as partículas de PET podem atuar como elementos de travamento físico (efeito *bridging*), preenchendo vazios e limitando a propagação de microfissuras sob carga — fenômeno também relatado em materiais cimentícios reforçados com fibras poliméricas (LU *et al*., 2023). Esse efeito é mais evidente nas formulações com 1,0% e 1,5%, nas quais a concentração de partículas é suficiente para promover reforço interno sem comprometer a compacidade da mistura.

As formulações com 1,0% e 1,5% de PET atenderam às normas NBR 10834 (ABNT, 2013), NTC 5324 (Icontec, 2004) e UNE 41410 (Aenor, 2008), apresentando resistências superiores a 6 MPa aos 28 dias. Já a mistura com 0,5% de PET mostrou um aumento inferior a 5% na resistência, sem significância estatística. Todos os blocos superaram 2 MPa aos 7 dias, atendendo aos requisitos normativos para uso na construção civil. Destaca-se que os blocos desenvolvidos neste estudo são destinados à alvenaria de vedação, conforme os limites de aplicação definidos pelas normas. Essa escolha está alinhada à proposta de sustentabilidade do trabalho, ao promover o reaproveitamento de resíduos sem comprometer o desempenho mecânico mínimo exigido.

3.3 ABSORÇÃO

Os blocos com adição de PET reciclado apresentaram redução significativa na absorção de água em relação à mistura de referência (Figura 6). Aos 7 dias, a formulação sem PET apresentou absorção de 14,82%, enquanto a com 1,5% de PET reduziu esse valor para 12,78%. Aos 56 dias, a diferença foi ainda mais evidente, com 10,29% para a referência e apenas 9,00% para a mistura com 1,5% de PET. Essa redução pode ser atribuída à natureza hidrofóbica do PET, que contribui para o preenchimento dos vazios e dificulta a penetração de água na matriz, resultando em menor porosidade e maior eficiência da hidratação (VILELA *et al*., 2020; QAIDI *et al*., 2022). Além disso, o PET forma uma barreira física que limita a conectividade dos poros, favorecendo a durabilidade dos blocos em ambientes úmidos. Como apontado por Askar *et al*. (2023), esse comportamento pode contribuir para reduzir danos por ciclos de secagem e umedecimento, além de melhorar a estabilidade dimensional dos blocos.

Figura 6: Absorção de blocos de solo-cimento com PET



Ademais, a menor porosidade contribui para a estabilidade dimensional dos blocos, sendo um aspecto favorável para aplicações em regiões com variações climáticas significativas. Os resultados também indicam que a hidratação do cimento é preservada, permitindo a formação de uma matriz cimentícia mais densa e uniforme (ASKAR *et al*., 2023; ZHONG *et al*., 2024). Esse comportamento de menor absorção é particularmente relevante em blocos para alvenaria de vedação, nos quais a resistência à umidade influencia diretamente na durabilidade da edificação e no conforto térmico e higrotérmico. Assim, os resultados reforçam a viabilidade do uso de PET reciclado em aplicações não estruturais, configurando uma alternativa sustentável e funcional para sistemas de vedação na construção civil.

4 CONCLUSÕES

A incorporação de PET reciclado influenciou significativamente as propriedades mecânicas e físicas dos blocos de solo-cimento, demonstrando potencial para aplicações sustentáveis na construção civil. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que:

- A adição de PET nas proporções de 1,0% e 1,5% resultaram em um aumento moderado da resistência à compressão, atendendo aos requisitos normativos para uso na construção. Esse ganho é atribuído à capacidade do PET de atuar como reforço, limitando a propagação de fissuras na matriz cimentícia. No entanto, teores mais elevados podem reduzir a densidade da mistura e comprometer o desempenho mecânico.
- Os blocos com PET apresentaram menor absorção de água, especialmente nas formulações com 1,0% e 1,5%. Esse comportamento está associado à natureza hidrofóbica do PET, que reduz a porosidade do material e favorece a hidratação do cimento.

Os resultados confirmam que o uso de PET reciclado pode contribuir para o aprimoramento da resistência e durabilidade dos blocos, além de reduzir sua absorção de água. Contudo, a quantidade incorporada deve ser cuidadosamente controlada para evitar efeitos negativos na integridade da matriz. Estudos futuros devem explorar a influência de diferentes tamanhos e formas das partículas de PET, bem como seus impactos a longo prazo nas propriedades do material.

Vale destacar que este estudo concentrou-se na resistência à compressão e absorção de água. Propriedades como a trabalhabilidade da mistura e o desempenho em ambientes agressivos não foram abordadas nesta etapa, sendo recomendadas para pesquisas futuras a fim de ampliar a compreensão do comportamento dos blocos com PET.

Embora tenham sido avaliados apenas baixos teores de PET, a hipótese de que concentrações mais elevadas possam comprometer o desempenho mecânico baseia-se em tendências observadas e na literatura. No entanto, essa hipótese ainda carece de validação experimental, o que reforça a necessidade de estudos adicionais com maiores teores de adição.

REFERÊNCIAS

AENOR. UNE 41410, Compressed Earth Blocks for Walls and Partitations; Definitions, Specifications and Test Methods; **Asociación Española de Normalización y Certificación:** Madrid, Spain, 2008.

American Society for Testing and Materials. ASTM C595-08a, Standard Specification for Blended Hydraulic Cements; **American Society for Testing and Materials:** West Conshohocken, PA, USA, 2010. 10.1520/C0595-08A

American Society for Testing and Materials. ASTM D2487-17, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System); **American Society for Testing and Materials:** West Conshohocken, PA, USA, 2020

American Society for Testing and Materials. ASTM D4318-17e1, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils; **American Society for Testing and Materials:** West Conshohocken, PA, USA, 2017. 10.1520/D4318-17E01

American Society for Testing and Materials. ASTM D6913-04(2009)e1, Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis; **American Society for Testing and Materials:** West Conshohocken, PA, USA, 2009. 10.1520/D6913-04R09E01

American Society for Testing and Materials. ASTM D698-12, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3)); **American Society for Testing and Materials:** West Conshohocken, PA, USA, 2021. 10.1520/D0698-12R21

ASKAR, Mand Kamal; AL-KAMAKI, Yaman SS; HASSAN, Ali. Utilizing polyethylene terephthalate PET in concrete: a review. **Polymers**, v. 15, n. 15, p. 3320, 2023. doi: https://doi.org/10.3390/polym15153320

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10834: Bloco De Solo-Cimento Sem Função Estrutural—Requisitos; **Associação Brasileira de Normas Técnicas:** Rio de Janeiro, Brasil, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8492: Tijolo De Solo Cimento—Análise Dimensional, Determinação Da Resistência à Compressão E Da Absorção De Água–Método De Ensaio; **Associação Brasileira de Normas Técnicas:** Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

BOGAS, J. Alexandre; SILVA, Miguel; GLÓRIA GOMES, M. Unstabilized and stabilized compressed earth blocks with partial incorporation of recycled aggregates. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 13, n. 4, p. 569-584, 2019. doi: https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1442891

BUDHU, Muniram. **Soil mechanics fundamentals**. John Wiley & Sons, 2015.

DA SILVA, Tulane Rodrigues et al. Technological characterization of PET—polyethylene terephthalate—added soil-cement bricks. **Materials**, v. 14, n. 17, p. 5035, 2021. doi: https://doi.org/10.3390/ma14175035

ELAHI, Tausif E.; SHAHRIAR, Azmayeen Rafat; ISLAM, Mohammad Shariful. Engineering characteristics of compressed earth blocks stabilized with cement and fly ash. **Construction and Building Materials**, v. 277, p. 122367, 2021. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122367

ICONTEC. NTC 5324: Bloques de Suelo Cemento Para Muros y Divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de Entrega; ICONTEC: Bogota, Colombia, 2004.

ISLAM, Mohammad Shariful et al. Effectiveness of fly ash and cement for compressed stabilized earth block construction. **Construction and Building Materials**, v. 255, p. 119392, 2020. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119392

KARIYAWASAM, KKGKD; JAYASINGHE, C. Cement stabilized rammed earth as a sustainable construction material. **Construction and Building Materials**, v. 105, p. 519-527, 2016. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.189

LU, Cong et al. Investigation on performance of engineered cementitious composites (ECC) based on surface modification of PET fibers using graphene oxide (GO) and polydopamine (PDA). **Construction and Building Materials**, v. 368, p. 130343, 2023. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130343

METZKER, Stefânia Lima Oliveira et al. Soil-Cement bricks development using polymeric waste. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-15, 2022. doi: https://doi.org/10.1007/s11356-021-16769-z

QAIDI, Shaker et al. Investigation of the effectiveness of CFRP strengthening of concrete made with recycled waste PET fine plastic aggregate. **PloS one**, v. 17, n. 7, p. e0269664, 2022. doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269664

ROCHA, Joaquin Humberto Aquino et al. Compressive strength assessment of soil–cement blocks incorporated with waste tire steel fiber. **Materials**, v. 15, n. 5, p. 1777, 2022. doi: https://doi.org/10.3390/ma15051777

SAFI, Brahim et al. The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties. **Construction and Building Materials**, v. 43, p. 436-442, 2013. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.049

SANGMESH, B. et al. Development of sustainable alternative materials for the construction of green buildings using agricultural residues: A review. **Construction and Building Materials**, v. 368, p. 130457, 2023. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130457

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. Effect of incorporation of grits waste on the densification behavior of soil-cement bricks. **Cerâmica**, v. 61, n. 360, p. 414-419, 2015. doi: https://doi.org/10.1590/0366-69132015613601917

THENNARASAN LATHA, Abinaya; MURUGESAN, Balasubramanian; THOMAS, Blessen Skariah. Compressed stabilized earth block incorporating municipal solid waste incinerator bottom ash as a partial replacement for fine aggregates. Buildings, v. 13, n. 5, p. 1114, 2023. doi: https://doi.org/10.3390/buildings13051114

VILELA, Alan Pereira et al. Technological properties of soil-cement bricks produced with iron ore mining waste. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120883, 2020. doi: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120883

ZHONG, Chuheng et al. Research on Capillary Water Absorption Characteristics of Modified Recycled Concrete under Different Freeze–Thaw Environments. **Applied Sciences**, v. 14, n. 3, p. 1247, 2024. doi: https://doi.org/10.3390/app14031247