

## **DESENVOLVIMENTO DE ARGILA EXPANDIDA PARA SUBSTITUIÇÃO DE BRITAS PARA USO EM CONCRETO**

**Herbet Alves de Oliveira**  
herbetalves148@gmail.com

**Hayala Karoline Santos Rodrigues**  
hayala\_line@hotmail.com

**Fernando Luís de Andrade Santos**  
andradefernando08@gmail.com

**Larissa Isabelle Conceição da Silva**  
lariisabelly18@hotmail.com

**Resumo:** No Brasil existe somente um fornecedor de argila expandida, bem como poucos estudos regionais. A argila expandida é caracterizada pela baixa densidade aparente, entre 500 e 2000 Kg/m<sup>3</sup> e elevada resistência mecânica a compressão. Em Sergipe, existem argilas que podem ser aproveitadas na produção do produto em função da sua elevada resistência mecânica apresentada após queima na faixa 1100 a 1130o C. A baixa densidade pode ser obtida incorporando-se na formulação materiais de elevada perda de massa. Foram testadas incorporações a uma argila de uso corrente das indústrias cerâmicas do estado: carvão mineral, serragem e óleo combustível, sendo que a meta era produzir um produto com elevada resistência mecânica a compressão e menor densidade aparente respectivamente. Os corpos de prova foram produzidos por prensagem axial a uma pressão de 30 MPa, em formato cilíndrico com 19 mm de diâmetro e altura de 15 mm. Após queima, os corpos de prova foram caracterizados pelos ensaios de absorção de água, densidade aparente, resistência à compressão, difratometria de raios X e análise química por FRX. A melhor formulação foi escolhida pelo método de decisão por meio de utilidades. A formulação contendo 5% de serragem apresentou a maior resistência mecânica e menor densidade respectivamente. Adicionalmente com essa formulação foi produzida argila expandida para posterior produção de concreto. Os resultados de resistência foram em média 10 MPa, enquanto a brita cerca de 28 MPa e a massa reduziu 26%.

**Palavras-Chave:** argila expandida, argila, concreto, residuo.

## **INTRODUÇÃO**

Nas obras, a redução dos custos de processo se dá pela utilização de matérias-primas cada vez mais próximas do local de execução dos elementos de construção e, sobretudo, redução do peso da estrutura. Para redução do peso da estrutura uma das alternativas é substituir a brita que é utilizada no concreto por argila expandida. (SANTOS, 1989; GOMES, 1995). A ampla aplicação da argila expandida se deve aos benefícios atribuídos pela redução da massa específica do concreto, como a redução de esforços na estrutura das edificações e a economia com formas e cimbramento (ROSSINGNOLO, 2011; SANTIS, 205). Segundo ANGELIN, et al(2019) concretos leves produzidos podem ser utilizados em elementos pré-moldados, devido, principalmente, à diminuição no tempo de moldagem e do peso próprio. Aplicando em elementos estruturais ou de vedação, como painéis de concreto e lajes alveolares, devido essencialmente à redução da massa específica e ao excelente desempenho nas propriedades mecânicas, proporcionando a fabricação de peças leves, que proporcionam maior conforto térmico sem comprometer a função estrutural. A baixa densidade garante menor peso da estrutura reduzindo os custos de processo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Materia Prima

A argila investigada apresentada nesse trabalho é proveniente de jazidas localizadas no estado Alagoas, região nordeste do Brasil. A argila Igreja Nova (IN) é proveniente do município de Igreja Nova (AL) de Latitude: 10° 7' 13" Sul, Longitude: 36° 39' 39" Oeste. A serragem utilizada é proveniente do processo de beneficiamento de madeiras na região. O carvão utilizado foi adquirido no mercado, a serragem foi oriunda da madeira Timborana (*Pseudopiptadenia psilostachya* contém cerne e alburno pouco distintos pela cor, cerne castanho a castanho avermelhado, cheiro e gosto imperceptíveis, grã revessa, textura média. A massa específica aparente é de 0,90 g/cm<sup>3</sup> (alta) a resistência mecânica também é alta, assim como a resistência ao ataque de fungos e insetos. Indicada para fabricação de assoalhos, partes internas de móveis e lâminas decorativas. Na cidade de Estância (SE), ela é utilizada na produção de móveis.

### Preparação das formulações

Uma amostra de aproximadamente 20 kg da argila foi colhida diretamente dos depósitos das jazidas para realização dos ensaios. As amostras foram homogeneizadas, secas ao ar e depois em estufa a temperaturas de (40 ± 10) oC por 48h. Para iniciar a caracterização tecnológica destes materiais, foi realizada sua desagregação e redução granulométrica por meio de moinho de martelo com abertura de grelha de 2 mm seguindo orientações de (AMOROS, 1998). Uma amostra de cerca de 1 kg foi separada de cada formulação por quarteamento e passada em peneira ABNT 200 (0,074 mm) para realização dos ensaios de caracterização: difratometria de raios X, fluorescência de raios X análise granulométrica, índice de plasticidade, análise

térmica DTA/TG e análise dilatométrica. Foi ainda colhida outra amostra de cerca de 2 kg e passada em peneira ABNT 60 (0,25 mm) para produção de corpos de prova. As amostras na forma de pó, passadas na peneira ABNT 60 (0,25 mm), foram umidificadas e granuladas utilizando um teor de água de 8% e passadas na peneira ABNT 16 (1,2 mm) para ajuste da granulometria. Em seguida, as formulações foram deixadas em descanso por 24 h para homogeneização da umidade. A serragem e o carvão mineral na forma de pó foram passados na peneira ABNT 60 (0,25 mm). A serragem foi colhida na forma de pó e passada na peneira ABNT 60 (0,25 mm). Foram conformados corpos de prova cilíndricos com dimensões 20 x 20 mm em uma prensa manual com pressão uniaxial de compactação de 35 MPa. Os corpos de prova foram secos inicialmente ao ar livre por 24 h e depois em estufa a (100 ± 5) oC até peso constante. A etapa de queima foi realizada em forno da marca JUNG modelo LF 0612 nas temperaturas de 1080, 1100 e 1120oC para a uma taxa de 20 oC/min com patamar de 20 min na maior temperatura.

### 2.3 Ensaios tecnológicos de caracterização

#### Distribuição do tamanho de partículas

O método do peneiramento seguido de sedimentação foi utilizado para determinação da distribuição de tamanhos das partículas, em conformidade com a norma, NBR 7181,2016 e ASTM D422-63(1998).

#### Análise química

Os percentuais dos óxidos constituintes das amostras foram determinados através de medidas semi-quantitativas pela técnica de fluorescência de raios X (FRX). As medidas foram realizadas em vácuo, em um equipamento da marca Bruker, modelo S4 Pioneer, utilizando amostras com massa em

torno de 10 g que foram prensadas no formato de corpos cilíndricos com diâmetro de 20 mm e espessura de 3 mm, aproximadamente.

### Perda ao fogo

Foi realizada pela diferença das massas antes e após a queima a 1000 oC em forno com patamar de 2 h (AMOROS,1998).

### Análise térmica diferencial e gravimétrica (DTA-TG)

Os eventos térmicos apresentados pela amostra no intervalo de temperatura entre 25 e 1200 °C foram registrados em medidas simultâneas de DTA e TG. As medidas foram realizadas em um equipamento da TA Instruments, modelo SDT 2960. As amostras foram medidas em cadinho de platina, sob fluxo de ar sintético com vazão de 100 mL/min e taxa de aquecimento de 10°C/min.

### Avaliação da plasticidade

Os limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP) foram obtidos de acordo com a norma ASTM D4318, 7180 e NBR 6459. O índice de plasticidade (IP) é o resultado da diferença aritmética entre os limites de liquidez e plasticidade, o qual pode ser expresso pela Equação (1), em que IP é o índice de plasticidade, LL é o limite de liquidez e LP é o limite de plasticidade. O erro experimental foi de aproximadamente ± 3%.

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

### Análise mineralógica

A difratometria de raios X foi utilizada para a identificação das fases cristalinas de acordo com os padrões obtidos no banco de dados do ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*) e a análise foi realizada

utilizando o *software Match*. Os padrões de difração foram obtidos em um equipamento Rigaku D-MAX 100 usando radiação Cu K $\alpha$ 1 ( $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$ ) em modo de varredura contínua, em intervalo angular de 5 a 70° com velocidade de varredura de 1°/min. Para confirmação da fase montmorilonita uma amostra foi saturada com etileno glicol por 1 h a fim de observar o aumento da distância interplanar e outra amostra foi calcinada a 550 °C por 2 h. Em seguida, ambas foram analisadas por DRX, no intervalo de varredura de 2 a 15° (BENNOUR,2015)

### Análise dilatométrica

As medidas dilatométricas foram realizadas para verificar as alterações dimensionais de expansão e retração térmica envolvidas no processo de densificação das amostras. Os corpos de prova foram preparados por compactação em um molde cilíndrico de 12 x 6 mm de dimensão e previamente calcinados a 440 oC por 2 h para eliminação da matéria orgânica. Nos ensaios, foi utilizado um dilatômetro da marca Netzsch DIL 402PC com fluxo de ar sintético e vazão de 100 mL/min, variando da temperatura ambiente até 1200 °C com taxa de aquecimento de 10 oC/min. A temperatura ideal de queima foi obtida a partir da derivada da curva dilatométrica, correspondendo à temperatura de máxima retração.

### Absorção de água e Resistência mecânica a compressão

Após queima, os corpos de prova foram caracterizados por meio da absorção de água (AA) com imersão em água por 24 h segundo a norma ASTM C-20-2005, cujos resultados podem ser expressos pela Equação (2), em que m1 é a massa seca e m2 a massa saturada:

$$AA = (m2 - m1 / m1) . 100 \quad (2)$$

Foi ainda determinada a massa específica aparente ( $Meaq$ ) dos corpos sinterizados, usando o método de Arquimedes (AMOROS,1998).

A tensão de ruptura à compressão (TRC), após queima, foi obtida em tensiômetro da marca INSTRON, modelo 3385H, com velocidade de aplicação de carga de 1mm/min, utilizando corpos de prova cilíndricos, cujos resultados podem ser expressos pela Eq. (3) em que P é a carga aplicada em N, e A é a área da seção transversal ( $mm^2$ ) adaptado da ASTM-C634.

$$TRC = P/A \quad (3)$$

### Preparação dos corpos de prova e concreto

No processo de mistura dos materiais, foi inicialmente colocado na betoneira as argilas e ou britas, em seguida areia, metade da água, cimento. Promoveu-se a mistura por cerca de um minuto e finalmente o restante da água. Em função da elevada absorção de água que os agregados de argila expandida exercem, e para compensar esse efeito, foi realizado um pré-umedecimento dos agregados imergindo em água por 24 horas antes de serem utilizados na concretagem. Após o amassamento, foi realizado o ensaio de abatimento do tronco cone segundo a NBR MN 67/1998, em que se obteve um *slump* de cerca de 80 mm. Para cada traço forma moldados cerca de 3 corpos de prova. Após 24 h foram desmoldados e imersos em água onde permaneceram por 28 dias.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para produção da argila expandida foi utilizada uma argila denominada IN localizada no município de Igreja Nova, estado de (AL), cujo DRX esta apresentado na Figura1.

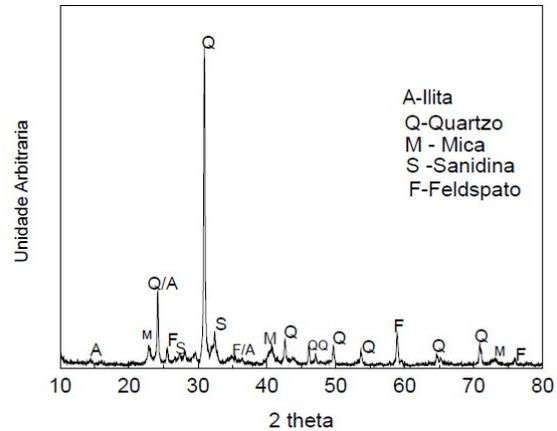


Figura 1 - padrão de difratometria da argila

A composição química de uma argila para produção de argila expandida deve atender à seguinte faixa: (%) de  $SiO_2$  de 50 a 65, (%)  $Al_2O_3$  de 16 a 20, (%)CaO de 1 a 4, (%) $Fe_2O_3$  de 5 a 9, (%) MgO de 1,5 a 3,5 (CABRAL, 2008). De acordo com a Tabela 1, a argila apresenta elevado teor de álcalis  $Na_2O + K_2O$  (5,7%) os quais acima de 3% atuam como óxidos fundentes favorecendo a redução da temperatura de queima, além de contribuir para formação de fase líquida com consequente aumento da resistência mecânica e redução da absorção de água do agregado (SANTOS, 1989). Os demais óxidos, como  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  e  $Fe_2O_3$  atendem às especificações

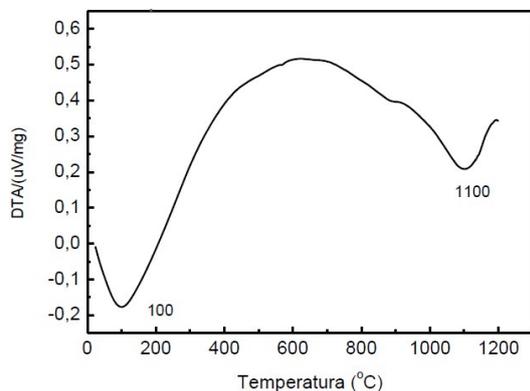
Tabela 1 - Análise química da argila (%)

Óxidos	Argila
$SiO_2$	63,80
$Al_2O_3$	15,92
CaO	0,66
$Fe_2O_3$	5,21
$K_2O$	4,26
$Na_2O$	1,51
MgO	2,62
$TiO_2$	0,76
PF	5,00

A análise de difratometria de raios X das argilas utilizadas no trabalho é apresentada na

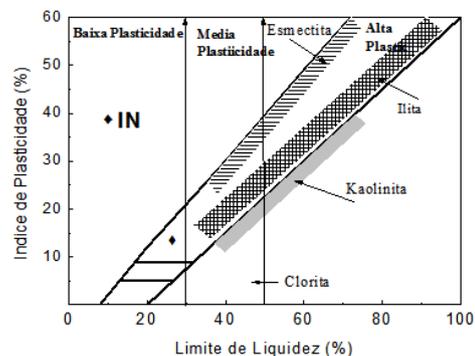
Figura 1. A argila apresenta majoritariamente os argilominerais ilita (JCPDS 96900-9666) que fornece os óxidos  $K_2O$  que favorecem a sinterização durante a queima. Em menor proporção apresenta ainda o acessório muscovita (JCPDS 96101-1059), que fornece os óxidos  $Na_2O$  e  $K_2O$ , além do quartzo (JCPDS 96101-1160), que juntamente com os demais óxidos formam fase vítrea que preenchem os poros, conferindo a densificação da massa após queima (CELIK, 2010). Os depósitos naturais de argila contêm tipicamente esmectita, caulinita, clorita e ilita, juntamente com alguns componentes não argilosos, como quartzo, feldspatos e calcita. Outras fases associadas à argila mineral, como a muscovita e avermiculita, também foram identificadas. A maioria dos minerais de argila demonstrou inchaço e pode ser usada para formar agregado leve. Argilas ilíticas são relatadas como sendo mais efetivas em aprisionar  $CO_2$  da decomposição de carbonatos do que argilas cauliniticas.

A Figura 2 apresenta a curva de DTA da argila. Foi observado pico endotérmico a cerca de 100 °C em todas as argilas que segundo CELIK (2010), SANTOS (1989), é perda de água adsorvida. Pode ocorrer ainda perda de hidroxilas nas argilas até 700 °C o que é comum. Foi ainda observado pico característico da nucleação da mulita a 1100 °C.



**Figura 2** - Análise Térmica Diferencial da argila (MACKENZIE, 1959)

A Figura 3 apresenta o diagrama de Holtz e Kolvacs (BENNOUR, 2015). Nesse diagrama classificam-se solos argilosos a partir do seu limite de liquidez e índice de plasticidade. De acordo com o diagrama a argila é classificada como baixa plasticidade



**Figura 3** - Diagrama Holtz e Kolvacs das argilas investigadas (Bennour, 2015)

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados de caracterização física. Os valores de IP médio foram de cerca de 10%, considerado média plasticidade por (CAPUTO, 2011) mas suficiente para conformação de produtos de cerâmica. A plasticidade ótima é aquela mínima necessária para que o processo de conformação se realize, não gerando problemas posteriores como deformações, reduzindo a resistência mecânica das peças verdes ou secas. O índice de plasticidade (IP) pode ser classificado como baixo quando  $IP < 7\%$ , média plasticidade cujos resultados oscilam entre 7 e 15% e altamente plástica  $IP > 15\%$  (DOMENEC, 1994). A argila IN apresenta médio índice de plasticidade devido provavelmente devido ao elevado teor de quartzo e minerais acessórios como muscovita, identificados no difratograma de raios X na Figura 1. A distribuição granulométrica das argilas conforme discutido por (Celik, 2010) a fração de finos menores que 2  $\mu m$  confere maior área específica, favorecendo o desenvolvimento da plasticidade, obtendo-se maior resistência

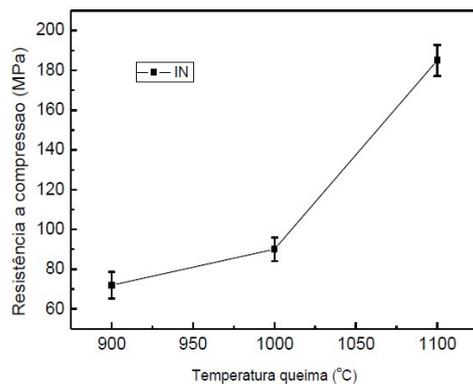
mecânica dos corpos conformados a verde e, proporcionalmente, melhora a sinterização e a resistência mecânica após queima. Já o teor de matéria orgânica é considerado elevado para ciclos de queima rápido.

Na Figura 4 é apresentada a resistência mecânica a compressão da argila queimada nas temperaturas 900, 1000 e 1100 °C. Foi observada que a resistência obtida com a argila foi próxima a literatura das britas comerciais.

**Tabela 2** - Caracterização física das argilas

Amostra	IP (%)	Argila < 2 (µm)	Silte 2-60 (µm)	Areia > 60 (µm)	MO (%)
IN	9	39,7	39,2	21,1	1,4±0,2

Na Figura 4 é apresentada a resistência mecânica a compressão da argila queimada nas temperaturas 900, 1000 e 1100 °C. Foi observada que a resistência obtida com a argila foi próxima a literatura das britas comerciais.



**Figura 4** - Resistência mecânica a compressão

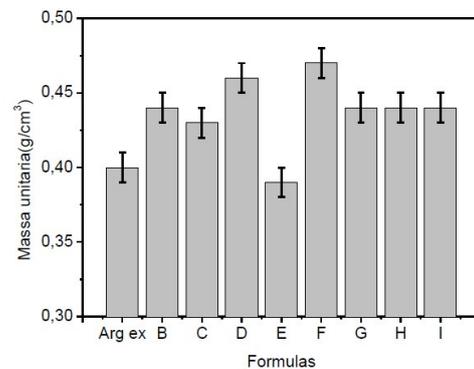
Foram produzidos corpos de prova os quais foram submetidos a ensaios para determinar sua resistência a compressão e sua massa específica. De acordo com a tabela 3 foram incorporados à argila resíduos de serragem, carvão, além de óleo combustível, que após queima liberam CO<sub>2</sub> e que favorecem a

expansão do agregado. O padrão é argila expandida comercial

**Tabela 3** - Formulações para produção de argila expandida (%)

Matéria Prima	Formulações								
	Padrão	B	C	D	E	F	G	H	I
Argila IN	100	95	90	80	95	90	80	98	95
Carvão	-	5	10	20	-	-	-	-	-
Serragem	-	-	-	-	5	10	20	-	-
Óleo	-	-	-	-	-	-	-	2	5

Os resultados da densidade aparente (massa unitária) estão apresentados na Figura 5. A densidade aparente da argila expandida (padrão) é similar às demais.



**Figura 5** - Massa unitária das formulações de argila expandida

Os resultados de absorção de água (AA) e da tensão de ruptura a compressão (TRC) estão apresentados nas Figuras 6 e 7 respectivamente. A resistência é maior do que a argila expandida do mercado em todas as formulações com exceção da formulação I com 5% de óleo combustível. Por sua vez, à medida que se acrescentou carvão e serragem, a absorção de água aumentou, devido a perda de massa. As formulações E e F apresentaram absorção próxima ao padrão.

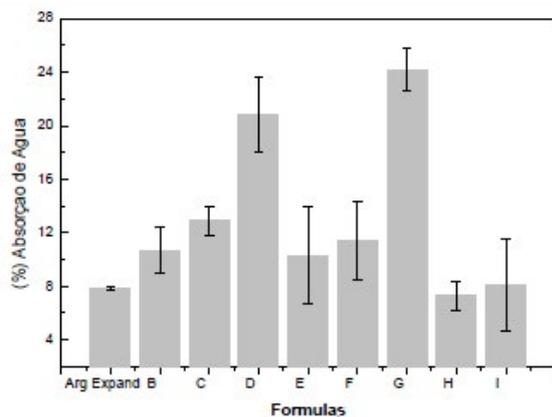


Figura 6 - absorção de água das formulações

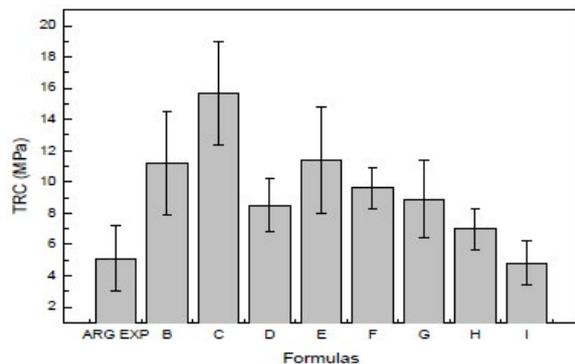


Figura 7 - Tensão de ruptura a compressão das formulações de argila expandida

Para escolha da formulação ideal, ou seja, que apresentasse maior resistência mecânica a compressão e menor massa unitária foram utilizados a técnica de decisão com vários objetivos apresentado na tabela 4 (YU,2016). Nesse procedimento é atribuída ao item de maior valor a unidade um, e ao de menor valor agregado o valor zero. Os demais são obtidos por interpolação. Assim, a fórmula escolhida para produção efetiva dos agregados para produção de concreto foi a E, contendo 5% de serragem.

Tabela 4 - Técnica da decisão com vários objetivos

Fórmulas	Resistência a compressão (MPa)	Massa unitaria (kg/m <sup>3</sup> )	Utilidade média
B	11,2 (0,59)	440 (0,375)	0,482
C	15,7 (1)	430 (0,50)	0,75
D	8,5 (0,34)	460 (0,125)	0,23
E	11,4 (0,61)	390 (1)	<b>0,805</b>
F	9,6 (0,44)	470 (0)	0,220
G	8,9 (0,38)	450 (0,25)	0,315
H	7,0 (0,20)	440 (0,375)	0,287
I	4,8 (0)	440 (0,375)	0,185

Após queima foi realizado ensaio de difratometria de raios DRX da argila expandida da formulação E, conforme apresentado na Figura 9. Foram identificadas as fases de quartzo e várias fases que provavelmente remetem ao feldspato.

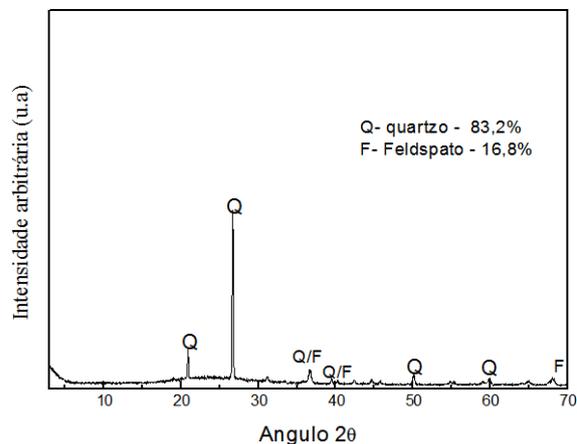


Figura 9 - Padrão de difratometria de raios X da argila expandida queimada

Na tabela 5 é apresentado as características tecnológicas das matérias primas. Conforme esperado, a massa específica e massa unitária das

argilas expandidas AE tanto do mercado como produzidas na pesquisa apresentaram valores abaixo de 1000Kg/m<sup>3</sup>, considerados baixos.

**Tabela 5** - Propriedades tecnológicas das matérias primas.

Matérias primas	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	Massa unitária (Kg/m <sup>3</sup> )	Absorção de água (%)
Cimento	3100	1100	-
Areia média	2650	1520	-
AE 19 mm	880	440	12,0
AE15 mm	1100	540	9,0
AE 19 mm <sup>1</sup>	1115	450	8,0

**Tabela 6** - Consumo de cimento por Kg/m<sup>3</sup>

Constituintes	TRAÇO		CONSUMO (Kg/m <sup>3</sup> )	
	Padrão	Arg expandida (AE)	Padrão	Arg expandida (AE)
Cimento CP	1	1	530	560
Areia lavada	2	2	857	1740
Brita zero	3		730	-
AEØ19 mm	-	1,5	-	244
AE Ø 15	-	1,5	-	292
água	-	-	263	280
a/c	0,50	0,50	0,50	0,50

Na Tabela 7 é apresentado os resultados de resistência mecânica e massa específica aparente. A resistência da argila expandida apresentou-se baixa sendo recomendada somente para concretagem de elementos não estruturais. A baixa resistência se deve a necessidade de melhor arranjo granulométrico conforme outros trabalhos. Foi observado que houve redução de cerca de 26% no peso do concreto leve em relação á ao concreto produzido com brita.

**Tabela 7** - Resultados obtidos dos corpos de prova

Traços	Dias	Res mecânica a compressão (MPa)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
Padrão	28	28,0±1,0	2400
AE	28	10,5±0,5	1720

## CONCLUSÕES

A argila utilizada na fabricação do agregado leve apresentou excelentes resultados de plasticidade ideal para conformação cerâmica, ótima resistência mecânica após queima. O pó de serragem é um resíduo que normalmente é reaproveitado em indústrias como combustível, poderia ter uma aplicação mais nobre. Para atender a nossa meta inicial de elevada resistência mecânica e baixa densidade aparente do agregado, a porcentagem de pó de serragem cerca de 5% foi suficiente.

Foram produzidas duas dimensões de argila expandida que não foram suficientes para se obter um arranjo granulométrico satisfatório, visto que a resistência obtida pela argila expandida é maior do que da argila expandida do mercado.

Outros trabalhos devem ser direcionados para disseminação da argila expandida, visto que otimizando um processo industrial é possível produzir esse agregado com argilas regionais.

## REFERÊNCIAS

- ANGELIN, Andressa Fernanda; LINTZ, Rosa Cristina Cecche; BARBOSA, Luisa Andreia Gachet. Uso da argila expandida e sílica ativa no melhoramento dos desempenhos mecânicos, físicos e térmicos de concretos leves estruturais. *Matéria* (Rio J.), Rio de Janeiro, v. 22, supl. 1, e 11938, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.p>
- ARAB, P. B., PEJON, O.J., 2015, "Identification of clay minerals in mixtures subjected to differential thermal and thermogravimetry analyses and methylene blue adsorption tests", *Applied Clay Science*, 114, pp. 133-138
- AMOROS, J.L., SANCHES, G., JAVIER, M.M., "*Manual para elcontrol de lalocalidad de materias primas arcillosas*", ITC Instituto de Tecnologia Cerámica, 1998

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7181, Determinação do índice de granulometria (2016).

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM, D422-63-1998: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils;

ASTM D4318, Standard test method for Liquid Limit, Plastic limit, and plasticity index of soils, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C-20-2005: Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7180, Determinação do limite de liquidez de solos, Rio de Janeiro (1984).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6459, Determinação do limite de plasticidade de solos, Rio de Janeiro (2016).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR MN 67/1998 Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

BENNOUR A. MAHMOUDI, S.; SRASRA, E. et al., “Composition, firing behavior and ceramic properties of the Sejnène Clays (Northwest Tunisia)”, *Applied Clay Science*, 115, 30-38, 2015.

BOUSSEN, S., SGHAQUIER, D., CHAABANI, F., JAMOSSI, B., BENNOUR, A., “Characteristics and industrial application of the Lower Cretaceous clay deposits (Bouhedma Formation), Southeast Tunisia: Potential use for the manufacturing of ceramic tiles and bricks”, *Applied Clay Science*, 123, 210–221, 2016.

CABRAL, E.M., SÁ, R.J. de, VIEIRA, R.K., VASCONCELOS, R. P., “Use of ceramic bodies in the production of synthetic aggregate calcined clay for use in concrete”, *Cerâmica*, 54, 404–410, 2008.

CAPUTO, H. *Mecânica dos Solos*, Vol1, São Paulo, 2012.

CELIK, H., “Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry”, *Appl. Clay Sci.*, 50, 245–254, 2010.

DOMENECH, V. “Estimacion de la plasticidade de massas cerâmicas mediante la determinacion de la fuerza de indentation”, *Qualicer, Espana*, p.61-70. 1994.

GOMES, C.F., 1988, *Argilas o que são e para que servem*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal.

MACKENZIE, C.R., *The differential thermal investigation of clays*, Ed Cambridge, Londres, 1959.

MAESTRELLI, S.C.; ROVERI, C. D.; NUNES A. et al., 2013, “Estudo da caracterização de argilas não plásticas da região de poços de caldas”, *Cerâmica*, v.59, n. 350, abril/junho.

ROSSIGNOLO, J.A., *Concreto Leve Estrutural*, 1ª Edição, Ed. Pini, São Paulo, 2011.

SANTOS, P.S. *Ciência e Tecnologia de Argilas*. Blucher, São Paulo, 1989.

SANTIS, B.C.; ROSSIGNOLO, J.A., “Influence of calcined clay lightweight aggregates on the mechanical properties of structural concretes”, *Revista Matéria* v. 20, n. 2, 399–406, 2015.

YU S.O.ABRANHAM. Tomada de Decisão nas Organizações: Uma Visão Multidisciplinar. São Paulo, 2016.

ZHANG, M.H.; “Mechanical Properties of High - Strength Lightweight Concrete”, *Materials Journal*, 88, 3 (1991), 240-247.