

DURABILIDADE DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDOS ATIVADOS ALCALINAMENTE USANDO COMO PRECURSOR O METACAULIM

Vitória Maria Regis de Oliveira Lima Barbalho ¹

Felipe Danzmann Roboredo Sanches ²

José Victor Alves Fernandes ³

Givanildo Alves de Azeredo ⁴

RESUMO

A pesquisa tem como objeto de estudo os Blocos de Terra Compactado estabilizados por meio de ativação alcalina do metacaulim utilizando como ativadores o Hidróxido de Sódio e o Silicato de Sódio. Foram confeccionados BTC's variando de traço para traço a Razão Molar da solução ativadora, a razão de Sílica/Alumina e a temperatura de cura, escolhendo valores baseados na literatura para estes parâmetros, de modo que foi estudada a interferência desses fatores na resistência, por meio da norma da ABNT de resistência a compressão de blocos vazados, e durabilidade dos blocos de terra através do teste absorção por capilaridade baseado no manual *Compressed Earth Blocks – Testing Procedures*. Ao término da pesquisa chegaram-se a valores de compressão simples de 2,54 Mpa e de absorção de 10%. Apesar das dificuldades enfrentadas, os principais resultados desta pesquisa foram conclusões metodológicas a respeito da confecção dos blocos e assim percebeu-se que os BTC's ativados alcalinamente podem ter um grande potencial para uso na construção civil, no entanto faz-se necessário o desenvolvimento de mais pesquisas para que este potencial seja totalmente alcançado.

Palavras-chave: Terra, Estabilização, Metacaulim, geopolímero, ativação alcalina.

INTRODUÇÃO

A terra, um dos materiais mais usados na civilização humana, tem sua durabilidade e resistência comprovada nas mais diversas construções antigas que resistem ao tempo. Além de ser um material de fácil reincorporação na natureza, a terra propicia elevada inércia térmica as edificações e baixo custo de transporte devido sua disponibilidade no meio. Assim, em virtude da grande conscientização da sociedade atual para a sustentabilidade, a terra, que entra como um material não poluente e de baixo consumo energético, tem ganhado novamente espaço e sido bastante pesquisada.

¹ Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, vi.ol@live.com;

² Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, felipedrsanches@gmail.com;

³ Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, victor.09afernandes@gmail.com;

⁴ Professor orientador: professor associado II, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, givanildoazeredo@hotmail.com

Dessa forma, tem-se desenvolvido técnicas de construção com terra, mas é preciso também pensar em técnicas de estabilização que segundo Santiago (2001) tem como objetivo modificar as propriedades da terra para melhorar as características desta. Ainda de acordo com Santiago (2001) são 4 os métodos de estabilização existentes sendo estes: Estabilização Química, Física, Mecânica e mista.

O bloco de terra compactado (BTC), objeto de estudo dessa pesquisa, caracteriza-se como uma técnica que por si só é um método de estabilização, pois a terra apenas úmida é compactada para formação dos blocos. Associada a compressão mecânica o BTC pode ser estabilizado também quimicamente por meio da adição de cal ou cimento com o intuito de adquirir maiores resistências e durabilidade (MINKE, 2000). O procedimento de execução é feito através da mistura de terra natural com adição de pequenos percentuais de cimento, misturando com um pouco de água e por fim comprimindo a mistura em uma prensa, de maneira manual ou mecânica (MELO et al., 2011)

O uso do cimento para estabilização química dos BTC's tem sido bastante difundido já existindo construção em massa de BTC solo-cimento. No entanto, o cimento, devido ao seu processo de fabricação que demanda alto valor energético e libera grande quantidade de gases poluente como o CO₂, ainda não é o material mais adequado, quanto à sustentabilidade ambiental, para estabilização dos blocos.

Os geopolímeros foi um termo introduzido por Davidovits e hoje são materiais usados para os diversos fins. Segundo Pinto (2004) geopolímeros compostos inorgânicos que se assemelham aos polímeros orgânicos, no entanto são obtidos pela polimerização de matérias primas naturais de origem geológica contendo alumino-silicatos, esse processo tem como base a Ativação Alcalina de materiais pozolânicos.

No processo de geopolimerização ocorre a interação dos aluminossilicatos chamados de precursores com um meio alcalino chamado de ativador da reação, que deve apresentar um PH suficientemente alto para dissolver a parcela amorfa do precursor (LONGHI, 2015). Os ativadores mais utilizados são os hidróxidos de sódio e potássio (PINTO, 2004) já os precursores mais utilizados são as escórias de alto-forno, as argilas calcinadas e as cinzas da queima de carvão mineral (ROCHA, 2017).

Os geopolímeros tem entrado na construção civil como um substituto do Cimento Portland, concretos geopoliméricos por exemplo tem se mostrado bastante eficiente alcançando resistências mecânicas relativamente elevadas e obtidas em poucas horas.

No entanto, o uso da ativação alcalina como forma de estabilizar os blocos de terra compactados é uma área nova e ainda pouco pesquisada, porém que se mostra com um alto potencial de crescimento.

Davidovits e Bouterin em 1982 elaboraram um trabalho que se aproxima do que seria o BTC geopolimérico, onde fizeram uma mistura de solo argiloso com um material oligossilato o conjunto foi denominado pelos autores como LTGS sendo uma cura geopolimérica em baixa temperatura.

Silva et al (2015) confeccionou blocos de terra compactados utilizando como precursor cinza volante e 180 dias após a confecção dos blocos alcançou uma resistência de 12 Mpa. Teixeira (2017) em seu trabalho diz que apesar dos imprevistos impostos pela novidade técnica esta pode ser melhor desenvolvida para alcançar um nível de trabalhabilidade adequando e também afirmou que há boas chances de se conseguir materiais que atendam aos requisitos das normas.

Assim, essa pesquisa busca nos geopolímeros uma alternativa a estabilização da terra para confecção dos BTC's, fazendo análise de como fatores ligados diretamente às características do geopolímero, interferem na performance do BTC. Com isso busca-se encontrar caminhos metodológicos mais eficientes para confecção dos blocos e assim contribuir para futuras elaborações de normas regulamentadoras para os mesmos, difundindo o uso destes na construção civil, colaborando tanto para sustentabilidade do meio quanto para diminuição do déficit habitacional.

A pesquisa irá, através de métodos estatísticos, verificar a variação da resistência à compressão e da absorção de água por capilaridade em blocos curados a temperaturas diferentes e confeccionados com variadas combinações de razões de NaOH/H₂O da solução ativadora e razões de Si/Al, sendo esta modificadas pela adição do Silicato de Sódio.

Diferentes traços foram feitos e ao longo do desenvolvimento da pesquisa e das dificuldades metodológicas enfrentadas foram feitas observações quanto ao tempo de cura da mistura e ao aparecimento de efluorescência nos blocos confeccionados e como esses fatores também influenciam nos resultados dos blocos, que por fim não se mostraram muito satisfatórios porém bastante conclusivos quanto ao fato de que além de fatores químicos e físicos (como razões molares e temperatura) a metodologia de confecção dos blocos interfere consideravelmente no resultado final destes.

METODOLOGIA

Os materiais utilizados para pesquisa foram:

- Terra oriunda do município de Santa Rita – PB
- Metacaulim Rosa fabricado pela Industria BBM Minérios
- Hidróxido de Sódio com índice de pureza de 98%, fabricado na Indústria Química Bandeirante Brazmo
- Silicato de Sódio obtido na indústria Pernambuco Química, em Recife - PE.

Primeiramente foi realizado uma caracterização da terra usando técnicas de granulometria a laser, fluorescência de raio X (FRX) e de Difração de Raios X (DRX). A partir disso, identificou-se que a matriz da terra é composta por 58,82% de SiO₂, 26,94% de Al₂O₃, 9,43% de Fe₂O₃, e em menores proporções, TiO₂, ZrO₂, SO₃ e outros. Além disso, quanto a granulometria a terra foi caracterizada como sendo 60% formada por areia, 27% por silte e 13% por argila e quanto aos limites Atterberg, tem-se limite de liquidez de 28,2%, limite de plasticidade de 19,9% tendo assim um índice de plasticidade de 11,3%.

O Metacaulim rosa também foi caracterizado e assim determinou-se que em sua composição existe 51,03% de SiO₂, 34,7% de Al₂O₃, 10,3% de Fe₂O₃ além de outros componentes em menores concentração.

Já o silicato de sódio foi caracterizado pela indústria no qual foi fabricado que informou que a quantidade de SiO₂ pode variar de 33 a 38% e a relação de SiO₂/Na₂O varia de 1,74 a 2,37. (Pernambuco Química, 2016)

Em seguida, a partir do método do Planejamento Estatístico Experimental e baseado nas características dos materiais e nas literaturas estudadas, foram determinados os traços e as razões molares para a formação da mistura bem como a quantidade de materiais a ser produzido e os ensaios a serem realizados. Decidiu-se fazer um planejamento experimental com três variáveis sendo essas a temperatura (T), a razão molar (R.M.) e a razão de Sílica/Alumina (Si/Al), assim, determinou-se 8 experimentos distintos e mais 2 pontos centrais.

A razão molar da solução ativadora foi determinada a partir de valores próximos aos níveis adotados no trabalho de Vassalo (2013). A razão de sílica/alumina foi determinada a partir da proporção destes materiais encontradas no metacaulim, sendo esta, igual a 2,5. De modo que, para alterar a razão Si/Al, utilizou-se o Silicato de Sódio que, além de funcionar como um ativador alcalino, também fornecerá silício para a mistura, e assim varia-se a razão de Sílica/Alumina. Para determinar os valores de temperatura a serem adotados, optou-se por testar valores próximos e variando para mais com relação ao máximo recomendado, baseando

(83) 3322.3222

contato@joinbr.com.br

www.joinbr.com.br

em pesquisas anteriores e em trabalhos realizados por Boutterin e Davidovits (1982), Pinto (2004) e Rovnanik (2010).

Assim, os traços definidos foram:

- T1 e T2 com R.M.=15, Si/Al=3,0; sendo T1 curado com T=100° e T2 com T=60°
- T3 e T4 com R.M.=10, Si/Al=3,0; sendo T3 curado com T=100° e T4 com T=60°
- T5 e T6 com R.M.=15, Si/Al=2,5; sendo T5 curado com T=100° e T6 com T=60°
- T7 e T8 com R.M.=10, Si/Al=2,5; sendo T7 curado com T=100° e T8 com T=60°
- Para ponto central, T9 e T10, R.M.=12,5, Si/Al=2,75; e T=80° para ambos.

Para cada traço foram feitos 6 blocos, sendo destinado três para ensaio de absorção de água e três para ensaio de compressão. A quantidade de metacaulim foi pré-determinada à 8% da massa da terra. A quantidade de NaOH foi determinada a partir de cálculos estequiométricos, partindo-se de uma quantidade de água estabelecida a partir de observações em teste e pesquisas anteriores.

Vale ressaltar que ao longo da confecção dos traços, dependendo a umidade da mistura foi adicionado água, além dos valores pré-estabelecidos, visando a compressão adequada dos mesmos, de forma que nem sempre foi possível manter o valor da razão molar calculado.

Após a determinação dos traços a serem feitos, deu-se início ao processo de confecção das amostras. Utilizou-se uma betoneira para realizar a mistura, que foi feita da seguinte maneira: Primeiramente, misturou-se a terra com o metacaulim e em seguida, com a betoneira em movimento, foi adicionado à solução ativadora com o auxílio de um regador para garantir que a mistura fosse uniformemente umedecida.

Após realizada a mistura os blocos foram comprimidos em uma prensa hidráulica que possui um compartimento para receber o material e destina-lo a forma da prensa, no entanto, para alguns traços devido a rápida pega da mistura teve-se dificuldade na utilização deste compartimento de modo que o material era colocado diretamente na forma da prensa de maneira manual. Outro problema enfrentado foi a impregnação de parte dos blocos na forma metálica. Para amenizar esse problema, utilizou-se de óleo diesel como lubrificante.

Após confeccionado os blocos, estes foram colocados em descanso por 24h envolvidos por uma lona plástica, para assim, evitar a perda rápida de água e a ocorrência de eflorescência. Passado as 24h, os blocos foram colocados na estufa com as temperaturas determinadas no planejamento experimental. Os blocos ficaram na estufa por um período de 5h, pois segundo Pinto (2004), períodos muito longos não oferecem benefícios relevantes aos materiais ativados alcalinamente.

Feito a cura em estufa, os blocos foram estocados, para que após 7 dias da confecção dos blocos pudesse ser realizado os ensaios de absorção por capilaridade e compressão.

Para o teste de absorção por capilaridade, cada um dos blocos teve uma de suas faces colocada em contato com uma lâmina de aproximadamente 5mm de água. A face em contato com a água é medida bem como, a massa antes e depois do processo. O tempo de contato dos blocos na água foi de 1 hora e para determinar o coeficiente de absorção (C_b) dos blocos utilizou-se da formula:

$$C_b = \frac{100 \times (mh - md)}{S\sqrt{t}}$$

A metodologia adotada para o ensaio de absorção teve como base os procedimentos descritos no manual *Compressed Earth Blocks – Testing Procedures*.

Já os ensaios de compressão foram feitos segundo NBR 8492 (ABNT 2012). Para isso, os blocos foram cortados ao meio e colados com argamassa de terra estabilizada por ativação alcalina. Após a união das metades, os blocos foram capeados com pasta de cimento e após 24h, submetidos a compressão a uma velocidade de 18,5mm/s.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das metodologias aplicadas e dos ensaios realizados os resultados obtidos para o ensaio de absorção encontram-se descritos na tabela 5 e comentados abaixo.

Tabela 1– Resultados do ensaio de Absorção por capilaridade

TRAÇOS	Resultados de absorção (%)			Média (%)	Temperatura (°C)	Razão Molar	Si/Al
	1	2	3				
1	52,8	39,8	54,7	49,1	100	15	3,0
2	6,3	13,6	10,0	10,0	60	15	3,0
3	10,5	18,6	31,6	20,2	100	10	3,0
4	17,8	13,6	15,8	15,7	60	10	3,0
5	93,9	112,6	50,7	85,8	100	15	2,5
6	69,2	71,9	65,3	68,8	60	15	2,5
7	75,5	40,4	57,6	57,9	100	10	2,5
8	93,0	47,3	64,5	68,3	60	10	2,5
9	35,5	35,7	23,4	31,5	80	12,5	2,75
10	31,6	17,9	35,7	28,4	80	12,5	2,75

Estes resultados mostram que os traços em sua maioria tiveram absorção média elevado e não muito satisfatórios, além do T2 apenas o T4 e o T3 tiveram um coeficiente de absorção

(83) 3322.3222

contato@joinbr.com.br

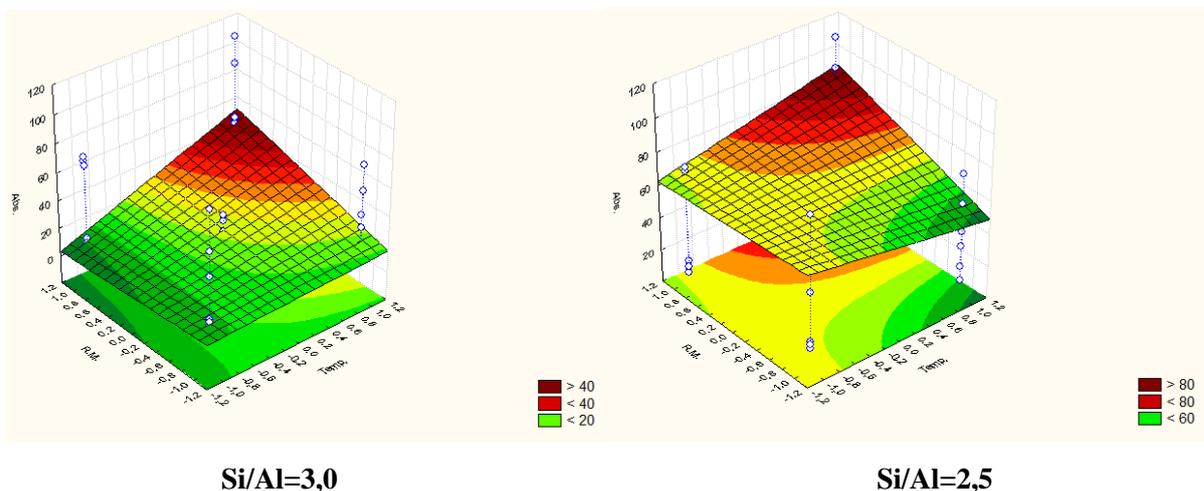
www.joinbr.com.br

abaixo de 22%, considerada a absorção média máxima para os casos de blocos de solo-cimento pela Norma 10834 (ABNT, 2012).

Além disso, observando os blocos de um mesmo traço ensaiados observou-se uma grande disparidade entre os valores obtidos, que pode ser explicada pela rápida pega da mistura e o empelotamento desta que compromete tanto o processo de moldagem quanto os resultados, pois por dificultar a compactação, alguns blocos do mesmo traço podem ter sido mais adensados do que outros.

Os dados foram analisados estatisticamente pelo programa *Statistic* no qual foram elaborados os gráficos abaixo.

Gráfico 1 - Influência da interação entre a razão molar e a temperatura na absorção por capilaridade



Observou-se que temperaturas altas combinadas com razões molares altas produzem blocos com um grau de absorção também alto o que não é satisfatório para a construção civil, percebeu-se também que uma razão de Sílica/Alumina contribui para tornar a absorção de água dos blocos menor.

Os resultados obtidos nos testes de compressão mecânica encontram-se na tabela 6.

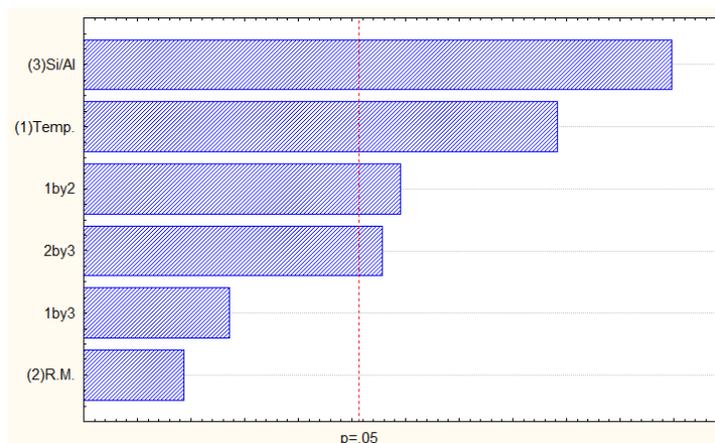
Tabela 2 – Resultados do ensaio de Compressão Mecânica

TRAÇOS	Resultado Compressão (Mpa)			Média (Mpa)	Temperatura (°C)	Razão Molar	Si/Al
	1	2	3				
1	0,74	0,87	1,14	0,92	100	15	3,0
2	0,50	0,54	0,51	0,52	60	15	3,0
3	2,18	1,98	2,33	2,16	100	10	3,0
4	0,53	0,59	0,39	0,51	60	10	3,0
5	5,62	4,42	5,20	5,08	100	15	2,5
6	1,56	1,40	0,69	1,22	60	15	2,5
7	1,96	1,93	1,81	1,90	100	10	2,5
8	2,64	2,81	2,28	2,57	60	10	2,5
9	2,83	1,78	2,11	2,24	80	12,5	2,75
10	1,51	2,32	1,50	1,78	80	12,5	2,75

Observa-se que estes também não foram muito satisfatórios, sendo o maior deles de 5,08 MPa obtido no traço 5, único possível de ser usado como bloco de função estrutural. Dos demais resultados apenas o T3, T8 e T9 deram acima de 2 Mpa na média, valor requerido por norma para bloco de solo cimento sem função estrutural.

Os dados foram também analisados no programa *Statistic* e o diagrama de Pareto obtido encontra-se abaixo.

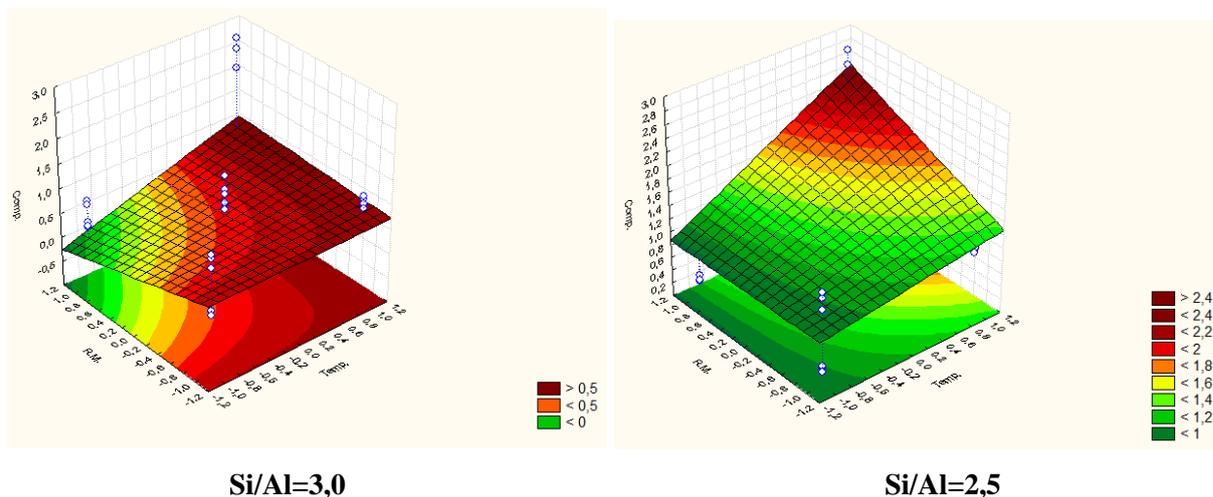
Gráfico 2 – Análise de Pareto para Compressão Mecânica



Os resultados apontaram que a variável com maior influência nos resultados de compressão foi a razão de Si/Al, seguida da temperatura de cura, já a razão molar não demonstrou-se estatisticamente significativa para os resultados, no entanto a combinação desta com as outras variáveis obteve-se certa significância, sendo a combinação com a temperatura

mais significativa do que a combinação com a razão de Sílica/Alumina. Dessa forma foram elaborados gráficos para demonstrar a influência da combinação da razão molar com a temperatura para os diferentes níveis de Si/Al.

Gráfico 3 - Influência da interação entre a razão molar e a temperatura na compressão mecânica



Observou-se que ao contrário do esperado os resultados dos blocos que contém silicato deram menores, isso pode ser explicado pelo fato de o silicato acelerar a pega da mistura e como já explicado a rápida pega dificulta a moldagem dos blocos e também por ocasionar empelotamento faz com que os blocos apresentem espaços vazios o que favorece a ocorrência de eflorescência, que também foi observada principalmente nos traços nos quais o silicato de sódio foi adicionado e naqueles que seriam submetidos ao ensaio de absorção e que para isso ficaram em ambiente climatizado.

Outro fato que precisa ser explicado é o da razão molar não ter se mostrado uma variável significativa para os resultados obtidos no ensaio, isso pode acontecer devido a quantidade de Hidróxido de Sódio ter sido determinada a partir da quantidade de água utilizada para umedecer a terra, de modo que essa quantidade é relativamente pouca, que possivelmente compromete a reação e conseqüentemente a formação do geopolímero. Outro ponto que pode explicar o fato da razão molar não ser significativa é o acréscimo de água durante a execução dos blocos, isso ocorria quando a mistura, contendo a quantidade de água pré-estabelecida, não atingia a umidade necessária para a compactação. Dessa forma, em alguns traços (T2,T3,T4, T7,T8) durante a confecção dos blocos adicionou-se água além da prevista, e assim não pode-se preservar a razão molar previamente estabelecida.

Também foi discutido a velocidade utilizada no ensaio de compressão mecânica, foi observado que a velocidade utilizada nesta pesquisa não foi adequada para materiais com terra, sendo assim, os resultados obtidos nos ensaios de compressão podem estar associados a erros sistemáticos devido a isto, podendo, no entanto, ser facilmente corrigido em ensaios posteriores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos pontos discutidos, baseado nas metodologias aplicadas e nos resultados obtidos, pode-se concluir que o processo de moldagem exerce muita influência na performance dos blocos, de modo que faz-se necessário buscar melhores métodos para realização do processo de amassamento e moldagem, para que assim melhore tanto a produtividade na confecção dos blocos quanto suas características morfológicas e consequentemente sua performance para uso na construção. Assim, o desenvolvimento de métodos que atrasem a pega da mistura bem como que diminuam o empelotamento desta é essencial.

A partir de observações feitas na pesquisa, sugere-se que após confeccionados os blocos serem identificados quanto a ordem de confecção para que assim, possa-se analisar a influência da rápida pega na moldagem dos blocos e consequentemente nos resultados.

Ademais, sabe-se que na formação do geopolímero a concentração do Hidróxido de Sódio é essencial no processo de ativação alcalina para a dissolução dos aluminossilicatos, no entanto os resultados obtidos mostraram que a variável Razão Molar não foi significativa individualmente para os ensaios realizados, de modo que, deve-se buscar alternativas para que a proporção de solução ativadora (Hidróxido de Sódio + água) esteja compatível com a quantidade de percussor na mistura e não apenas com a quantidade de água necessária para garantir a trabalhabilidade do bloco. Outro ponto a ser observado com relação a razão molar é uma metodologia para que se mantenha a razão proposta, para tanto, caso necessário a adição posterior de água, seja adicionada solução como um todo com a razão molar proposta e não apenas água.

Percebeu-se que a temperatura de cura em estufa tem grandes influencias nos resultados de compressão mecânica, assim esta é uma variável que pode ser melhor estudada e entendida, buscando encontrar uma temperatura ótima de cura para os blocos. Vale a pena também fixar uma temperatura e variar o tempo em que os blocos passam na estufa analisando como isso

influenciaria nos resultados posteriores e na ocorrência de eflorescência nos blocos, já que enquanto estes estão em estufas esse fenômeno não ocorre.

Outra variável que também exerceu grande influência nos resultados, neste caso tanto nos resultados de compressão quanto no de absorção, foi a razão de Sílica/Alumina. Percebe-se que uma maior quantidade de Sílica na mistura aumenta a resistência dos blocos, no entanto, diminuindo essa razão e aumentando a quantidade de Alumina na mistura, poder-se-ia conseguir um melhor controle do pega desta, assim é viável buscar meios de variar a razão Si/Al também para menos para que essa influência seja melhor estudada.

Por fim, por meio das observações feitas percebe-se que maior parte das dificuldades enfrentadas provém do fato de ser nova a técnica de estabilização da terra com ativação alcalina, de forma que a continuação de desenvolvimentos das pesquisas nesta área é essencial para que seja possível obter um BTC geopolimérico tão resistente e durável quanto os BTC's habitualmente fabricados e assim provar cientificamente a qualidade de terra difundido o uso desta como material de construção, para que assim, problemas como o déficit habitacional sejam reduzidos e a indústria da construção venha a ser menos danosa ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI. Committee 116.R-00. Cement and concrete terminology. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Detroit: American Concrete Institute, 73 p. 2002.
- BARBOSA, N. P.; MATTONE, R.; MESBAH, A. Blocos de Concreto de Terra: Uma Opção Interessante Para a Sustentabilidade da Construção. Biblioteca SEBRAE Online. 2002.
- BARBOSA, N.P., GHAVAMI, K. Terra Crua para Edificações. In: ISAIA G.C. (Org.). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: Ibracon, vol 2. 2007.
- DAVIDOVITS, J.; BOUTTERIN, C. Reticulação Geopolimérica (LTGS) e Materiais de Construção. Actualité de la construction de terre na França. Plan Construction. Paris, 1982.
- DAVIDOVITS, J. Geopolymer: Chemistry & Applications. 2ª Edição. França: Institut Géopolymère. Paris, 2008.

DAVIDOVITS, J. Chemistry of Geopolymeric Systems. Terminology, Proceedings of the Second International Conference Geopolymère „99, pp. 9- 40. 1999.

DAVIDOVITS, J. Les Mortiers des pouzzolanes artificielles chez vitruve, evolution historique architecturale. Thèse de DEA, Les Culturesdes de l´ Antiquité Classique, Université Paris. 1993.

DAVIDOVITS, J. Properties of geopolymer cements. Proceedings of the First International Conference on Alkaline Cements and Concretes. vol. 1. SRIBM, Kiev, Ukraine, p. 131-149. 1994.

FERREIRA, R.C.; FREIRE, W.J. Propriedades físico-mecânicas de solos estabilizados com cimento e silicato de sódio avaliadas por meio de testes destrutivos e não-destrutivos. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.23, n.2, p.22132, 2003.

GONÇALVES, T. D.; GOMES, M. I. Construção de Terra Crua: Potencialidades e Questões em Aberto. Inec. 2012.

PALOMO, A. et al. Chemical stability of cementitious materials based on metakaolin. Cem. Concr. Res. 29, 997-1004. 1999.

PALOMO A.; FERNÁNDEZ-JIMENEZ, A.; CRIADO M. Geopolymers: Same Basic Chemistry, different microstructures. Material Construction, vol.54, nº 275. Espanha, 2004.

PINTO, A.T. Introdução ao Estudo dos Geopolímeros. 105p. Editora UTAD. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal, 2006.

ROVNANÍK, P. Effect of curing temperature on the development of hard structure of metakaolin-based geopolymer.

Construction and Building Materials, Nº 24, p. 1176–1183, 2010.

SANTIAGO, C. C.; O Solo como material de construção - 2ª edição - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.

SILVA, C. G. T. Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, A. P. M. O Uso do Tijolo de Solo-Cimento na Construção Civil. 77 f. – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

VASSALO, E. A. S. Obtenção de geopolímero a partir de metacaulim ativado. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). 103 p. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, ESCOLA DE ENGENHARIA, Belo Horizonte, 2013.