

EFEITO DA PERCENTAGEM DE FINOS NO DESEMPENHO DE ADOBES COM ATIVAÇÃO ALCALINA

Adriano da Silva Félix¹; Beatriz Lemos Santiago²; Raimundo Gonçalves Ribeiro Neto³; Brunna Lima de Almeida Victor Medeiros⁴; Normando Perazzo Barbosa⁵; Khosrow Ghavami⁶

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal da Paraíba - Campus João Pessoa, Brasil,

¹adriano.s.felix@hotmail.com; ³rnetogoncalves@hotmail.com; ⁵nperazzob@yahoo.com.br

² Departamento de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal da Paraíba - Campus João Pessoa, Brasil,
beatrizlemos_s@hotmail.com

⁴ Departamento de Engenharia de Materiais - Universidade Federal de Campina Grande - Campus Campina Grande, Brasil,
prof.brunna.almeida@gmail.com

⁶Prof. Emérito da Universidade Federal da Paraíba - Campus João Pessoa, Brasil
ghavami@puc-rio.com.br

Palavras-chave: adobe, ativação alcalina, estabilização, caulim.

Resumo

A construção com terra tem grande potencial pelos menores custos, energia incorporada e impactos ambientais gerados. Porém, o adobe, técnica construtiva que utiliza terra, apresenta elevada suscetibilidade à ação da água. A ativação alcalina é um método de estabilização que pretende melhorar esta característica. A presente pesquisa trata-se da análise da influência da quantidade de ligante alcalino ativado e de diferentes percentagens de finos na resistência mecânica e à ação da água em adobes. A pesquisa tem como objetivo identificar a influência do teor de ligante alcalino (1%, 2% e 3%) no desempenho dos blocos; verificar a influência da quantidade de finos (10%, 20% e 30%) no desempenho da ativação alcalina; e verificar o efeito das variáveis anteriores na resistência à ação da água e à compressão nos adobes ativados alcalinamente. Foram utilizados os seguintes materiais: solo, caulim, metacaulim (MK), resíduo cerâmico (RC), silicato de sódio, hidróxido de sódio, água destilada e água. Primeiramente o solo foi caracterizado. Logo após passou-se a produção dos ligantes utilizando o método de Polisialatosiloxo de sódio. O ligante foi misturado manualmente ao solo, acrescido de diferentes quantidades de caulim, e logo após foram moldados corpos de prova cúbicos com 5 cm de aresta, que passaram 7 e 28 dias de cura em estufa a 65° C. Posteriormente foram realizados os ensaios de resistência à água e à compressão. A resistência à ação da água diminuiu com o aumento da quantidade de finos. Inverso do que ocorreu com o aumento da quantidade de ligante, que fez aumentar a durabilidade. No que diz respeito à resistência à compressão os resultados mostram-se similares ao da resistência à água. A resistência mecânica dos blocos tende a diminuir com o aumento do tempo em estufa, sendo os de 7 dias mais resistentes que os de 28.

1 INTRODUÇÃO

Materiais de construção industrializados por vezes apresentam custos elevados, além de envolver um processo produtivo de grande consumo de energia e de geração de impactos ambientais negativos. Produtos que sejam alternativas à estes, com menor custo, menos energia incorporada e com produção de menores impactos no meio ambiente podem ser boas alternativas para problemas como o do déficit habitacional. Dentre estas alternativas está a construção com terra, que apresenta vários benefícios como a disponibilidade, bom desempenho térmico, absorção e liberação de umidade que mantêm o ambiente saudável, produção de uma quantidade mínima de poluição, baixo consumo energético, fácil reincorporação à natureza e fácil geração de tecnologias apropriadas, como afirmam Barbosa e Mattone (2002).

Dentre as inúmeras técnicas que apresentam a terra como matéria prima está o adobe, que vem sendo usado desde as primeiras civilizações. O adobe é produzido por meio de uma

mistura de solo que contenha, segundo Barbosa e Ghavami (2007), entre 15% e 35% de argila, e a adição de água gera uma massa plástica, que após ser moldada manualmente é seca ao ar livre, atingindo rigidez sem necessidade de cozimento (Degirmenci, 2008).

Da ausência da queima decorre uma fragilidade da técnica, sua elevada suscetibilidade à ação da água. Assim, faz-se necessário intervir na matriz do solo para estabilizá-lo, fazendo com que os adobes tenham mais durabilidade. Barbosa e Ghavami (2007) mostram algumas maneiras de estabilização, dentre elas: densificar a terra reduzindo poros e capilaridade; fazer uso de produtos químicos hidrofugantes para reduzir a absorção de água pelos grãos de solo; envolver os grãos de terra por uma fina camada de material impermeabilizante capaz de fazer o fechamento dos poros e canais capilares, como emulsões asfálticas; formar ligações químicas entre os cristais de argila e cal; e criar um esqueleto sólido inerte que se opõe ao movimento dos grãos, é o caso dos agentes de ligação, tais como cimento Portland.

Pelas vantagens mencionadas do uso do material, vê-se coerente a investigação de novos métodos de estabilização do solo. No tipo de estabilização aqui investigado, por ativação alcalina, um fato que pode contribuir para seu sucesso é a presença, na argila (partícula constituinte da terra), de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) na forma amorfa.

Na ativação alcalina, ou geopolimerização, termo sugerido por Davidovits (1991), a coesão do material é devida aos componentes que reagem mineralogicamente no seu interior em um ambiente de pH elevado. Assim, as partículas de aluminossilicato sólidas em meio aquoso altamente alcalino produzem um aluminossilicato sintético dito "geopolimérico". Dessa forma suas estruturas são designadas por polysialatos onde SiO_4 e AlO_4 tetraédricos estão ligadas rotativamente por partilha de átomos de oxigênio formando um material de caráter amorfo ou semicristalino com elevada resistência mecânica (Davidovits, 1991). A Tabela 1 sumariza tais compostos.

Tabela 1. Nomenclatura do geopolímero (Davidovits, 1982).

Designação	Símbolo	Fórmula	Fração	
			Si:Al	$\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$
Poli-sialato	PS	-Si-O-Al-	1	2
Poli-(sialato-siloxo)	PSS	-Si-O-Al-O-Si-O-	2	4
Poli-(sialato-disiloxo)	PSDS	-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-	3	6

Estudos realizados por Davidovits (1982) mostraram, que geopolímeros foram sintetizados utilizando o precursor de caulinita, $\text{Si}_2\text{O}_5\cdot\text{Al}_2(\text{OH})_4$, uma fonte de silício (SiO_2), e soluções de hidróxido de sódio e / ou hidróxido de potássio com diferentes concentrações, numa temperatura da síntese de 150°C . As temperaturas de síntese costumam variar entre 25°C a 100°C , o que influencia tanto a cinética da reação, quanto nas propriedades que determinam o tipo de aplicação do produto sintetizado (Gomes, 2008; Bakharev, 2005; Davidovits, 1987).

O metacaulim e resíduos industriais são os precursores mais utilizados para a obtenção do geopolímero, por serem compostos, em sua maioria, por sílica e alumina. Porém, como dito anteriormente, a própria argila presente na terra a ser ativada alcalinamente contém, mesmo que em poucas proporções, sílica e alumina amorfas. Desta forma, a quantidade de argila presente na reação pode influenciar para o sucesso desta. É sobre esta hipótese que o presente estudo tratará, o efeito da percentagem de argila presente na ativação alcalina, utilizando aqui como precursores o metacaulim e o resíduo cerâmico.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo verificar o efeito da quantidade de argila (caulim) no desempenho da ativação alcalina de adobes; identificar a influência do teor de ligante alcalino (1%, 2% e 3%) no desempenho dos blocos; e verificar o efeito das variáveis anteriores na resistência à compressão e resistência à ação da água nos adobes ativados alcalinamente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes materiais: solo local, metacaulim (MK), resíduo cerâmico (RC), caulim, silicato de sódio industrializado (Na_2OSiO_3), hidróxido de sódio (NaOH), água destilada e água da rede de distribuição pública. Todos ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

3.1 Caracterização do solo

O solo foi caracterizado em seu estado natural, antes de ser a ele adicionado caulim, sua composição granulométrica e índices físicos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização do solo em estado natural

Composição granulométrica do solo in natura (%)	
Areia (0,06 mm a 2,0 mm)	60
Silte (0,002 mm a 0,06 mm)	27
Argila (< 0,002 mm)	13
Limites de Atterberg (%)	
Limite de liquidez	28,2
Limite de plasticidade	19,7
Índice de plasticidade	11,3

3.2 Precursor geopolimérico (MK e RC)

Na ativação alcalina foram utilizados dois precursores geopoliméricos, o metacaulim, por ser um dos mais comuns para este tipo de ativação, pois sua composição é rica em sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), e o resíduo cerâmico proveniente de telhas indústria local e triturado em moinho de bolas, por razões ambientais e devido ao fato de ser também rico nestes óxidos. Suas composições químicas foram verificadas por ensaio de fluorescência de raios X (FRX) e está indicado na Tabela 3.

Tabela 3. Composição química dos precursores utilizados

Composto químico	Metacaulim (%)	Resíduo Cerâmico (%)
Sílica (SiO_2)	54,003	60.101
Alumina (Al_2O_3)	38,584	24.398
Hematita (Fe_2O_3)	3,585	6.814
Potássio (K_2O)	0,723	2.809
Cálcio (CaO)	0,380	1.649

Sódio (Na ₂ O)	0,171	0.171
Magnésio (MgO)	1,236	1.815
Outros	1,318	2.243

3.3 Água

Para a produção das soluções alcalinas, com silicato de sódio, foi utilizada água destilada (H₂O_{dest.}), já para obter a plasticidade necessária às misturas, foi utilizada água potável (H₂O_{pot.}).

3.4 Soluções alcalinas (silicato de sódio)

Nas soluções alcalinas foi utilizado o silicato de sódio industrializado encontrado no comércio local, este apresentou relação SiO₂/Na₂O = 2,17 em peso e pH de aproximadamente 13.

3.5 Misturas

O método proposto por Davidovits (1982) para gerar os compostos do tipo NaPSS (polissialatosiloxo de sódio) foi o abordado para a produção do ligante geopolimérico. O método consiste na mistura de alumino-silicatos em solução alcalina, onde a composição da mistura tenha razões molares de óxidos dentro dos valores indicados na Tabela 4.

Tabela 4. Razão molar necessária para a formação de geopolímeros. (Davidovits, 1982).

Razões molares dos óxidos	
Na ₂ O/SiO ₂	0,20 a 0,28
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3,50 a 4,50
H ₂ O/Na ₂ O	15,00 a 17,50
Na ₂ O/Al ₂ O ₃	0,80 a 1,20

Foram preparadas misturas com percentagens do ligante ativado alcalinamente de 1%, 2% e 3% em relação à massa do solo. Ao solo, por sua vez, foram adicionados 10%, 20% e 30% de caulim (argila caulínica), além do solo em estado natural, chamado aqui de referência. As proporções dos materiais para a produção do ligante alcalino podem ser verificadas na Tabela 5.

Tabela 5. Proporções utilizadas na ativação do solo

Solo	Ativador alcalino %	% Ativador alcalino				% H ₂ O _{pot.}
		Precursor (MK ou RCV)	Na ₂ O.2SiO ₃	NaOH	Água destilada	
100	1%	0,37	0,36	0,04	0,22	12,0
100	2%	0,74	0,73	0,08	0,44	10,4
100	3%	1,12	1,10	0,12	0,66	10,4

A quantidade de água potável apresentada na Tabela 5 foi utilizada no solo de referência do estudo realizado por Félix et al. (2015), enquanto nas demais misturas a percentagem variou. Quando acrescido 10% de caulim ao solo ativado com 1% de ligante a quantidade de água na mistura foi 14%, já quando ativado com 2% e 3% de ligante a quantidade caiu para 12% e 10%, respectivamente. Com 20% de caulim no solo ativado com 1% de ligante a

quantidade de água foi 18%, caindo para 14% quando ativado com 2% e 3% de ligante. Já com 30% de caulim no solo ativado com 1% e 2% de ligante a quantidade de água foi 18%, caindo para 15% no solo ativado com 3% de ligante.

Os materiais foram misturados e moldados manualmente, produzindo corpos de prova de formato cúbico com 5 cm de aresta. Após a desmoldagem os corpos de prova ficaram em sacos plásticos por 3 dias para ajudar a conservar a água da mistura (Sumajow, Rangan, 2006). Na sequência foram levados à estufa elétrica para curar em uma temperatura de 65°C, onde permaneceram 7 e 28 dias para posteriormente serem identificados (tendo em vista que agora estavam secos permitindo a fixação da tinta) para serem feitos os ensaios de resistência à água e a compressão. Para cada mistura foram produzidos 9 corpos de prova: 3 para o ensaio de resistência à água, 3 para resistência à compressão de 7 dias e 3 para resistência à compressão 28 dias. Os resultados derivam da média aritmética dos resultados individuais de cada corpo de prova.

As etapas do processo de mistura podem ser verificadas na Figura 1.

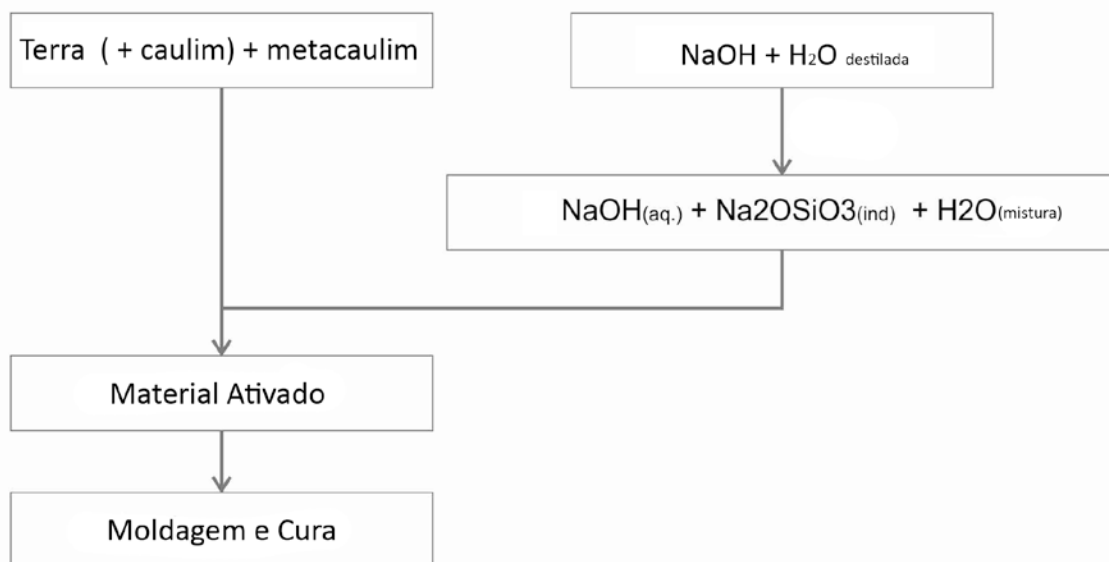


Figura 1. Processo de moldagem dos corpos de prova

3.6 Ensaios de integridade sob ação da água, absorção de água e perda de massa

Os ensaios de integridade dos corpos de prova sob imersão em água e de absorção de água foram feitos considerando-se uma adaptação da norma NBR 8492 ABNT, 2012).

Após moldagem os corpos de prova passaram por cura de 7 dias em estufa a 65°C, após resfriamento em temperatura ambiente foi iniciado o ensaio com sua imersão em água com duração de 24 horas. A absorção de água pelas amostras foi determinada pela equação 1 nas amostras onde foi possível determinar sua massa após o ensaio.

$$W = \frac{P_w - P_s}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

W: absorção de água (%)

Pw: massa úmido (g)

Ps: massa seca (g)

A perda de massa foi determinada pela (equação 2).

$$M = \frac{P1 - P2}{P2} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

M: Perda de massa (%)

P1: Massa antes do ensaio (g)

P2: Massa depois do ensaio (g)

3.7 Ensaios de resistência à compressão

Para a realização do ensaio de resistência à compressão foi utilizado uma prensa manual com capacidade de carga de 10 toneladas que pode ser visualizada na figura 2.



Figura 2. Máquina para o ensaio de resistência à compressão

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Integridade e absorção de água

A maioria dos corpos de prova estabilizados por meio da ativação alcalina (62,5%) apresentou integridade sob ação da água. As amostras de referência mostraram-se quase sempre resistentes, exceto a que apresentava 1% de ligante utilizando o resíduo cerâmico como precursor. Quando passamos para as amostras que receberam adição de caulim, pode-se verificar a diminuição da durabilidade, nenhum dos corpos de prova com caulim continuou íntegro sob à água quando estabilizado com 1% de ligante. As amostras com 30% de caulim só resistiram quando estabilizadas com 3% do ativador alcalino. Nota-se também o aumento da absorção de água a medida que a quantidade de finos é maior na mistura, fato devido a área maior área de superfície apresentada por tais partículas. Estes resultados podem ser vistos com mais detalhes na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados dos ensaios de determinação da resistência a ação da água e da absorção de água.

Caulim (%)	Ligante (%)	Massa (g)	Integridade dos corpos de prova imersos em água por 24h	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Massa de água (g)	Absorção de água (%)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
Metacaulim (MK)									
Ref.	1%	248,2	sim	277,4	247,0	28,5	11,5	1,2	0,5
	2%	244,5	sim	269,9	244,0	25,4	10,4	0,5	0,2
	3%	226,6	sim	249,3	226,5	22,6	10,0	0,1	0,0
10%	1%	235,9	não	--	--	--	--	--	--
	2%	238,0	sim	264,1	236,3	25,9	10,9	1,7	0,7
	3%	224,8	sim	249,6	224,5	24,7	11,0	0,3	0,1
20%	1%	233,0	não	--	--	--	--	--	--
	2%	238,3	sim	269,4	234,5	31,1	13,0	3,8	1,6
	3%	220,4	sim	246,4	220,1	25,9	11,8	0,3	0,1
30%	1%	214,8	não	--	--	--	--	--	--
	2%	220,4	não	--	--	--	--	--	--
	3%	213,0	sim	239,9	212,7	26,8	12,6	0,3	0,1
Resíduo cerâmico (RC)									
Ref.	1%	240,6	não	--	--	--	--	--	--
	2%	252,1	sim	277,4	251,7	25,7	10,2	0,4	0,15
	3%	249,1	sim	271,4	245,4	26,0	10,4	3,7	1,5
10%	1%	240,5	não	--	--	--	--	--	--
	2%	235,1	sim	261,6	235,0	26,6	11,3	0,1	0,05
	3%	239,5	não	264,8	239,6	25,2	10,5	-0,1	-0,04
20%	1%	219,6	não	--	--	--	--	--	--
	2%	229,9	sim	259,9	228,4	31,5	13,7	1,5	0,7
	3%	219,2	sim	244,7	218,9	25,8	11,8	0,3	0,14
30%	1%	212,5	não	--	--	--	--	--	--
	2%	214,2	não	--	--	--	--	--	--
	3%	225,6	sim	253,6	224,4	29,2	12,9	1,2	0,5

4.2 Ensaio de resistência à compressão

Nos ensaios de resistência à compressão as amostras que obtiveram melhor desempenho foram as com as menores quantidades de caulim, a resistência também foi menor quando as misturas contaram com menores quantidades de ligante. Na maioria dos casos a resistência a compressão tendeu a diminuição com o aumento do tempo em estufa, sendo as amostras que passaram 7 dias mais resistentes do que as que passaram 28 dias de cura. Esse resultado, porém, é inverso as amostras de referência, que aumentaram a resistência ao passo que aumentou o tempo de cura. Com relação a influência dos dois diferentes

precursores, percebe-se, principalmente nas amostras de 7 dias, que o metacaulim alcançou melhores resultados que o resíduo cerâmico. Porém, nas amostras de 28 dias algumas misturas que contam com resíduo cerâmico superam os resultados das que contam com metacaulim, em alguns casos, inclusive, superando também os resultados das amostras de 7 dias, tendo aumento de resistência mecânica. Estes resultados podem ser verificados nas Figura 3 e 4.

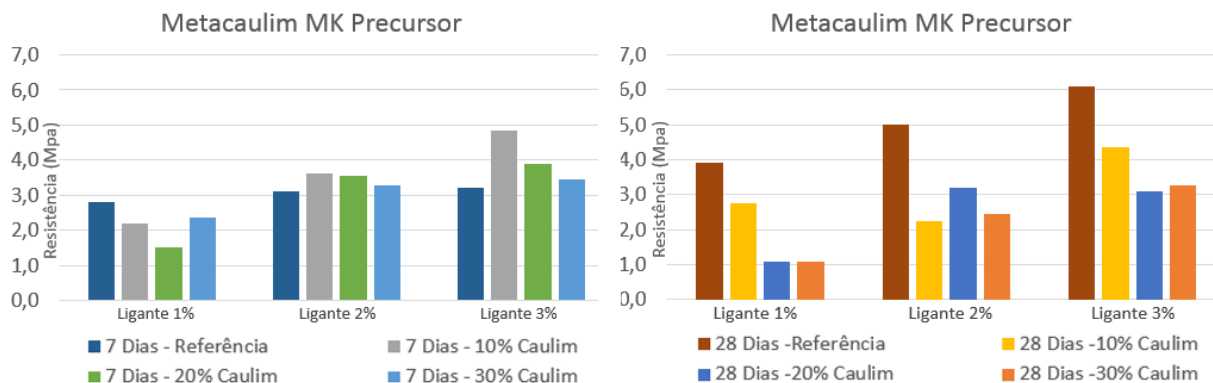


Figura 3. Resistência à compressão com cura de 7 e 28 dias em estufa (MK)

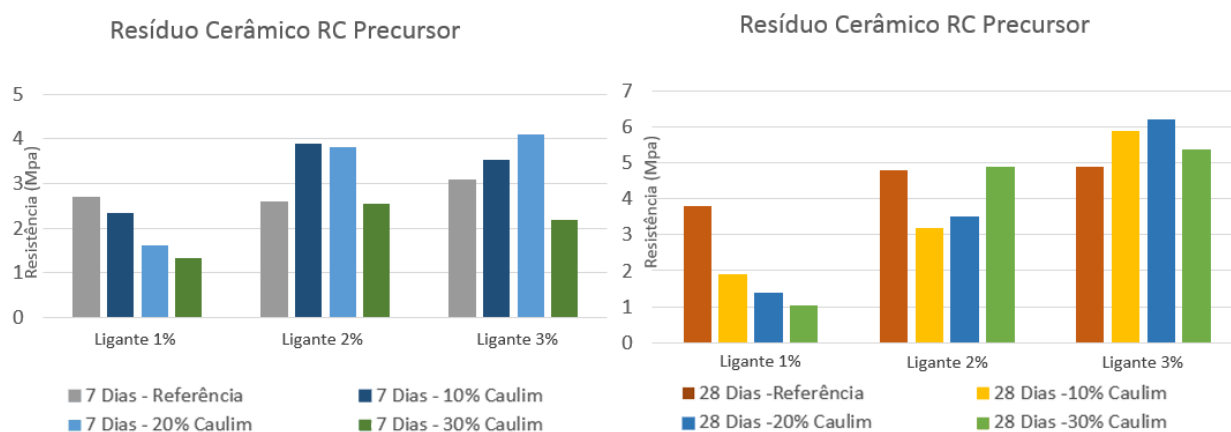


Figura 3. Resistência à compressão com cura de 7 e 28 dias em estufa (RC)

Como as amostras de referência (sem adição de caulim) apresentaram melhores resultados também nos testes de resistência a compressão, percebe-se mais uma vez a influência negativa da adição de finos neste caso. De acordo com esses resultados parciais, é levantada a hipótese de que uma grande parcela do material fino adicionado ao solo não tem reatividade suficiente para participar da síntese geopolimérica, dessa forma, estando na matriz do solo apenas como material agregado. Porém, exceto as amostras de 20% e 30% de caulim ativadas com 1% ligante dos dois precursores, os corpos de prova apresentaram resistência à compressão com valores iguais ou superiores aqueles estabelecidos a NBR 7171 classe A e B que são 1,5 MPa e 2,5 MPa, respectivamente (ABNT, 2005).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível demonstrar neste estudo a influência negativa da adição de finos à terra a ser estabilizada por ativação alcalina. Este fato foi constatado pelo aumento da perda de massa quando submetida à ação da água, assim como a queda da resistência mecânica, que tendeu a diminuir com o acréscimo de finos e também com o maior tempo de cura em estufa. A diferença nos resultados também pôde ser percebida no que se refere aos dois precursores utilizados, onde o metacaulim teve na média os melhores resultados. Apesar de ensaios químicos e microscópicos dos materiais envolvidos poderem mostrar com mais

profundidade a natureza das reações, é possível dizer que o caulim não teve reatividade suficiente para influenciar na reação, gerando tais resultados.

Porém, mesmo apesar de identificar a influência negativa da adição de finos, percebe-se que a ativação alcalina alcançou índices de desempenho de resistência à compressão dentro do estabelecido pelas normas. Assim, como também foi possível perceber que, mesmo com acréscimo de finos à mistura, os corpos de prova ainda resistiram à ação da água, resultando em pouca perda de massa.

Conclui-se assim que este é um método que merece ser investigado de modo que suas limitações e vantagens sejam cada vez mais conhecidas e assim venha a ser adotado em mais práticas de melhoria deste material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). NBR 7171: Bloco cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro: ABNT. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=53938>>

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=193718>>

Bakharev, T. (2005). Durability of geopolymer materials in sodium and magnesium sulfate solutions. *Cement and Concrete Research*, 35, 1233–1246

Barbosa, N. P., Ghavami, K. (2007). Terra crua para edificações. São Paulo: IBRACON v. 2, p. 1505-1538. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/riem/volumes.asp>

Barbosa, N. P.; Mattone, R. (2002). Construção com terra crua. I Seminário Ibero-americano de Construção com Terra. Salvador, BA, Anais Proterra/CYTED. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/2106795/2-terra-cap-ibracon/11>>

Davidovits, J. (1982). Mineral polymers and methods of making them. US Patent 4.349.386. 14 Set 1982. Disponível em: <<http://www.google.com/patents/US4349386>>

Davidovits, J. (1987) Ancient and modern concretes: Whats is the real difference? *Concrete Internacional*, v.9, n.12, p.23-35, Dez 1987. Disponível em: <<http://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal?m=details&i=2380>>

Davidovits, J. (1991). Geopolymers: Inorganic polymeric new materials. *Thermal Analysis*, 37, p. 1633-1656. Disponível em: <<http://www.scopus.com>>

Degirmenci, N. (2008). The using of waste phosphogypsum and natural gypsum in adobe stabilization. *Construction and Building Materials*, 22, 1220–1224.

Félix, A. S.; Fereirra, P. R. L.; Barbosa, N. P.; Ghavami, K. (2015). Estabilização alcalina de adobes. 15º Seminário Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra – SIACOT 2015. Cuenca, Ecuador.

Gomes, K. C. (2008). Potencial de ativação alcalina de materiais residuais aluminosilicosos no desenvolvimento de matrizes cimentícias. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFPB.

Sumajow, M; Rangan, B. (2006) Low-calcium fly ash-based geopolymer concrete: Reinforced beams and columns. Research Report GC, Curtin University of Technology, Perth, Australia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos técnicos do Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), que, com muita presteza, ajudaram para a conclusão desse trabalho.

AUTORES

Adriano da Silva Félix, mestrando em engenharia civil e ambiental da Universidade Federal da Paraíba, tecnólogo em construção de edifícios. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/3616946997976293>.

Beatriz Lemos Cavalcante de Carvalho Santiago, mestranda em arquitetura e urbanismo na Universidade Federal da Paraíba, arquiteta. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/547535055494039>.

Raimundo Gonçalves Ribeiro Neto, graduando em engenharia civil na Universidade Federal da Paraíba. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/6404781036654835>.

Brunna Lima de Almeida Victor Medeiros, professora do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba, doutoranda em engenharia de materiais na Universidade Federal de Campina Grande. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/9966295997259863>.

Normando Perazzo Barbosa, professor titular do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/6420367558476872>.

Khosrow Ghavami, professor aposentado da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, professor emérito da Universidade Federal da Paraíba. Currículo completo em: <http://lattes.cnpq.br/1427567976681355>.