

Tijolos de solo cimento com caulim

Handellon Kleyton de Jesus Santos¹, Cochiran Pereira dos Santos²,
Carlos Mariano Melo Júnior¹, Fernanda Martins Cavalcante de Melo¹, Herbet Alves de Oliveira^{1*}

¹IFS, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, R. Café Filho 260, Cidade Nova, 49200-000, Estância, SE

²Universidade Federal de Sergipe, Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, Av. Marechal Rondon s/n, Jardim Rosa Elze, 49.100-000, São Cristóvão, SE

*e-mail: herbet.oliveira@ifs.edu.br

Resumo

O tijolo de solo cimento é produzido com solo argiloso, cimento e água. Nesse estudo foram produzidos tijolos de solo cimento utilizando caulim. O solo foi aditivado com amido de milho, a fim de melhorar a plasticidade na sua conformação. Os materiais foram ensaiados de acordo com normas vigentes. Inicialmente foram produzidos corpos de prova a partir de três formulações contendo caulim codificadas como A5, B10, C20, (5, 10, 20%) de cimento em substituição ao caulim, respectivamente, além de 0,2% de amido de milho como aditivo para auxiliar na prensagem, e 8% de água. Em seguida foram produzidos corpos de prova, em três formulações codificadas como D10, E20 e F40 respectivamente em porcentagens (70/10/20), (60/20/20) e (40/40/20) de caulim, areia e cimento. Os corpos de prova foram produzidos por meio de compactação em prensa manual utilizando pressão de 20 MPa. Após cura ao ar aos 7 e 28 dias, os corpos de prova foram caracterizados por meio da resistência à compressão, absorção de água, massa específica aparente e durabilidade. A análise dos resultados foi realizada por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey. Foi produzido um tijolo ecológico de resistência mecânica mínima de 5 MPa aos 7 dias, superior ao mínimo exigido por norma (2 MPa), absorção de água menor que 15%, menor que o máximo exigido por norma (20%) e perda de massa menor que 5%, quando submetido à ação de águas, atendendo à norma vigente.

Palavras-chave: Tijolo; solo cimento; caulim.

1. INTRODUÇÃO

O solo compactado é utilizado desde os primórdios da civilização, como exemplo de construções como a muralha da China (1.046 a.C.) [1-2] e os templos na Babilônia [3].

Por ser um recurso natural, reutilizável e abundante, o solo torna-se uma alternativa interessante para as construções ecológicas como tijolos de solo cimento. A produção desse tipo de tijolo é realizada pela mistura de solo, cimento e água e eventualmente aditivos. A mistura deve ser homogeneizada e por fim passa pelo processo de compactação [4], que pode ser realizado em prensas manuais ou automáticas [5]. Os tijolos de solo cimento passaram a se destacar no Brasil a partir da década de 1930 com a regulamentação pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) [3]. Como vantagens cita-se a não necessidade de queima em forno, como ocorre em tijolos de argila queimada [6]. Além disso é auto encaixável, facilitando assim o processo de assentamento e dispensa acabamentos [7].

É estimado que o tijolo de solo cimento representa uma redução de custo na obra de 30 a 40% [9], visto que o solo entra na composição em média 80 a 90% [10-11]. Na obra o processo de instalar a parte hidráulica e elétrica ainda é facilitado, pois não é necessário quebrar a parede para este fim (Fig.1) [4].



Figura 1. Instalação elétrica na parede de tijolo de solo cimento

Muitas pesquisas foram realizadas com o objetivo de melhorar as propriedades do tijolo de solo cimento e principalmente reaproveitar materiais alternativos.

O caulim calcinado como matéria-prima alternativa passou a ser utilizado a partir da década de 1960 no concreto de alto desempenho, pois possui boa resistência mecânica e durabilidade [12]. A incorporação de resíduos de caulim na produção de tijolos de solo cimento também foi estudada, sendo os resultados encontrados satisfatórios em relação a resistência à compressão [13-14]. Nesse projeto foi avaliada a influência do caulim como matéria prima alternativa na produção de tijolo solo-cimento por meio de ensaios tecnológicos como resistência à compressão, absorção de água e durabilidade após exposição a soluções ácidas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

2.1. Caracterização das matérias-primas:

O cimento utilizado foi o CII-F- 32. O caulim é proveniente do estado da Paraíba, foi seco em estufa e peneirado na peneira de nº 30, (0,297 mm). A areia utilizada foi da região de Estância (SE) e foi passada na peneira de nº 16 (1,18 mm) [15]. Para garantir a compactação foi utilizado amido de milho para melhorar a plasticidade. As matérias primas foram analisadas de acordo com as respectivas normas e procedimentos, vide Tab.1.

2.1.1. Análise química:

Os componentes constituintes das amostras foram determinados por análise semiquantitativa pela técnica de fluorescência de raios X (FRX). A análise foi realizada em vácuo, em equipamento Bruker S4 Pioneer. Foram utilizadas amostras com massa de 10 g, que foram prensadas no formato de corpos cilíndricos com diâmetro de 20 mm e espessura de 3 mm, aproximadamente.

Tabela 1. Caracterização das matérias-primas

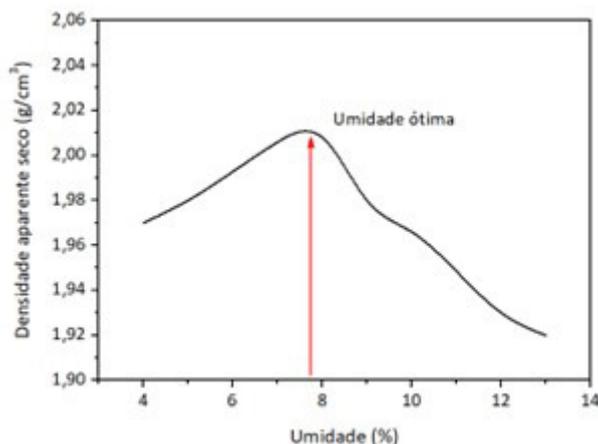
Ensaio	Norma	Cimento	Caulim	Areia
Resistência à compressão	[16]	X	-	-
Consistência normal	[17]	X	-	-
Tempo de início de pega	[18]	X	-	-
Massa específica real	[19]	X	X	X
Análise química por FRX	-	X	X	X
Difratometria de raios X (DRX)	-	-	X	-
Massa unitária	[20]	-	X	X
Limite de liquidez	[21]	-	X	-
Teor de matéria orgânica	[22]	-	X	-
Composição granulométrica	[23]	-	X	X
Limite de Atterberg	[24]	-	X	-

2.1.2. Difratometria de raios X:

Para a caracterização das fases cristalinas, foi utilizada a difratometria de raios X de acordo com os padrões do banco de dados do ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*). O programa utilizado foi o software Match. Para a identificação dos padrões de difração, foi utilizado um equipamento Rigaku D-MAX 100 com radiação $\text{Cu K}_{\alpha 1}$ ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) em modo de varredura contínua, com intervalo regular de 5 a 70° em velocidade de varredura de 1°/min [25].

2.2. Preparação dos corpos de prova:

Na produção dos corpos de prova dos tijolos, inicialmente foi realizado o ensaio de levantamento da curva de compactação Proctor com o caulim, utilizando a ABNT NBR 12023:2012 [26]. Foi determinada a umidade de conformação ideal do caulim em 8%, o que corresponde à densidade aparente após secagem de 2,01 g/cm³, vide Fig.2.

**Figura 2.** Umidade ótima de compactação do caulim

O processo produtivo é apresentado na Fig.3. Foram elaboradas formulações substituindo o caulim (K) pelo cimento (C) nas proporções 5, 10 e 20%, os quais foram codificados em A, B, C. Em seguida, a partir da formulação com 20% de cimento, foram adicionados 10, 20 e 40% de areia em substituição ao caulim e as formulações foram codificadas como D, E, e F. Foram então conformados corpos de prova cilíndricos 60 mm de diâmetro e 20 mm de espessura em prensa manual com pressão de compactação de 20 MPa, a qual foi suficiente para produzir tijolos resistentes [27]. Foi utilizado ainda 0,2% de amido como aditivo, conforme Tab.2, em teste prévio para melhorar a plasticidade.

Os componentes utilizados foram devidamente peneirados em peneiras, o caulim em peneira nº 40 (0,297mm), o cimento em nº 100 (0,177 mm) e a areia na peneira nº 16(1,18 mm), respectivamente. A mistura foi realizada de maneira manual com o auxílio de uma espátula e a água foi adicionada, 8%, por meio de um borrifador. Por fim, a mistura foi passada na peneira de abertura nº 16 (1,18 mm) e prensadas, vide Tab.2

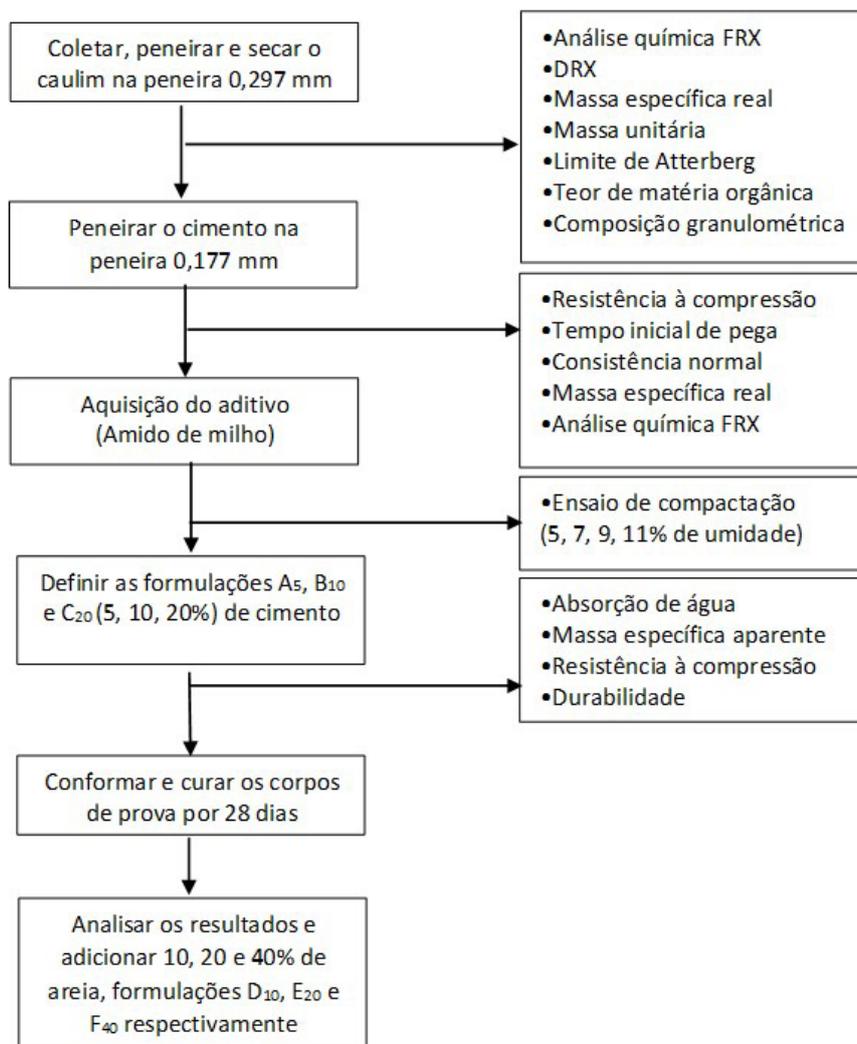


Figura 3. Processo produtivo do tijolo solo cimento

Tabela 2. Formulações em massa (%) dos corpos de prova de tijolo de solo-cimento (C) com caulim (K)

Formulação	Cimento (%)	Caulim (%)	Areia (%)	Aditivo (%)	Água (%)
A	5	95	-	0,2	8
B	10	90	-	0,2	8
C	20	80	-	0,2	8
D	20	70	10	0,2	8
E	20	60	20	0,2	8
F	20	40	40	0,2	8

Foi adotado o processo de cura a 7 e 28 dias à sombra, sem molhar, o qual é a pior condição de cura conforme apresentado na Fig.4.

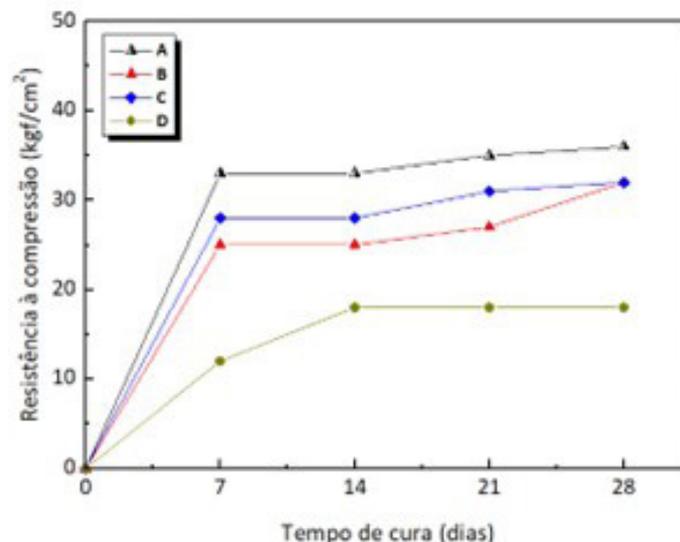


Figura 4. Tipos de cura [28]; A: cura em câmara úmida; B: Cura ao ar livre e molhando 4 vezes ao dia; C: Cura à sombra e molhando 2 vezes ao dia; D: Cura à sombra sem molhar

2.3. Ensaios com corpos de prova após cura:

Os ensaios realizados com os corpos de prova após cura estão apresentados na Tab.3. Em relação ao ensaio de durabilidade, foram adotados 5 ciclos de molhagem e secagem mais escovação, com base na norma ABNT NBR 13554:2012. Em relação à absorção de água, foi adotado o método de imersão em água em ebulição por um período de 2 h, conforme ABNT NBR 9798:2009.

Tabela 3. Caracterização dos tijolos de solo cimento após cura

Ensaio	Norma
Resistência à compressão (MPa)	[64]
Absorção de água (%)	[65]
Durabilidade (%)	[66]

2.4. Análise de imagem por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV):

As imagens foram realizadas em um microscópio eletrônico de varredura Jeol JSM-6510LV. As amostras foram cortadas em tamanho ideal para encaixe com auxílio de uma serra de corte com o fim de obter uma amostra de seção circular de aproximadamente 2,5 cm de diâmetro e 2,0 cm de altura. Em seguida, as amostras foram cobertas com ouro.

2.5. Tratamento e análise dos dados:

Os resultados dos ensaios das propriedades das argamassas são apresentados como média aritmética das amostras dos corpos de provas e desvio padrão, por composição. Foi analisada a normalidade dos dados e, desta forma, foi realizada uma análise estatística por análise de variância (ANOVA), adotando-se uma probabilidade de significância (valor-p) menor que ou igual a 0,05 ($p \leq 0,05$), seguida do teste de Tukey.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

3.1. Caracterização das matérias-primas:

Os resultados da caracterização das matérias primas são apresentados na Tab.4.

Tabela 4. Caracterização das matérias primas

Ensaio	Cimento (requisito normativo)	Caulim	Areia
Consistência normal (%)	31	-	-
Tempo de início de pega (min)	160 (≥ 60)	-	-
Massa específica real (g/cm^3)	2,91	2,61	2,65
Resistência à compressão (3 dias) (MPa)	11 (≥ 10)	-	-
Resistência à compressão (7 dias) (MPa)	21 (≥ 20)	-	-
Massa unitária no estado solto (g/cm^3)	-	0,829	1,52
Massa unitária compactada (g/cm^3)	-	0,989	1,62
Limite de liquidez (%)	-	33	-
Limite de plasticidade (%)	-	28,03	-
Teor de matéria orgânica (%)	-	0,6	-
Índice de plasticidade (%)	-	4,97	-

Com relação ao cimento, pode-se concluir que: o valor do tempo de início de pega atende aos requisitos da ABNT NBR 16697 [29]. Os valores de resistência à compressão aos 3 e 7 dias de cura foram próximos aos requisitos mínimos. A consistência normal e a massa específica real foram similares às encontradas por outros autores [30-32].

Com relação ao caulim, pode-se concluir que: o índice de plasticidade encontrado (4,97%) é inferior ao preconizado pela ABCP [15] ($\leq 18\%$) e muito inferior ao de solos utilizados na produção de tijolos de solo cimento por outros autores [1,3,9,33,34]. Sendo assim, foi utilizado o amido de milho para regular a plasticidade. O teor de matéria orgânica é de 0,6%, semelhante ao encontrado por Hany et al. [35], sendo preferível $\leq 1\%$ [15]. Os resultados de massa específica real e massa unitária foram semelhantes aos encontrados por outros estudos [36-38]. Com relação à areia, os resultados da massa específica real e massa unitária são semelhantes aos encontrados por outros autores [36-39].

O resultado da análise química das matérias-primas é apresentado na Tab.5. De acordo com a análise química, o cimento é composto majoritariamente por CaO, responsável pela formação de fases cristalinas, semelhante ao encontrado por outros autores [40-44]. O caulim é composto em grande parte por SiO_2 proveniente da caulinita e do quartzo livre, os quais diminuem a plasticidade, comprometendo assim a compactação, seguido de Al_2O_3 e K_2O , provenientes da muscovita [12,45,46]. A areia é composta majoritariamente por SiO_2 [47-49].

Tabela 5. Análise química das matérias-primas

Material	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	TiO_2	SO_2	SO_3	MgO	PF
Cimento	8,6	-	77,1	5,0	1,4	0,36	2,3	-	-	5,2
Caulim	48,00	23,5	-	2,5	10,6	-	-	-	-	13,0
Areia	95,2	0,17	1,2	0,29	0,03	-	-	0,17	0,30	2,5

Os resultados da caracterização mineralógica do caulim, são apresentados na Fig.5. O caulim é constituído por 39,1% de caulinita, 34,8% de muscovita e 26,0% de quartzo [50]. A estimativa da quantificação das fases foi obtida pelo aplicativo Match versão Trial.

Com relação à granulometria apresentada na Fig.6, os solos recomendados para a conformação de tijolos de solo cimento devem passar 100% na peneira de 4,8 mm e ter 10 a 50% das partículas passando na peneira de nº 200 (0,074 mm) [15,51]. A partir da análise da Fig.6, conclui-se que na abertura de 4,8 mm o solo atendeu às exigências, porém na abertura 0,074 mm, tanto o caulim como a areia passaram cerca de 0%, sendo o solo considerado mais grosso [52,53].

Em relação à descontinuidade granulométrica, ambos os solos foram classificados como uniformes e bem graduados, com coeficientes de uniformidade (Cu) e curvatura (Cc): caulim (Cu = 2,3; Cc = 1,26) e areia (Cu = 2,11; Cc = 1,15) [54]. O Cu é definido como D_{60}/D_{10} , a razão entre o diâmetro onde passa 60% das partículas e o diâmetro onde passa 10%. Já o (Cc) é a razão do $(D_{30})^2/D_{60}.D_{10}$.

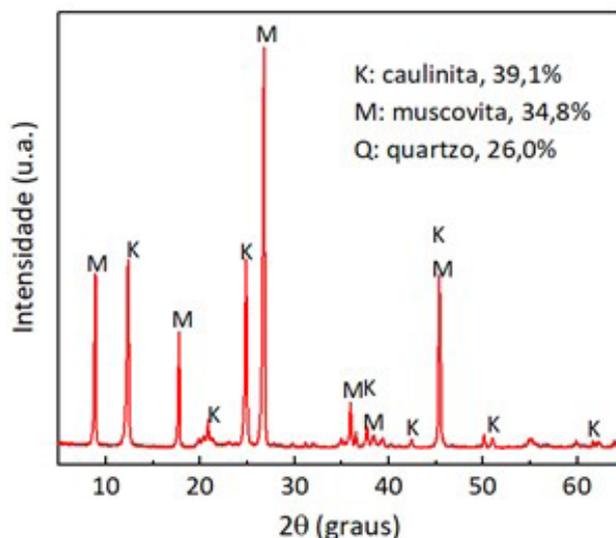


Figura 5. Composição mineralógica do caulim

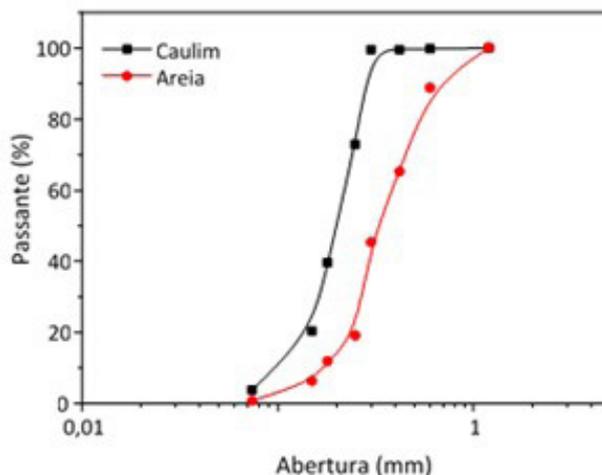


Figura 6. Curvas granulométricas do caulim e da areia

3.2. Caracterização das formulações após cura:

3.2.1. Resistência à compressão:

Os resultados foram analisados por análise de variância (ANOVA) (Tab.6) e teste de Tukey, onde notou-se diferença significativa entre as médias da resistência à compressão.

Tabela 6. Resultado do teste de ANOVA para a resistência à compressão

Propriedade	F crítico	F	Valor-p
Resistência à compressão	4,25	147,54	1,32 × 10 ⁻⁷

Conforme mostrado na Fig.7, os resultados de resistência à compressão foram maiores que o mínimo estabelecido por norma aos 7 dias de cura (2 MPa). A resistência oscilou entre 5-8 MPa, aos 7 dias e após 28 dias oscilou entre 7-14 MPa, ou seja, houve acréscimo de 200 e 700% respectivamente em relação

ao mínimo. Os resultados da resistência foram maiores em relação aos encontrados para tijolos de solo cimento por outros autores [7,54-57]. Esse acréscimo da resistência pode ser explicado devido às propriedades aglomerantes do cimento e foi observado que 10% de cimento já foi suficiente para atingir a o mínimo requerido. Para Nahi et al. [58], o acréscimo deve-se ao aumento do teor de clínquer, de fases cristalinas como a etringita, responsável pelo aumento da resistência. Para Bhairappanavar et al. [59], que produziram tijolos de $10 \times 20 \times 5 \text{ cm}^3$, a pressão de conformação variou de 2 a 4 MPa. Eles observaram que para tijolos contendo 8% de cimento, a resistência aumentou até 40% ao aumentar a pressão de 2 para 4 MPa. A melhoria da resistência se deve à formação do silicato de cálcio C_2S e ferro aluminato de cálcio C_4AF devido à hidratação do cimento. Por sua vez, a areia ao ser incorporada nas formulações promoveu queda na resistência, principalmente após 28 dias de cura, mas atendeu o mínimo requerido por norma.

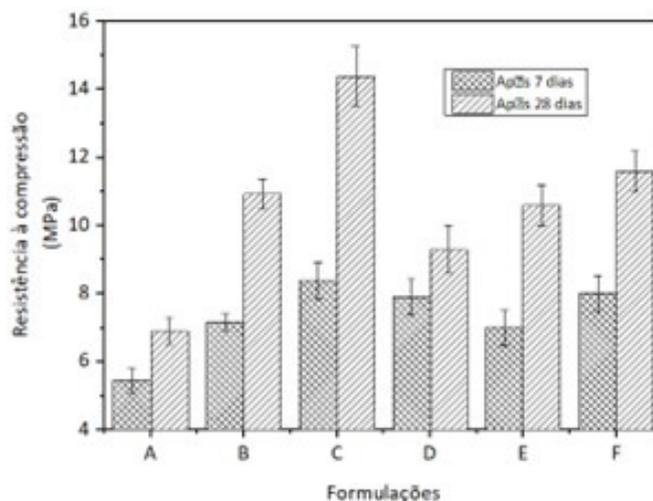


Figura 7. Resistência à compressão após 7 e 28 dias de cura

3.2.2. Absorção de água:

Os resultados de absorção de água foram analisados por análise de variância (ANOVA) (Tab.7) e teste de Tukey. Entre as formulações que não continham areia (A5 e C20) não houve diferença significativa; no entanto, com a incorporação de areia (D10 e F40), houve diferença significativa.

Tabela 7. Resultado do teste de ANOVA para a absorção de água

Absorção de água	F crítico	F	Valor-p
A5 e C20	4,25	2,85	0,109565
D10 e F40	4,45	93,05	$2,89 \times 10^{-6}$

De acordo com a Fig.8, os resultados de absorção de água atenderam aos parâmetros de norma, com valores de absorção de água entre 7-15%, menor que o máximo permitido por norma ($< 20\%$) e semelhante ao encontrado por outros autores [55,58-60].

3.2.3. Durabilidade:

De acordo com a Tab.8, os resultados com a ANOVA e teste Tukey apresentaram diferenças significativas. De acordo com a Fig.9, a perda de massa reduziu 250% com a incorporação de pelo menos 10% de cimento. Foi observado que a incorporação da areia não afetou a durabilidade e sim a quantidade de aglomerante. Os resultados encontrados estão de acordo com o que a norma recomenda, perda de massa ($< 7\%$) [64].

Após a finalização da pesquisa, foi moldado um tijolo maciço de solo cimento com caulim (Fig.10), o tijolo apresenta-se de coloração branca, o que pode ser também utilizado em decoração de ambientes.

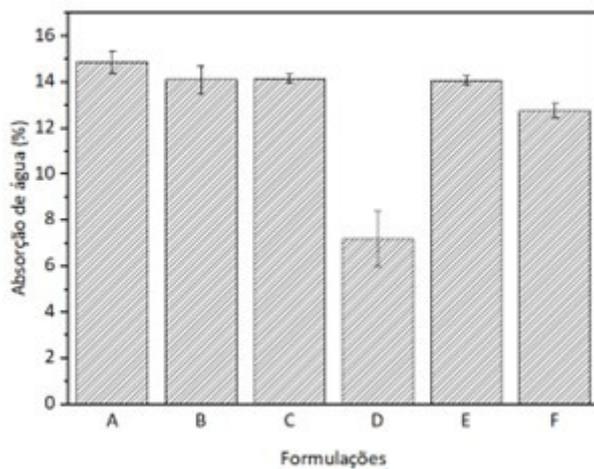


Figura 8. Absorção de água após 28 dias de cura

Tabela 8. Resultado do teste de ANOVA para a perda de massa

Perda de massa	F _{crítico}	F	Valor-p
A5 e C20	4,25	40,08	3,3×10 ⁻⁵
D10 e F40	4,45	12,61	0,003357

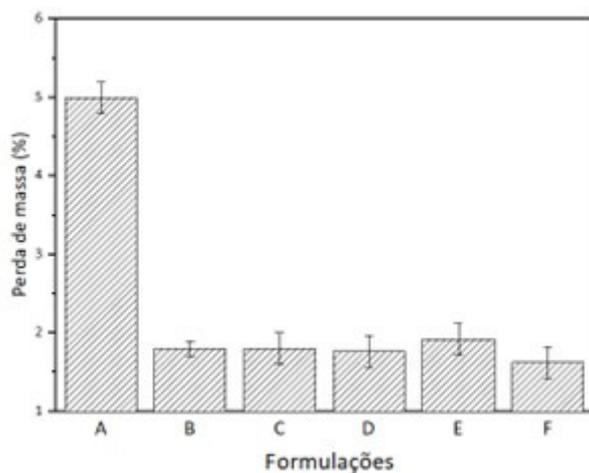


Figura 9. Perda de massa após 5 ciclos do ensaio de durabilidade

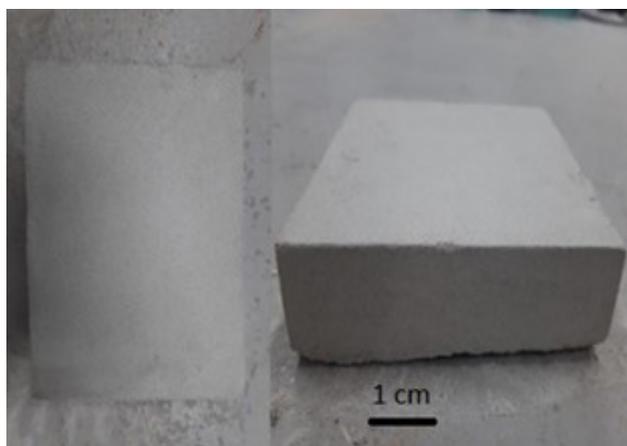


Figura 10. Tijolo de solo cimento com caulim

3.3.3. Análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV):

Neste estudo foi observado que, em geral, a resistência à compressão média dos corpos de prova sem a incorporação da areia apresenta valores maiores que os corpos de prova com a incorporação de areia, provavelmente devido ao menor empacotamento das partículas quando se acrescentou a areia, o que pode ser observado nas imagens de MEV (Fig.11).

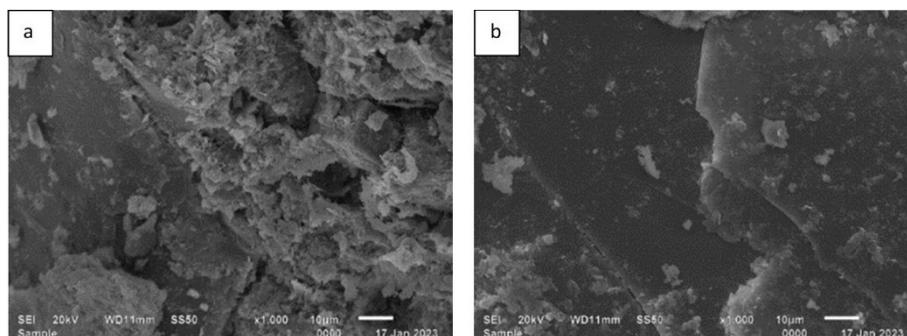


Figura 11. (a) MEV com 40% de areia (a) e da formulação sem areia (b)

A partir da imagem da Fig.11, pode-se analisar que a superfície do corpo de prova com 40% de areia apresentou uma superfície mais rugosa e a sem areia mais lisa, de melhor acabamento e mais compactada, o que contribuiu para a diferença da resistência. No entanto, é importante destacar que apesar da resistência dos corpos de prova sem areia serem maiores dos que não continham areia, ambas as resistências foram maiores do que o recomendado por norma (mínimo de 2 MPa).

4. CONCLUSÕES:

Para os corpos de prova sem areia, as seguintes conclusões podem ser feitas:

A incorporação de cimento nas formulações aumentou significativamente os resultados de resistência à compressão dos corpos de prova analisados. Esses resultados foram observados tanto na cura após 7 dias, quanto após os 28 dias. Todos os valores encontrados foram superiores aos recomendados por norma, 2 MPa;

A incorporação de cimento não apresentou diferença significativa para a absorção de água.

Com a incorporação de cimento de 5 para 10% houve uma diminuição significativa da perda de massa, ou seja, uma melhora na durabilidade. A partir da incorporação de 10 para 20% a perda de massa foi estabilizada, não apresentando, assim, alteração na durabilidade.

De modo geral, pode-se concluir que todas as formulações estudadas (A5, B10, C20), atenderam aos requisitos normativos para tijolos de solo cimento.

Com relação aos corpos de prova de tijolos de solo cimento que continham areia na sua composição, foi possível observar que:

Com a incorporação de 10% da areia houve uma diminuição da absorção de água dos corpos de prova, no entanto, foi observado um aumento de absorção com o aumento do teor de areia, levando a concluir que existe um teor ideal de areia para a diminuição da absorção de água, que neste estudo é de 10%. No entanto, todos os resultados ficaram abaixo de 20%, o máximo recomendado por norma.

Foi observado que a durabilidade das formulações estudadas (D10, E20, F40) atenderam aos requisitos normativos, pois a perda de massa ficou muito abaixo do máximo permitido por norma (7-14%).

Os resultados para a resistência à compressão foram positivos, sendo maiores em comparação a outros tijolos de solo cimento encontrados na literatura, além de atender o mínimo exigido por norma.

Com os resultados apresentados pode-se concluir que o objetivo deste trabalho foi atendido, pois foi produzido um tijolo de solo cimento com caulim que possui boa resistência à compressão, baixa absorção de água e boa durabilidade. Sendo assim, os tijolos de solo cimento com caulim apresentaram-se como uma alternativa viável, pois atingiram os valores mínimos requeridos por norma.

REFERÊNCIAS

- [1] Silva C T M, 2019. Análise da absorção de água de tijolos de solo-cimento incorporados com pó de brita. Angicos: Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido.
- [2] Santos A A, Santos A, Rodrigues M D, Oliveira T A, 2020. Estudo da potencialidade da construção com terra visando a sustentabilidade em Sergipe. Caderno de Graduação, Ciências Humanas e Sociais, UNIT 6, 79-94.
- [3] Lima R C O, 2010. Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito. Campina Grande: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande.
- [4] Miranda C M, 2019. Estudo de tijolos de solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil na sua composição. Palmas: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins.
- [5] Pisani M A, 2006. Um material de construção de baixo impacto ambiental: O tijolo de solo-cimento. Revista Aedificandi 1, 1-17.
- [6] Sala L G, 2006. Proposta de habitação sustentável para estudantes universitários. Ijuí: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.
- [7] Rodrigues L P, Holanda J N F, 2021. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. Cerâmica 59, 551-556, 2013.
- [8] Nascimento E S S, Souza P C, Oliveira H A, Júnior C M M, Almeida V G de O, Melo F M C 2021. Soil-cement brick with granite cutting residue reuse. Journal of Cleaner Production 321, 129002.
- [9] Segantini A A S, Wada P H, 2011. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. Acta Scientiarum Technology 33, 179-183.
- [10] Souza M I B, Segantini A A S, Pereira J A, 2008. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 12, 205-212.
- [11] 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. Interações 20, 283-296.
- [12] Anjos C M, 2011. Utilização de resíduos de caulim em tijolos de solo-cal. Campina Grande: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande.
- [13] Mendonça A M G D, Souza L M C, Lira Y C, V F de Sousa Neto, Negreiros E V, 2021. Resíduo de caulim como material alternativo para produção de blocos de tijolos solo-cimento. Brazilian Journal of Development 7, 44168-44178.
- [14] Mendonça A M G D, Souza L M C, Neto V F S, Araújo M L R, Silva M T R, Mendonça A M G D, 2000. Reuso de resíduo de caulim na produção de tijolos solo cimento. Campo Grande: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental 1-5.
- [15] ABCP, 1985. Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. Associação Brasileira de Cimento Portland.
- [16] NBR 7215, 2019. Cimento Portland. Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [17] NBR 16606, 2018. Cimento Portland. Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [18] NBR 16607, 2018. Cimento Portland. Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [19] ASTM D854-02, 2002. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. American Society for Testing Materials.
- [20] NBR 16972, 2021. Agregados. Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [21] NBR 6459, 2017. Solo. Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [22] ASTM D2974, 2020. Standard test methods for determining the water (moisture) content, ash content, and organic material of peat and other organic soils. American Society for Testing Materials.
- [23] NBR 7181, 2018. Determinação do índice de granulometria. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [24] ASTM D4318, 2017. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. American Society for Testing Materials.
- [25] Celik H, 2010. Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry. Applied Clay Science 50, 245-254.
- [26] NBR 12023, 2012. Solo-cimento. Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [27] Harries K A, Sharma B, 2016. Nonconventional and vernacular construction materials. Characterization, properties and applications, 205-249.
- [28] Silva S R, 2005. Tijolos de solo-cimento reforçado com serragem de madeira. Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais.
- [29] NBR 16697, 2018. Cimento Portland. Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [30] Soares S M, 2021. Durabilidade de compósitos cimentícios de ultra alto desempenho com incorporação de pó de vidro frente à ação de cloretos. São Carlos: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de São Carlos.
- [31] Pires M M, Nascimento C D, Souza E G, Kruger K, Gabriela H, 2021. Utilização de sulfato de bário como constituinte de concreto para blindagem de salas de radiologia. Matéria 26, 1-13.
- [32] Freitas M S, 2022. Avaliação do fator de idade em concretos com adições minerais. João Pessoa: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba.
- [33] Zak P, Ashour T, Korjenic A, Korjenic S, Wu W. 2016. The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials. Construction and Building Materials 106, 179-188.
- [34] Vilela A P, Eugênio T M C, Oliveira F F, Mendes J F, Ribeiro A G C, Vaz L L E B M, Mendes R F, 2020. Technological properties of soil-cement bricks produced with iron ore mining waste. Construction and Building Materials 262, 120883.

- [35] Hany E, Fouad N, Wahab MA, Sadek E, 2021. Investigating the mechanical and thermal properties of compressed earth bricks made by eco-friendly stabilization materials as partial or full replacement of cement. *Construction and Building Materials* 281, 122535.
- [36] Simões M, Anoni L, Andrade D, Trigo A, 2022. Avaliação mecânica de concretos com agregado graúdo proveniente de resíduos de construção civil otimizados pela técnica de dopagem. *Concilium* 22, 626-638.
- [37] Arruda J E S, Barata M S, 2022. Cimento de baixo impacto ambiental a partir dos resíduos cauliniticos da Amazônia. *Matéria* 27, 1-20.
- [38] Batista L S, Batista L S, Silva O S, Souza L D P, Filho A L G, Silva MAL, 2022. Planejamento experimental para viabilização da utilização do resíduo da scheelita como agregado miúdo em pavimentos intertravados. *Research, Society and Development* 11, 1-18.
- [39] Faquim G M, 2021. A influência da análise granulométrica e da massa específica aparente na determinação de traços para pavimentos moldados com resíduos de construção civil (RCC) misto. *Revista Técnico-Científica* 26, 1-23.
- [40] Mattana A J, Pereira E, Costa M R M M, 2013. Influência dos constituintes do revestimento de argamassa sobre as suas propriedades reológicas. *Publicatio UEPG, Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias* 19, 33-44.
- [41] Romano R C O, Fujii A L, Souza R B, Takeash M S I, Pileggi R G, Cincotto M A, 2016. Acompanhamento da hidratação de cimento Portland simples com resíduo de bauxita. *Cerâmica* 62, 215-223.
- [42] Anjos M A S, Fonseca T V, Mendonça L K M, Perdeneiras C M, 2016. Avaliação da atividade pozolânica de microsilica cinza densificada e não densificada. *HOLOS* 7, 88-99.
- [43] Souza D J, Medeiros M H F, Hoppe F J, 2018. Evaluation of the SR Portland cement against sodium and magnesium sulfate attack: a physical and comparative analysis of mortars. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais* 11, 1053-1075.
- [44] Borges A K S M, Neto O M M, Mendonça A M G D, 2021. Análise química-mineralógica de cimentos Portland comerciais. *Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis* 15, 66-73.
- [45] Pinto R B, Fabrício E P, Brum N D, Köhler F A, 2019. Resíduos da construção civil: matéria prima verde a ser investigada. *Brazilian Journal of Development* 5, 2, 1339-1351.
- [46] Rezende M L S, Menezes R R, Neves G A, Nascimento J W, Leal A, 2008. Utilização do resíduo de caulim em blocos de vedação. *Revista Escola de Minas* 61, 285-290.
- [47] Vieira C M F, Henriques D N, Peiter C C, Carvalho E, Monteiro A S N, 2006. Utilização de gnaiss fino em massa cerâmica para telhas. *Matéria* 11, 211-216.
- [48] Queiroz L F T, Monteiro S N, Vieira C M F, 2010. Efeito da utilização de areia no processamento e nas propriedades de cerâmica vermelha. *Cerâmica* 56, 279-284.
- [49] Souza M T, Cesconeto F R, Arcaro S, Pereira F R, Oliveira A P N, 2014. Caracterização de areias de quartzo do estado de Mato Grosso do Sul para aplicações industriais. *Cerâmica* 60, 569-574.
- [50] Wilson I R, Santos H S, Santos P S, 1998. Caulins brasileiros: alguns aspectos da geologia e da mineralogia. *Cerâmica* 44, 118-129.
- [51] NBR 10833, 2013. Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [52] Oliveira HA, Tavares R S B, Almeida V G O, Melo F M C, Carvalho J E M, 2022. Propriedades de um concreto com incorporação de óxido de alumínio. *Concreto & Construções* 105, 60-65.
- [53] Rodrigues H K S, Oliveira HA, Melo F M C, Almeida V G O, 2022. Propriedades de um concreto leve estrutural com incorporação de argila expandida e resíduo de granito. *Matéria* 27, 1-12.
- [54] Caputo H P, 1988. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora.
- [55] Siqueira F B, Amaral M C, Bou-Issa R A, Holanda J N F, 2016. Influence of industrial solid waste addition on properties of soil-cement bricks. *Cerâmica* 62, 237-241.
- [56] Souza J M, Filho R E B R, Duarte J B, Silva V M, Rêgo S R, Lucena L F L, Acchar W, 2021. Mechanical and durability properties of compressed stabilized earth brick produced with cassava wastewater. *Journal of Building Engineering* 44, 103290.
- [57] Amaral M C, Siqueira F B, Destefani A Z, Holanda J N F, 2013. Soil-cement bricks incorporated with eggshell waste. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Waste and Resource Management* 137-141.
- [58] Nahi S, Leklou N, Khelidj A, Oudjit M N, Zenati A, 2020. Properties of cement pastes and mortars containing recycled green glass powder. *Construction and Building Materials* 262, 120875.
- [59] Bhairappanavar S, Liu R, Shakoor A, 2020. Eco-friendly dredged material cement bricks. *Construction and Building Materials* 271, 1215.
- [60] Leonel R F, Folgueras M V, Valentina O D S, Prim S R, Prates G A, Caraschi J C, 2017. Characterization of soil-cement bricks with incorporation of used foundry sand. *Cerâmica* 63, 329-335.
- [61] França B R, Azevedo A R G, Monteiro S N, Filho F C G, Marvila M T J A, Zanelato E B, 2018. Durability of soil-cement blocks with the incorporation of limestone residues from the processing of marble. *Materials Research* 21, 1-6.
- [62] NBR 8491, 2012. Tijolo de solo cimento. Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [63] NBR 13553, 2012. Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural. Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [64] NBR 9778, 2009. Argamassa e concreto endurecidos. Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [65] NBR 7215, 2019. Cimento Portland. Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [66] NBR 13554, 2012. Solo-cimento. Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Método de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.