

## 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 C-634.

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

### 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 foram 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 está apresentado na Figura 1.

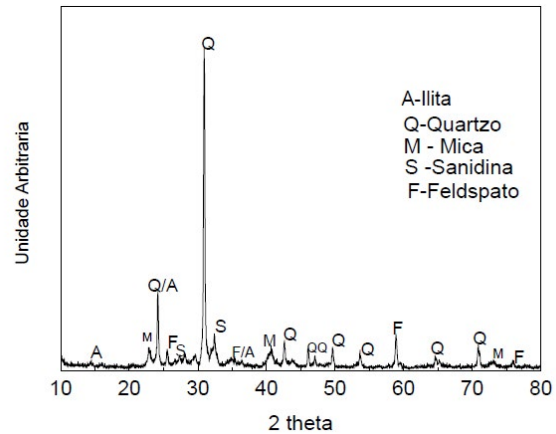


Figura 1 - padrão de difratometria da argila

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

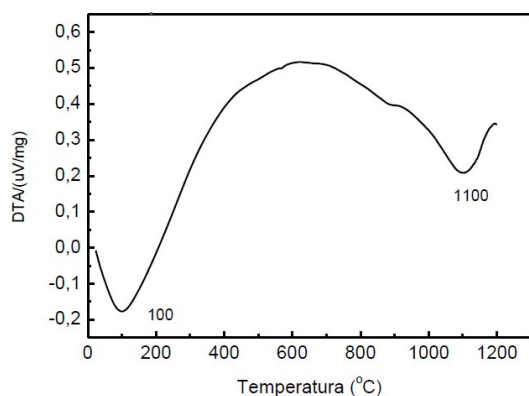
Tabela 1 - Análise química da argila (%)

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

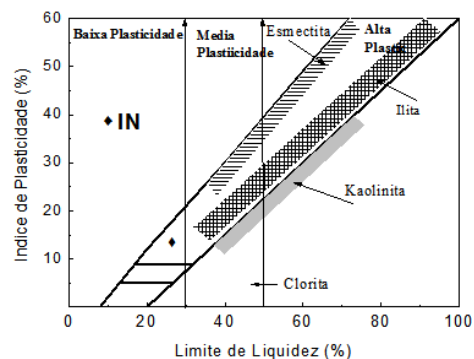
Figura 1. A argila apresenta majoritariamente os argilominerais ilita (JCPDS 96900-9666) que fornece os óxidos  $K_2O$  que favorecem a sinterização durante a queima. Em menor proporção apresenta ainda o acessório muscovita (JCPDS 96101-1059), que fornece os óxidos  $Na_2O$  e  $K_2O$ , além do quartzo (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 caulínicas.

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



**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  $2\text{ }\mu\text{m}$  confere maior área específica, favorecendo o desenvolvimento da plasticidade, obtendo-se maior resistência

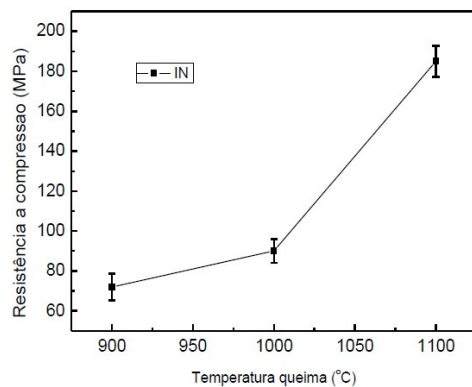
mecânica dos corpos conformados a verde e, proporcionalmente, melhora a sinterização e a resistência mecânica após queima. Já o teor de matéria orgânica é considerado elevado para ciclos de queima rápido.

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

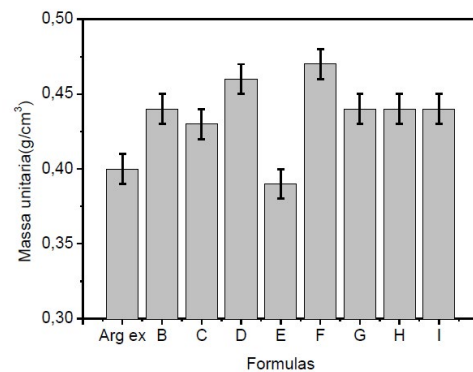
Foram produzidos corpos de prova os quais foram submetidos a ensaios para determinar sua resistência a compressão e sua massa específica. De acordo com a tabela 3 foram incorporados à argila resíduos de serragem, carvão, além de óleo combustível, que após queima liberam CO<sub>2</sub> e que favorecem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

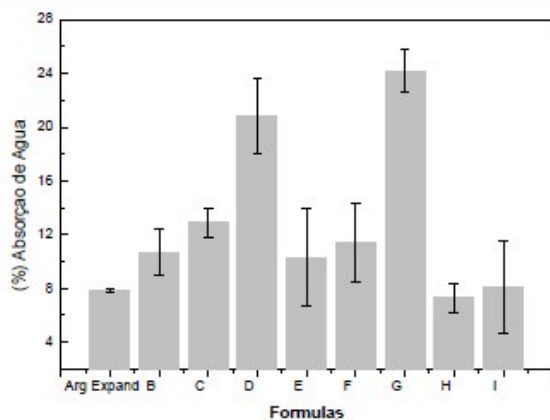


Figura 6 - absorção de água das formulações

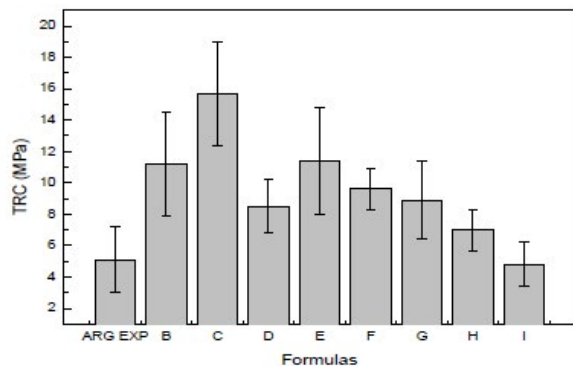


Figura 7 - Tensão de ruptura a compressão das formulações de argila expandida

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.

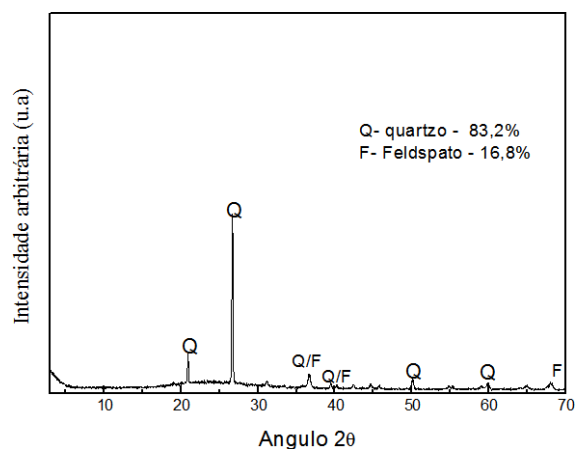


Figura 9 - Padrão de difratometria de raios X da argila expandida queimada

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  $1000\text{Kg/m}^3$ , considerados baixos.

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

Matérias primas	Massa específica ( $\text{kg/m}^3$ )	Massa unitária ( $\text{Kg/m}^3$ )	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  $\text{Kg/m}^3$

Constituintes	TRAÇO		CONSUMO ( $\text{Kg/m}^3$ )	
	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 ( $\text{kg/m}^3$ )
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 llocalidad 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.