

## ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE TIJOLOS SOLO-CIMENTO PENSADOS COM A INCORPORAÇÃO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS

Jordan Cunha Marchiori (\*), Antonio Carlos Barbosa Zancanella 2, Rômulo Maziero 3, Juan Carlos Campos Rubio 4

\* Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES. jordan\_cunha@hotmail.com

### RESUMO

Uma crescente demanda por recursos naturais e os elevados índices de poluição têm pressionado o setor da construção civil no desenvolvimento e uso de recursos sustentáveis. Como alternativa ao setor, os tijolos solo-cimento têm se mostrado promissor na redução dos impactos ambientais no processo produtivo impulsionados pelo ramo. Nesta vertente, este trabalho teve por objetivo confeccionar tijolos vazados de solo-cimento com incorporação de materiais alternativos, como cal, pó de rocha e resíduo de mármore, avaliando as propriedades físicas e mecânicas desses produtos. Para tal, foram realizados ensaios granulométricos e limites de consistência nas amostras contendo solo e solo com adição de cal, pó de rocha e resíduo de mármore, além do ensaio de massa específica para a amostra de solo. Em adição, foram preparados tijolos contendo as composições citadas anteriormente adicionando 12,5% de cimento. Após o processo de prensagem manual e cura por 28 dias, as amostras foram submetidas aos ensaios de análise dimensional, resistência à compressão simples e absorção de água. Os resultados indicaram que as adições de pó de rocha e resíduo de mármore reduziram os índices de plasticidade do solo, além de promover melhores propriedades mecânicas como redução da absorção de água e aumento da resistência à compressão simples, conforme a ABNT NBR 8491:2012. No entanto, a adição de cal no tijolo solo-cimento aumentou a porosidade do produto, não atendendo a norma citada. Apesar de atender aos requisitos da norma, os resultados indicaram propriedades mecânicas inferiores a amostra de solo, não apresentando benefícios em sua incorporação ao tijolo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo-cimento, Resíduo de mármore, Pó de rocha, Cal, Sustentabilidade.

### INTRODUÇÃO

A construção civil tem desempenhado um importante papel econômico e social, sendo um dos principais setores da economia brasileira. No entanto, o setor vem ocasionando um grande impacto e degradação do meio ambiente durante todas as etapas da cadeia produtiva, principalmente na extração de matérias-primas e a geração de resíduos sólidos. Estima-se que o ramo consome cerca de 40% do total de recursos naturais extraídos pela sociedade (NENO; BRITO; VEIGA, 2014).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2017), a construção e edificações representam 39% das emissões de gás carbônico ligados à produção e consumo de energia. Em adição, o segmento tem a missão de reduzir em 30% o consumo energético até 2030, como meta firmada no Acordo de Paris (COP21).

O setor da construção necessita aprimorar a sustentabilidade na cadeia produtiva, principalmente para garantir proteção de recursos naturais para as próximas gerações. Para isso, deve-se empregar técnicas alternativas à fim de garantir um desenvolvimento sustentável em seus processos de produção, como exemplo o uso de tecnologias limpas, energias renováveis e métodos de proteção ambiental (BAPTISTA JUNIOR; ROMANEL, 2013).

O uso do solo-cimento é considerado como um material alternativo para atingir os objetivos sustentáveis de novas tecnologias implementadas em edificações. O produto é formado em maior proporção por solo, seguido de uma parcela de cimento e água. O principal destaque dessa tecnologia é a dispensa de queima e a abundância de matéria-prima, como aplicada na fabricação da cerâmica vermelha. O solo-cimento pode ser aplicado na fabricação de blocos e tijolos, sendo produzidos exclusivamente a partir da prensagem, podendo ser manual ou hidráulica, e cura do produto, recebendo a denominação de tijolos ecológicos (CASTRO *et al.*, 2016).

Segundo Segantini e Wada (2011), esta tecnologia pode reduzir entre 30 a 40% do custo total de obra, além de apresentar oportunidades para incorporação de materiais alternativos em sua composição, como resíduos minerais, industriais e agrícolas. Como complemento, Castro *et al.* (2016) afirma que a eliminação de argamassa de assentamento e revestimento, devido ao uso de cola branca, aliada à qualidade final e acabamento do produto, oferecem redução considerada no custo de edificações.

Fraga *et al.* (2016) salientam que a escolha do solo a ser usado requer atenção, pois solos com baixos percentuais de areia na composição não são aconselháveis para utilização devido uma maior necessidade no consumo de cimento para estabilização do solo. Os autores ainda recomendam o uso de solos que possuem em torno de 50 a 70% de areia em sua

composição, apresentando característica arenosa, havendo um menor percentual de argila para garantir coesão entre os grãos. No entanto, é relevante à incorporação de argila para viabilizar coesão entre os grãos.

Os solos argilosos não são recomendados pelo maior gasto com cimento, além da estabilização e pulverização apresentarem maiores dificuldades devido a uma baixa quantidade de areia em sua formação. Para esse caso, é necessário aplicar uma correção no solo, por meio da adição de areia ou resíduos. No entanto, a aplicação de areia possui limitações técnicas e econômicas (KOLLING; TROGELLO; MODOLO, 2012).

Um material alternativo a ser incorporado no solo-cimento é o resíduo de mármore, principalmente pelo impacto ambiental em seu descarte irregular. Durante o corte de rochas de mármore, é liberado uma quantidade expressiva de pó, o qual pode causar doenças respiratórias como a silicose. Para minimizar o impacto, é bombeada uma mistura composta por granalha de aço, cal e água sobre o contato da lâmina de corte e a rocha. O atrito entre lâmina e rocha, causa uma redução no tamanho da granalha, o que reduz a capacidade abrasiva. A mistura é então dejetada compondo um resíduo constituído por pó de rocha, cal e finos metálicos provenientes do desgaste das lâminas e da granalha (RAYMUNDO *et al.*, 2012).

Ademais, a lama abrasiva gerada ocasiona diversos impactos ambientais, como a contaminação dos recursos hídricos e solo. Após o processo de serragem dos blocos de rochas ornamentais, a lama produzida é descartada em lagoas de secagem, sendo muitas vezes locais não licenciados e preparados de acordo com as diretrizes de órgãos ambientais. Uma alternativa para diminuir o acúmulo do pó de mármore é a utilização na produção de alvenarias, como argamassas, cerâmica vermelha, entre outros (ALVES *et al.*, 2015).

No entanto, uma variabilidade na composição química de resíduos de rochas ornamentais pode afetar às propriedades mecânicas do produto. Como alternativas, outros materiais podem ser utilizados para correção do solo, alinhando boas propriedades químicas e físicas, e disponibilidade no mercado local. O pó de rocha é largamente utilizado na fabricação de concreto e blocos de concreto como material de enchimento, garantindo uma maior resistência mecânica do composto produzido. Além deste material, a cal hidratada é aplicada na correção de solos usados para pavimentação, principalmente pela característica aglomerante e menor custo se comparado ao cimento.

## **OBJETIVOS**

Muitos estudos têm sido realizados visando minimizar os impactos ambientais causados pela construção civil na cadeia produtiva do segmento e na geração de resíduos sólidos. Esses estudos incluem o uso de tijolos solo-cimento, também conhecidos como tijolos ecológicos, como material alternativo em edificações, principalmente pela proposta de redução de impactos ambientais e econômicos no setor. Formado por solo, água e cimento, os tijolos permitem incorporar materiais alternativos visando melhorar as propriedades físicas e mecânicas do produto por meio da correção de solos. Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar as propriedades físicas e mecânicas de tijolos solo-cimento prensados com adição de resíduo de mármore, pó de rocha e cal hidratada em porcentagem de 5% para cada amostra, ao solo coletado na cidade de Linhares, Espírito Santo. Portanto, a elaboração do objeto de estudo é importante para o desenvolvimento promissor de tijolos ecológicos, possivelmente a criação de redes simbióticas de cooperação entre empresas, permitindo uma diminuição do consumo de materiais e energia.

## **METODOLOGIA**

### **Materiais**

O solo em estudo foi gentilmente cedido pela empresa Tercol de terraplanagem no município de Linhares, Espírito Santo. No entanto, é desconhecida a origem do material. O solo apresenta um aspecto avermelhado, caracterizando como textura argilosa. Além disso, foi escolhido o cimento Portland CP V-ARI RS, fabricado pela Votorantim Cimentos S.A. (São Paulo, Brasil), devido às suas propriedades físicas e químicas permitindo uma rápida secagem e obtenção de alta resistência nas primeiras horas após o preparo, contribuindo assim com o desmolde do tijolo produzido. Essa classe de cimento é comumente utilizada em empresas de pré-moldados da região. Durante o processo de confecção do tijolo solo-cimento, utilizou-se água proveniente de poço artesiano na zona rural do município de São Mateus, Espírito Santo.

A cal utilizada no experimento é classificada como CH I – cal hidratada especial (Massical<sup>®</sup>), uma vez que este material pode diminuir um percentual de cimento aplicado ou até mesmo substituir o mesmo. O pó de rocha foi adquirido na empresa Pedramix de concretagem no município de Linhares, Espírito Santo. Optou-se pelo uso desse material no trabalho, pois poderia contribuir na moldagem e melhoria nas propriedades mecânicas dos tijolos confeccionados. Por fim, o resíduo de mármore foi cedido sendo fornecido pela empresa Sulcamar do segmento de rochas ornamentais localizada em Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo. O resíduo de mármore apresenta um grande impacto sobre o meio ambiente, principalmente pelo descarte, e potencial risco à saúde populacional. O material foi escolhido principalmente

para promover uma melhor destinação, evitando maiores impactos ambientais. A Tabela 1 representa a nomenclatura utilizada para cada mistura e sua respectiva composição.

**Tabela 1. Amostras e suas respectivas composições. Fonte: Autores do Trabalho (2020).**

Amostras	Teor da mistura	Teor de cimento
MS	100% de solo	12,5%
MC	95% de solo + 5% de cal hidratada	12,5%
MB	95% de solo + 5% de pó de brita	12,5%
MM	95% de solo + 5% de resíduo de mármore	12,5%

### Fabricação

Os corpos de prova foram preparados de acordo com a ABNT NBR 10833:2012 (versão corrigida: 2013). As amostras foram homogeneizadas com auxílio de uma enxada. Em seguida, o processo foi repetido para a adição de cimento até atingir uma coloração uniforme do material. Aos poucos, a mistura foi hidratada com água, até atingir uma consistência inicial para prensagem. Para o processo de moldagem dos tijolos solo-cimento, foi utilizada uma prensa manual fabricada pela empresa Verde Equipamentos (São Paulo, Brasil). Cada ciclo de prensagem possibilita a fabricação de uma unidade de tijolo vazado.

Após aplicação de uma força manual na haste metálica, os tijolos foram cuidadosamente retirados da matriz e assim, armazenados e umedecidos durante um período de sete dias, promovendo hidratação por três vezes ao dia no decorrer do tempo estipulado. Após o intervalo de sete dias, os tijolos permaneceram cobertos por lona durante vinte e oito dias após fabricados para obter uma maior resistência mecânica do cimento.

Para cada composição foram confeccionados doze tijolos, utilizado o total de dez corpos de prova para os ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água. Deste número, todos os experimentos foram submetidos ao ensaio dimensional pelo uso de um paquímetro com precisão de 0,05 mm. No entanto, para a mistura do solo, pó de pedra e cimento foram utilizadas apenas nove amostras. Durante o período de cura, três amostras apresentaram propagação de trincas, ocasionando o rompimento desses tijolos. A Tabela 2 representa uma relação de corpos de prova a ser utilizados para ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

**Tabela 2. Relação da quantidade de corpos de prova para cada ensaio. Fonte: Autores do Trabalho (2020).**

Amostras	Ensaio de resistência à compressão	Ensaio de absorção de água
MS	7	3
MC	7	3
MB	6	3
MM	7	3

### Ensaios

A preparação das amostras para os ensaios de caracterização do solo, seguiu-se as normativas da ABNT NBR 6457:2016 (versão corrigida: 2016). Os ensaios foram realizados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES/Campus Nova Venécia). Foram realizados os ensaios de análise granulométrica, utilizando o método de peneiramento, seguindo a norma ABNT NBR 7181:2016 (versão corrigida: 2017). Em seguida, foram realizadas as determinações dos limites de consistência, por meio do limite de liquidez (LL) e plasticidade do solo (LP), conforme a ABNT NBR 6459:2016 (versão corrigida: 2017) e ABNT NBR 7180:2016, respectivamente. Para o ensaio de LL, foi utilizado um aparelho Casagrande manual com contador de golpes, fabricada pela Contenco Indústria e Comércio Ltda (Minas Gerais, Brasil). Já para o ensaio de LP, as amostras foram colocadas sob uma placa de vidro de superfície esmerilhada para ser rolada até produzir um formato cilíndrico, seguindo as dimensões do gabarito de 3 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento.

A preparação e execução dos experimentos para o ensaio de resistência à compressão simples e absorção de água foram seguidas a partir das diretrizes da norma ABNT NBR 8492:2012. Para o ensaio de compressão simples, os tijolos selecionados para o ensaio foram inicialmente seccionados ao centro perpendicularmente à maior dimensão e capeadas as faces superior, intermédia e inferior. Uma máquina de ensaio universal com capacidade máxima de 200 kN, modelo WDW-200E da TIME Group Inc foi utilizada para ensaiar as amostras no IFES/Campus São Mateus. Foi inserido uma chapa de aço sobre a face superior do corpo de prova para garantir uma maior uniformidade na aplicação da força de compressão.

Por fim, o ensaio de absorção de água foi conduzido em laboratório no IFES/Campus Nova Venécia. Os corpos de prova selecionados para o ensaio permaneceram durante vinte e quatro horas à uma temperatura constante no intervalo entre

105 a 110 °C para atingir o valor referente a massa seca de cada amostra, devido à perda de umidade durante o processo. Em seguida, os tijolos foram totalmente imersos em um tanque com água fornecida pela empresa de saneamento do município de Nova Venécia, Espírito Santo, durante um período de vinte e quatro horas. Foram pesadas as massas úmidas e secas dos tijolos.

## RESULTADOS

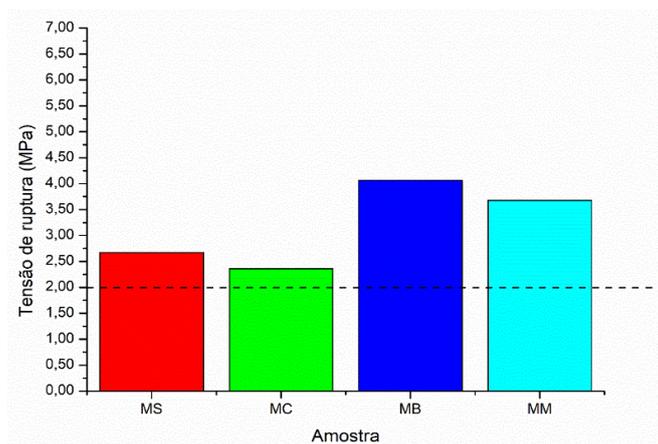
Segundo a ABNT NBR 10833:2012 (versão corrigida: 2013), o solo deve atender às seguintes características: 10 a 50% de material que passa na peneira com abertura de malha 0,075 mm, limite de liquidez menor ou igual a 45% e índice de plasticidade menor ou igual a 18%.

A adição de resíduo de mármore e pó de rocha reduziram consideravelmente os limites de liquidez, plasticidade e o índice de plasticidade, tornando o solo apto para ser utilizado na preparação segura dos tijolos. No entanto, a amostra contendo somente cal foi possível realizar o ensaio granulométrico, devido ao material ser um aglomerante hidráulico endurecendo o solo após adição de água na preparação. A Tabela 3 representa os valores para os ensaios de caracterização do solo.

**Tabela 3. Ensaio de caracterização para cada amostra. Fonte: Autores do Trabalho (2020).**

Amostras	Material passante na peneira 0,075 mm (%)	Limite de liquidez (LL) (%)	Limite de plasticidade (LP) (%)	Índice de plasticidade (IP) (%)
MS	46,34	50,69	31,25	19,44
MC	48,02	-	-	-
MB	42,99	41,80	25,05	16,75
MM	48,88	37,06	21,00	16,06

Os corpos de prova não devem apresentar média de valores para o ensaio de compressão inferior a 2,0 MPa e nem valor individual inferior a 1,7 MPa, segundo ABNT NBR 8491:2012 (versão corrigida: 2013). Segundo a norma, as amostras obtiveram valores satisfatórios para resistência à compressão simples, conforme a Figura 1. MB atingiu o maior valor médio para resistência à compressão, obtendo 4,06 MPa, seguido da amostra de MM, com 3,68 MPa, aumentando a resistência comparada a amostra MS, com valor de 2,67 MPa. Por outro lado, o experimento de MC obteve o menor resultado médio, apresentando 2,36 MPa, seguido do experimento MS, com 2,67 MPa. Foi observado uma perda de desempenho mecânico na adição de cal no solo.



**Figura 1: Valores médios de resistência à compressão simples em amostras MS, MC, MB e MM. Fonte: Autores do Trabalho (2020).**

Segundo a ABNT NBR 8491:2012 (versão corrigida: 2013), os corpos de prova não devem apresentar valor médio para absorção de água superior à 20% e valores individuais maiores que 22%. A partir da Figura 2, o menor índice para absorção de água foi alcançado pela amostra de MM, apresentando um valor igual a 14,2%, seguido pelo experimento MB, com 17,3%, depois a amostra de MS com o índice de 18,2% e por fim, a mistura MC com valor de absorção de água de 22,6%. Todos os experimentos apresentaram resultados satisfatórios para todas as amostras ensaiadas, com exceção do experimento MC o qual promoveu um aumento na porosidade do solo. Para MB e MM, foi possível reduzir a absorção de água.

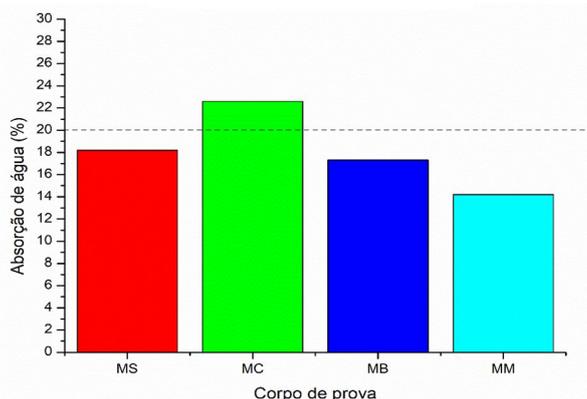


Figura 2: Valores médios para absorção de água em amostras MS, MC, MB e MM. Fonte: Autores do Trabalho (2020).

## CONCLUSÕES

A utilização de resíduo de mármore e pó de rocha se mostrou satisfatória para melhorar as propriedades químicas e físicas do solo. Ambos resíduos tornaram as amostras menos plástica, diminuindo a porosidade do solo. Além disso, os experimentos obtiveram um aumento expressivo na resistência à compressão, aumentando consideravelmente a segurança dos tijolos em edificações. No entanto, o uso de cal na composição do solo ocasional perde desempenho mecânico no ensaio de resistência à compressão e aumenta a porosidade dos tijolos, inutilizando à sua aplicação em obras.

As amostras com resíduo de mármore e pó de rocha apresentaram propriedades mecânicas suficientes para garantir segurança em sua aplicação na construção civil. Para certificar potenciais econômicos e comerciais para esses produtos, será necessário realizar ensaios térmicos e acústico objetivando garantir uma total aplicabilidade em obras residenciais. Além disso, trabalhos futuros serão necessários para avaliar uma diminuição do teor de cimento usado, aumentando o percentual de material adicionado. Esses estudos seriam importantes como medida para diminuir o custo de fabricação dos tijolos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - IFES e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGMEC da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG pela estrutura física e suporte. Os autores agradecem às Agências Brasileiras CAPES, CNPq, FINEP, FAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alves, J.O., Junca, E., Espinosa, D.C.R., Tenório, J.A.S. Resíduo do corte de granito: inovação tecnológica para a destinação final. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, v. 12, n. 2, p. 123-128, 2015.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.
3. \_\_\_\_\_. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.
4. \_\_\_\_\_. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.
5. \_\_\_\_\_. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
6. \_\_\_\_\_. **NBR 7182**: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
7. \_\_\_\_\_. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.
8. \_\_\_\_\_. **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.
9. \_\_\_\_\_. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.
10. Baptista Junior, J.V., Romanel, C. Sustentabilidade na indústria da construção: uma logística para reciclagem dos resíduos de pequenas obras. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 480, p. 27-37, 2013.
11. Castro, M.A.M., Costa, F.G., Borba, S.C., Neto, E.F., Rabelo, A.A. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos. **Matéria**, v. 21, n. 3, p. 666-676, 2016.
12. Fraga, Y.S.B., Barbosa, A.Q., Santos, L.H.P., Mota, W.V., Dortas, I.S. Tecnologia dos materiais: utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 3, n. 3, p. 11-24, 2016.

13. Kolling, E.M., Trogello, E., Modolo, A.J. Avaliação da resistência mecânica de diferentes traços de solo-cimento estabilizados com areia. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 3, n. 7, p. 185-191, 2012.
14. Neno, C., Brito, J., Veiga, R. Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production. **Materials Research**, v. 1, n. 17, p. 168-177, 2014.
15. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Emissões de gás carbônico do setor de construção chegaram a 76 gigatoneladas em 2010-2016. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/emissoes-de-gas-carbonico-do-setor-de-construcao-chegaram-a-76-gigatoneladas-em-2010-2016/>>. Acesso em: 02 jun. 2020.
16. Raymundo, V., Neves, M.A., Cardoso, M.S.N., Bregonci, I.S., Lima, J.S.S., Fonseca, A.B. Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 1, n. 17, p.47-53, 2012.
17. Segantini, A.A.S., Wada, P.H. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 2, p. 179-183, 2011.
18. Siqueira, F.B., Holanda, J.N.F. Reuse of grits waste for the production of soilcement bricks. **Journal of Environmental Management**, v. 131, p. 1-6, 2013.