

Análise do comportamento estrutural de corpos de prova de solo-cimento utilizando diferentes métodos de cura.

Analysis of the structural behavior of soil-cement specimens using different curing methods.

Análisis del comportamiento estructural de probetas de suelo-cemento utilizando diferentes métodos de curado.

Recebido: 04/02/2022 | Revisado: 09/02/2022 | Aceito: 17/02/2022 | Publicado: 26/02/2022

Natália Tavares Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2183-8198>

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

E-mail: natalia.t.gomes@hotmail.com

Bruno Sanches da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2297-3810>

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

E-mail: bbrunosanchesl@gmail.com

Gustavo dos Santos Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5625-899X>

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

E-mail: gustavo27891@gmail.com

Jonas Alexandre

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2977-5585>

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

E-mail: jonasuenf@gmail.com

Resumo

A busca crescente por um estilo de vida sustentável, aumenta a demanda por materiais que estejam atendendo as questões ambientais, que sejam viáveis tecnicamente e economicamente. Os produtos de solo-cimento abrangem todos esses aspectos citados. O objetivo deste trabalho é a verificação de um desempenho superior entre métodos de cura, estudando a sua influência na resistência à compressão simples e na absorção de água de corpos de prova de solo-cimento. Foi utilizado uma composição padrão, 90% de solo e 10% de cimento. A umidade de moldagem foi obtida através do ensaio de Proctor normal, com resultado de 18,6%. Após moldagem, os corpos de prova foram submetidos a cura por aspersão manual, cura por lâmina de água e isento de cura, para fins comparativos, seguidos dos ensaios. Os resultados indicam a cura por lâmina de água com resultados superiores, com média de resistência a compressão simples de aproximadamente 5,20 MPa e absorção de água de 12,97%.

Palavras-chave: Solo-cimento; Cura por lâmina de água; Cura por aspersão manual.

Abstract

The growing search for a sustainable lifestyle, increases the demand for materials that are meeting environmental issues, which are technically and economically viable. Soil-cement products cover all these mentioned aspects. The objective of this work is to verify a superior performance between curing methods, studying their influence on the simple compressive strength and on the water absorption of soil-cement specimens. A standard composition, 90% soil and 10% cement, was used. Molding moisture was obtained using the normal Proctor test, with a result of 18.6%. After molding, the specimens were subjected to curing by manual spraying, curing by water slide and without curing, for comparative purposes, followed by tests. The results indicate the curing by water layer with superior results, with an average of simple compressive strength of approximately 5.20 MPa and water absorption of 12.97%.

Keywords: Soil-cement; Water slide cure; Manual spray cure.

Resumen

La creciente búsqueda de un estilo de vida sostenible, aumenta la demanda de materiales que cumplan con los problemas ambientales, que sean técnica y económicamente viables. Los productos de suelo-cemento cubren todos estos aspectos mencionados. El objetivo de este trabajo es comprobar un comportamiento superior entre métodos de curado, estudiando su influencia en la resistencia a compresión simple y en la absorción de agua de probetas de suelo-cemento. Se utilizó una composición estándar, 90% tierra y 10% cemento. La humedad de moldeo se obtuvo mediante la prueba Proctor normal, con un resultado de 18,6%. Después del moldeo, las probetas se sometieron a curado por aspersión manual, curado por hoja de agua y sin curado, con fines comparativos, seguido de ensayos. Los resultados indican el curado por capa de agua con resultados superiores, con un promedio de resistencia a compresión simple de aproximadamente 5.20 MPa y absorción de agua de 12.97%.

Palabras clave: Suelo-cemento; Cura por hoja de agua; Curado por pulverización manual.

1. Introdução

Visto que o estilo de vida sustentável é o objetivo de grande número de pesquisas recentes, busca-se promover métodos e técnicas que reduzam a extração de recursos naturais ou reaproveitem resíduos gerados por processos. Essa insustentabilidade é decorrente do aumento do padrão de vida da sociedade e avanço tecnológico, o que requer maior extração de recursos e acarreta maior produção de resíduos (Landim, 2016).

O setor de construção civil é responsável por grande uso de recursos naturais, o que é um bom direcionamento para pesquisas envolvendo processos sustentáveis. Além disso, a construção civil é um setor que movimenta grande parte da economia dos países, sendo muito vantajoso o desenvolvimento de pesquisas nessa área.

Nesse contexto, o estudo com solo e cimento se encaixa em todos os fatores citados, já que resulta em produtos considerados ecológicos, como os blocos de encaixe, e é um possível destino para aproveitamento de resíduos, revisados por Da Silva et al (2021). O solo é um material abundante, de fácil processamento e de pouco impacto ambiental (Gutiérrez-Orrego et al, 2017). Sua utilização em blocos de encaixe facilita a produção, podendo ser feita no próprio local de obra (ABCP, 2000).

Como parte do seu processo produtivo, a mistura de solo e cimento passa por um processo de cura responsável pelo seu ganho de resistência e estabilidade do solo. Em questão de estabilização do solo, já existem vários trabalhos que utilizam diversos métodos para esse fim. Da mesma forma, em questão do método de cura, pesquisas com diferentes metodologias são encontradas, tendo a alta umidade como objetivo, como spray (Rocha et al, 2021), rega manual (CAMPOS et al, 2019), câmara úmida (França et al, 2018), aspersão (Silva et al, 2021) e câmara úmida controlada (Azevedo et al, 2019).

Pelo trabalho de Campos et al (2019), percebe-se a diferença na resistência em diferentes métodos de cura, demandando novas pesquisas nesse aspecto. No presente artigo, foram produzidos corpos de prova de solo-cimento através de diferentes métodos de cura (lâmina de água, aspersão e isento de cura para fins comparativos) para estudo de sua influência na resistência dos produtos de solo-cimento.

2. Materiais e Métodos

A pesquisa se fundamenta no estudo do processo de cura de corpos de prova cilíndricos de solo-cimento por diferentes métodos. Objetiva-se verificar a existência de um melhor resultado de uma cura em detrimento da outra, contribuindo para produtos como tijolos, blocos e pisos.

Para este trabalho, o solo utilizado foi cedido pela empresa Artercerâmica Sardinha, localizada no interior do município de Campos dos Goytacazes – RJ. O cimento usado foi o CPII E32, cimento Portland tipo II com adição de escória de alto-forno, por ser o mais utilizado na região, de fácil acesso e comercialização. Durante toda a pesquisa, foram utilizados os laboratórios e equipamentos da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), para caracterização, fabricação, curas e ensaios.

De acordo com Delgado e Guerrero (2007) todos os tipos de solo podem ser estabilizados com cimento Portland, dependendo dos aspectos físico-químicos do solo e do cimento, sob as condições de avaliação granulométrica, limites de consistência de Atterberg e teor de umidade ótima de compactação para se obter um bom desempenho durabilidade do produto final.

O solo foi submetido aos ensaios de caracterização física, por análise granulométrica, de acordo com os procedimentos estabelecidos na norma NBR 7181 (ABNT, 2018) e limites de Atterberg, utilizando a NBR 6459 (ABNT, 1984) e NBR 7180 (ABNT, 1984).

De acordo com a NBR 10.833 (ABNT, 2013), a água deve ser isenta de impurezas que possam prejudicar a hidratação do cimento, considera adequadas as águas potáveis. A água que foi utilizada é potável e proveniente da rede pública do município de Campos dos Goytacazes/RJ, fornecida pela concessionária Águas do Paraíba.

Para a caracterização química do solo foi utilizada a técnica de análise química por espectroscopia de fluorescência de raios-X, de energia dispersiva (EDX), em um equipamento Shimadzu EDX-700 do LECIV/UENF.

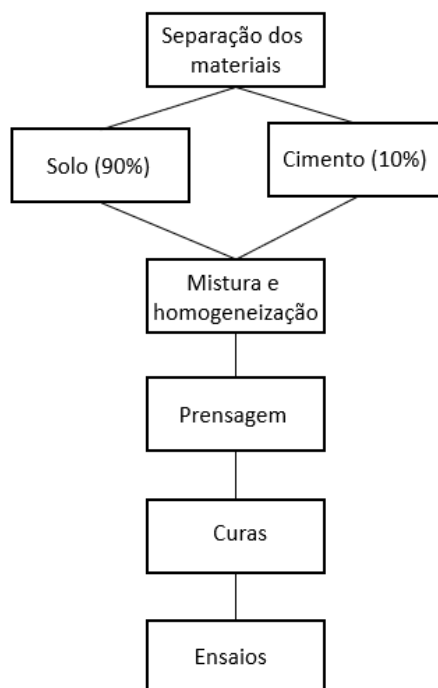
Como método de obtenção da umidade ótima de moldagem dos corpos de prova de solo-cimento, foi utilizado o ensaio de compactação Proctor Normal, descrito na norma NBR 12023 (ABNT, 2012). O ensaio auxilia na obtenção da umidade ótima, ou seja, na quantidade de água ideal para obtenção de compactação estável.

Importante ressaltar que o teor de umidade é tão importante quanto a quantidade de cimento utilizada, pois influencia na trabalhabilidade, cura do cimento e formação de poros. Esse é um dos maiores desafios para obtenção de produtos cimentícios de elevada resistência. Acerca disso, foi utilizada uma composição padrão de 90% de solo e 10% de cimento para todos os traços, para 100g de material.

Segundo critérios estabelecidos pela NBR 12024 (ABNT, 2012), o primeiro passo para o processo de fabricação dos corpos de prova cilíndricos de solo-cimento é a preparação da mistura, que envolve a separação das quantidades necessárias dos materiais, em massa, através de uma balança digital. Após a separação, os materiais serão misturados e homogeneizados, para posterior prensagem em prensa manual, com força mantida em uma tonelada.

A Figura 1 apresenta um fluxograma de todo o processo de preparação e fabricação dos corpos de prova cilíndricos de solo-cimento.

Figura 1: Processo de Preparação e Fabricação.



Fonte: Autores.

Após prensagem, os corpos de prova serão submetidos a diferentes tipos de cura, sendo uma cura por lâmina de água (Figura 2), outra cura por aspersão manual (Figura 3) e um terceiro traço isento de cura - ar natural (Figura 4), posteriormente comparando-os de acordo com os resultados dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

Figura 2: Lâmina de Água.



Fonte: Autores.

Figura 3: Aspersão Manual.



Fonte: Autores.

Figura 4: Isento de Cura.



Fonte: Autores.

Na prática de solo-cimento, é determinado que a cura seja realizada por molha. Nesse sentido, o traço isento de cura (Figura 4) foi realizado para fins comparativos. Sendo ela ao ar natural, disposta em local livre de umidade e de luz solar direta.

O tempo adotado nessa pesquisa para a cura foi de 7 dias, de acordo com recomendação da NBR 10833 (ABNT, 2013), que afirma a eficiência. Esse é o período necessário para garantia da cura adequada, evitando a perda de água para o ambiente externo.

Considerando a absorção de água, os corpos de prova foram testados, secos em estufa em temperatura de 105 – 110° C até a constância de massa. Posteriormente, foram imersos em água à temperatura ambiente por um período de 24 horas, sendo então pesados novamente para cálculo da absorção de água, descrito na NBR 8492 (ABNT, 2012).

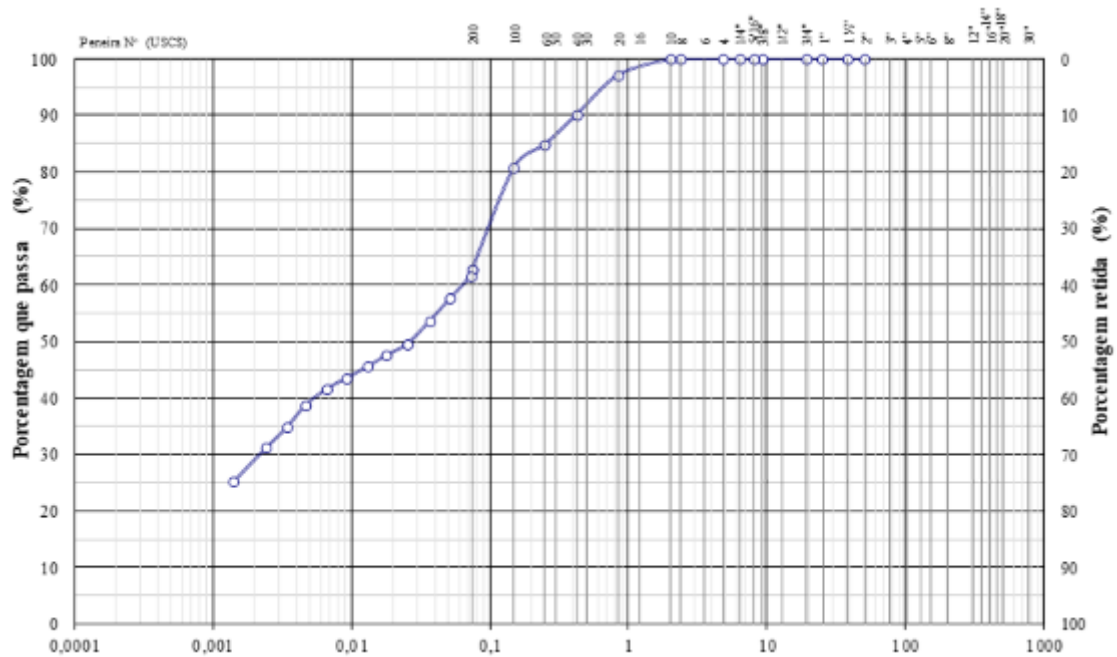
Para resistência à compressão simples, os corpos de prova foram submetidos a máquina de ensaio à compressão da marca SOLOTEST. Antes do início do ensaio, os corpos de prova foram submetidos a imersão em água por 4h de acordo com a NBR 12025 (ABNT, 2012).

3. Resultados e Discussão

O resultado da caracterização física do solo de acordo com sua distribuição de partículas é de 41% de fração areia, sendo 7% de areia grossa, 10% de areia média e 24% de areia fina. A fração argila em 29% e 31% de silte, apresentados na curva de distribuição granulométrica (Figura 5). De acordo com a sua granulometria, o solo pode ser classificado como areia fina silto-argilosa.

A Figura 5 apresenta a curva de distribuição granulométrica, a distribuição de partículas do solo, resultado da análise combinada de peneiramento e sedimentação.

Figura 5: Curva de Distribuição Granulométrica.



Fonte: Autores.

Os Limites de Consistência de Atterberg do solo apresentaram Limite de Liquidez de 39,2% e Limite de Plasticidade de 24,9%, obtendo-se, então, o Índice de Plasticidade de 14,3%. De acordo com a norma técnica NBR 10833 (ABNT, 2013), deve-se utilizar solos com o Limite de Liquidez máximo de 45% e 18% para o Índice de Plasticidade. O solo utilizado atende aos parâmetros previstos pela norma para utilização na prática de solo-cimento.

A caracterização química do solo utilizado foi realizada através da espectroscopia de raios-X por dispersão de energia, tendo como objetivo identificar a composição química e pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição Química do Solo.

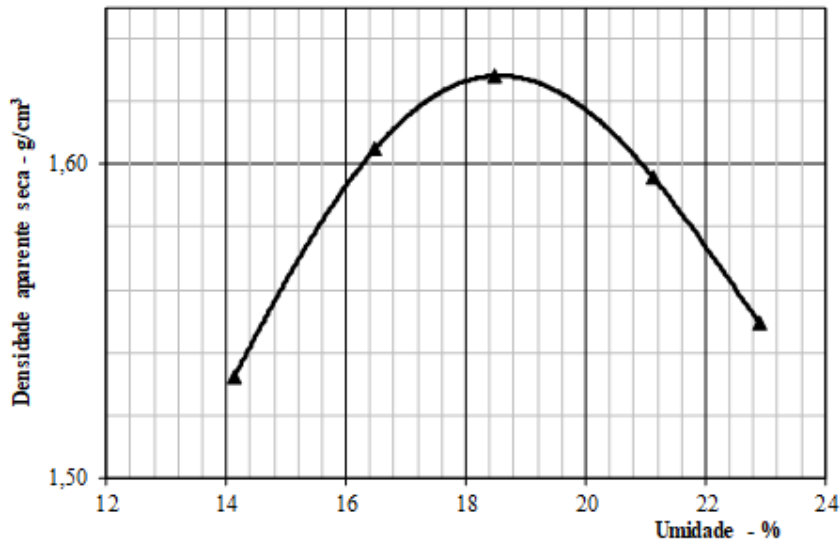
Composição Química do Solo (%)	
SiO ₂	43,82
Al ₂ O ₃	36,85
Fe ₂ O ₃	11,46
K ₂ O	2,73
SO ₃	2,07
TiO ₂	1,95
CaO	0,81
MnO	0,09
ZrO ₂	0,06
V ₂ O ₅	0,05
CuO	0,02
ZnO	0,02
SrO	0,01

Fonte: Autores.

Podemos identificar que o solo é constituído basicamente de óxido de Silício (SiO₂) e óxido de alumínio (Al₂O₃), com cerca de 80,67%. Segundo Más (2002) essa alta quantidade de dióxido de silício sugere a presença de silicatos, micas e os feldspatos, e sílica livre, quartzo. De acordo com Vieira *et al.* (2000) os solos da região em termos de composição mineralógicas tem a caulinita como principal argilomineral presente. Além da presença relevante de óxido de silício e óxido de alumínio.

O resultado do ensaio para massa específica real dos grãos de solo foi de 2,63 g/cm³, por picnometria. O teor de umidade da mistura é de 18,6%, obtido através do ensaio de proctor normal, sua curva de umidade versos a densidade aparente seca é representada no gráfico (Figura 6).

Figura 6: Curva de Umidade x Densidade Aparente Seca.



Fonte: Autores.

Depois do período de sete dias de cura, os corpos de prova foram submetidos a análise dimensional, os resultados obtidos são demonstrados nas Tabelas 2, 3 e 4. De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012) as amostras ensaiadas devem satisfazer as tolerâncias permitidas de $\pm 1,00$ mm nas dimensões (diâmetro e altura).

Tabela 2: Análise dimensional – Isento de Cura.

Isento de Cura	Ø médio (mm)	Altura média (h)
1	36,9	43,4
2	37,0	43,4
3	37,0	43,3
4	36,9	43,3
5	36,9	43,3
6	36,9	43,4
7	36,9	43,4

Fonte: Autores.

Tabela 3: Análise dimensional - Cura por Aspersão Manual.

Aspersão Manual	Ø médio (mm)	Altura média (h)
1	37,1	43,8
2	37,0	43,8
3	37,0	43,8
4	37,1	43,8
5	37,1	43,8
6	37,0	43,8
7	37,0	43,8

Fonte: Autores.

Tabela 4: Análise dimensional - Cura por Lâmina de Água.

Lâmina de Água	Ø médio (mm)	Altura média (h)
1	37,0	43,8
2	36,9	43,8
3	37,0	43,8
4	37,0	43,9
5	37,0	43,9
6	37,0	43,8
7	37,1	43,8

Fonte: Autores.

Os resultados demonstram que todos os corpos de prova atenderam à norma técnica brasileira quanto a análise dimensional para todos os métodos de curas estudados.

Os sete corpos de prova após análise dimensional foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples. Os resultados, isento de cura, cura por aspersão manual e cura por lâmina de água são apresentados nas Tabelas 5, 6 e 7, respectivamente, juntamente com força de ruptura, a média, variância e desvio padrão.

Tabelas 5: Resistência à Compressão Simples - Corpos de Prova Isentos de Cura.

Isento de cura	F de ruptura (tnf ^a)	FR/AB (MPa ^b)	\bar{x} (MPa)	σ^2 (MPa) ²	σ (MPa)
1	0,41	3,761833			
2	0,39	3,560933			
3	0,37	3,383809			
4	0,43	3,941063	3,702676	0,034447	0,1856
5	0,42	3,847325			
6	0,41	3,753689			
7	0,40	3,670081			

^a Tonelada Força.

^b Megapascal.

Fonte: Autores.

Tabela 6: Resistência à Compressão Simples - Corpos de Prova com Cura por Aspersão Manual.

Aspersão Manual	F de ruptura (tnf ^a)	FR/AB (MPa ^b)	\bar{x} (MPa)	σ^2 (MPa) ²	σ (MPa)
1	0,50	4,538260			
2	0,51	4,644038			
3	0,53	4,826157			
4	0,53	4,818347	4,730430	0,022895	0,1513
5	0,53	4,805372			
6	0,50	4,552978			
7	0,54	4,927857			

^a Tonelada Força.

^b Megapascal.

Fonte: Autores.

Tabela 7: Resistência à Compressão Simples - Corpos de Prova com Cura por Lâmina de Água.

Lâmina de Água	F de ruptura (tnf ^a)	FR/AB (MPa ^b)	\bar{x} (MPa)	σ^2 (MPa) ²	σ (MPa)
1	0,59	5,378323			
2	0,60	5,490229			
3	0,56	5,104849			
4	0,57	5,187593	5,209232	0,025781	0,160564
5	0,56	5,104849			
6	0,56	5,118670			
7	0,56	5,080111			

^a Tonelada Força.

^b Megapascal.

Fonte: Autores.

Pode-se observar que os resultados para os vinte e um corpos de prova atenderam às especificações da norma. De acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012), a média (\bar{x}) de resistência à compressão simples deve ter resultado maior ou igual a 2 Mpa e resultado individual (FR/AB) maior ou igual a 1,7 Mpa.

Foi possível observar que a cura por lâmina de água tem um desempenho superior às demais em relação a resistência à compressão individual, com média (\bar{x}) de aproximadamente 5,20 Mpa.

Para o ensaio de absorção de água, os corpos de prova foram identificados em 1, 2 e 3 para cada uma das curas estudadas. A massa seca (m_1) teve uma média de 90,06 g para os 9 corpos de prova, já a massa saturada (m_2) está descrita na Tabela 8.

Tabela 8: Massa saturada (m_2).

Corpo de Prova	Isento de Cura ($m_2 - g$)	Aspersão Manual ($m_2 - g$)	Lâmina de Água ($m_2 - g$)
1	103,39	102,30	101,89
2	103,55	102,45	101,56
3	103,33	102,41	101,85

Fonte: Autores.

Os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água com suas médias, variância e desvio padrão, são demonstrados nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9: Resultados Absorção de Água – Isento de Cura.

Isento de Cura	Absorção de Água (%)	\bar{x} (%)	σ^2 (MPa) ²	σ (MPa)
1	14,8267			
2	14,9661	14,8213	0,021805	0,1476
3	14,6710			

Fonte: Autores.

Tabela 10: Resultados Absorção de Água - Aspersão Manual.

Aspersão Manual	Absorção de Água (%)	\bar{x} (%)	σ^2 (MPa) ²	σ (MPa)
1	13,5531			
2	13,8080	13,7040	0,017899	0,1337
3	13,7510			

Fonte: Autores.

Tabela 11: Resultados Absorção de Água - Lâmina de Água.

Lâmina de Água	Absorção de Água (%)	\bar{x} (%)	σ^2 (MPa) ²	σ (MPa)
1	13,0604			
2	12,7818	12,9736	0,027685	0,1663
3	13,0787			

Fonte: Autores.

Para absorção de água, temos como referência valores individuais menores ou igual a 22% e média menor ou igual a 20%, descritos na NBR 8491 (ABNT, 2012). A cura por lâmina de água indica resultados superiores aos demais, com 12,97% de média, comparado a 13,70% para aspersão manual e 14,82% isento de cura (ar livre).

4. Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- I. O solo estudado possui as características físicas que permitem seu uso na fabricação de produtos de solo-cimento, como tijolos, blocos e pisos.
- II. Todos os corpos de prova estudados, atenderam a norma técnica brasileira na análise dimensional, para todos os métodos de cura avaliados.

- III. Com relação as curas estudadas, a que melhor atendeu as especificações exigidas pela norma brasileira foi a cura por lâmina de água, com média de resistência a compressão simples de aproximadamente 5,20 MPa e absorção de água de 12,97%.
- IV. A cura por aspersão manual obteve bons resultados, podendo também ser utilizada.
- V. Mesmo com resultados dentro do previsto pela norma, o método isento de cura (ao ar livre) não deve ser utilizada na prática de solo-cimento, pois é determinado que deve ser curado através de molha.

Sugere-se, para trabalhos futuros, o desenvolvimento de pesquisas experimentais, avaliando variações do teor de cimento na mistura e a incorporação de resíduos. Tendo como objetivo verificar a influência da relação métodos de cura, resíduo e solo-cimento.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- ABCP. (2000). *Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais*, BT-111, 3.ed., rev. atual, 16p. São Paulo, 2000. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 7181 (2018). *Solo – Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 7180 (2016). *Solo – Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 6459 (2017). *Solo – Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 10833 (2013). *Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 12025 (2012). *Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos - Método de ensaio*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 12023 (2012). *Solo-cimento - Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 8492 (2012). *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. NBR NM 8491 (2012). *Tijolo de solo-cimento – Requisitos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 16697 (2018). *Cimento Portland - Requisitos*. Rio de Janeiro.
- Azevedo, A. R. G. *et al.* (2019). Assessing the potential of sludge generated by the pulp and paper industry in assembling locking blocks. *Journal of Building Engineering*, 23, 234.
- Campos, A. & Nascimento, J.B., Brito, L. T. (2019). Comportamento estrutural de tijolos de solo-cimento utilizando diferentes fontes de água e métodos de cura I. *Interações (Campo Grande)*, 20, 283-96.
- Silva, Tulane Rodrigues *et al.* (2021). Soil-cement blocks: a sustainable alternative for the reuse of industrial solid waste. *Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)*, 56, 4, 673-686.
- Delgado, M. C. J. & Guerrero, I. C. (2007). The selection of soils for unstabilised earth building: a normative review. *Construction and Building Materials*.
- França, Bruno Rangel *et al.* (2018). Durability of soil-cement blocks with the incorporation of limestone residues from the processing of marble. *Materials Research*, 21.
- Gutiérrez-Orrego, Diego Alejandro; Garcia-Aristizabal, Edwin Fabián & Gomez-Botero, Maryory Astrid (2017). Mechanical and physical properties of soil-cement blocks reinforced with mineral wool and sisal fiber. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29.
- Landim, Ana Paula Miguel *et al.* (2016). Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. *Polímeros*, 26, SPE, 82-92.
- Más, E. (2002). Diagnóstico das matérias primas e metodologia da extração das matérias primas. *Qualidade e Tecnologia em Cerâmica Vermelha*. São Paulo, Polo Produções.

Rocha, Joaquin Humberto Aquino et al. (2021). Physical-mechanical assessment for soil-cement blocks including rice husk ash. *Case Studies in Construction Materials*, 14.

Vieira, C. M. F., Gaidzinski, R., Monteiro, S. N. & Filho, J. D. (2000). *Caracterização de Argilas da Baixada Campista/RJ*. Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmicas. Florianópolis/SC.