

Tema: Materiais cerâmicos, compósitos e poliméricos

CARACTERIZAÇÃO DE ARGILA PARA UTILIZAÇÃO EM CERÂMICA VERMELHA ESTRUTURAL*

Alessandra Savazzini dos Reis¹

Eduardo Junca²

Felipe Fardin Grillo³

Viviana Possamai Della Sagrillo⁴

Francisco Rolando Valenzuela Díaz⁵

Resumo

A telha é um dos principais produtos da indústria de cerâmica vermelha que atende à construção civil. A argila utilizada para fabricação das telhas cerâmicas deve atender a requisitos de qualidade que são influenciados por suas características químicas, físicas, mineralógicas e microestruturais, as quais controlam as propriedades das telhas. Este trabalho visa caracterizar a argila, denominada Guandu, usada na fabricação de telhas cerâmicas. Para esse fim a argila foi submetida a ensaios de FRX, DRX, análise térmica diferencial e termogravimétrica, MEV, limites de Atterberg e granulometria. Corpos de prova foram conformados com a argila, secos a 110°C e queimados em forno industrial e após isso foram submetidos a ensaios de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, perda de massa e resistência mecânica. Os resultados evidenciam que a argila apresenta composição química, mineralógica e plasticidade favoráveis para uso na produção de telhas em cerâmica vermelha. As propriedades obtidas nos corpos de prova queimados atendem parcialmente aos requisitos das telhas cerâmicas.

Palavras-chave: Argila; Caracterização; Telha cerâmica; Propriedades cerâmicas.

CHARACTERIZATION OF CLAY FOR USE IN STRUCTURAL CERAMICS

Abstract

Roof tile is one of the main products of the structural ceramic used in construction building industry. The clay used for the manufacture of ceramic roof tiles must meet quality requirements that are influenced by their chemical, physical, mineralogical and microstructural characteristics, which control the properties of the roof tiles. This paper aims to characterize the clay, in this case called Guandu, used in the manufacture of ceramic roof tiles. For this purpose the clay was tested for XRF, XRD, differential thermal analysis and thermogravimetry, SEM, Atterberg limit and particle size distribution. Specimens were dried at 110°C and burned in the industrial furnace and, after that, tested for water absorption, apparent porosity, bulk density, weight loss and mechanical strength. The results show that clay presents mineralogical, chemical and plasticity favorable for use in the production of ceramic roof tile in structural ceramic. The ceramic properties evaluated in fired specimens partially meet the requirements of ceramic roof tiles.

Keywords: Clay; Characterization; Ceramic roof tile; Ceramics properties.

¹ *Engenheira Civil, Mestre, professora, Coordenadoria de Edificações, IFES, Colatina, ES, Brasil.*

² *Tecnólogo em Metalurgia e Materiais, Mestre, PMT, USP, São Paulo, SP, BR.*

³ *Engenheiro Metalúrgico, Mestre, USP, São Paulo, SP, Brasil.*

⁴ *Química Industrial, Doutora, professora, Coordenadoria de Metalurgia, IFES, Vitória, ES, Brasil.*

⁵ *Engenheiro Químico, Doutor, professor, PMT, USP, São Paulo, SP, Brasil.*

* *Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

1.1 A indústria de cerâmica vermelha e a argila

A indústria de cerâmica vermelha no Brasil produz mensalmente 1.300.000.000 telhas, que é um dos principais produtos de cerâmica vermelha que atende à construção civil [1]. A argila utilizada para fabricação das telhas cerâmicas deve atender a requisitos de qualidade que são influenciados por suas características químicas, físicas, mineralógicas e microestruturais, as quais controlam as propriedades das telhas.

A argila, que é a principal matéria-prima utilizada na indústria cerâmica, é um material natural, terroso, de granulação fina, que geralmente adquire, quando umedecido com água, plasticidade. Quimicamente a argila é composta por silicatos hidratados de alumínio, ferro e magnésio [2].

As características apresentadas pela argila influenciam diretamente a qualidade dos produtos fabricados. Portanto, torna-se importante o estudo das características das argilas, em especial, as usadas na fabricação de telhas, que devem possuir plasticidade adequada para moldagem, resistência mecânica para permitir o manuseio durante a fabricação e após a secagem, porosidade aparente e absorção à água baixas para não permitir a permeação de água; e não devem apresentar trincas e empenamentos após secagem e queima [2]. Além desses fatores torna-se necessário o estudo da composição química e mineralógica, granulometria e comportamento térmico da argila, que se inter-relacionam e influenciam na qualidade final da telha cerâmica.

A importância da identificação completa do tipo de argila para uso em processos industriais também é colocado por Morais e Sposto [3] e Macedo *et al.* [4], que ressaltam que as propriedades finais dos produtos estão estreitamente relacionadas às características da matéria-prima argilosa usada.

A caracterização tecnológica da argila além de servir para avaliar o seu comportamento, pode diagnosticar se ela é indicada para a fabricação de determinado produto cerâmico [5]. Apesar disso, nas fábricas de cerâmica vermelha existentes no Brasil é muito comum a escolha das matérias primas argilosas e a formulação de massas cerâmicas serem feitas de forma empírica, sem a caracterização da matéria-prima, o que dificulta a padronização do produto final [6]. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho visa caracterizar a argila, denominada Guandu, proveniente da cidade de Baixo Guandu no Espírito Santo, usada na fabricação de telhas cerâmicas.

1.2 Propriedades da argila

A plasticidade é a propriedade apresentada pela argila, com certa quantidade de água, de se deformar sem romper pela aplicação de uma tensão, sendo que a deformação permanece quando a tensão aplicada é retirada. A plasticidade na argila além de depender da quantidade de água que ela possui, depende também da forma e do tamanho dos grãos.

O estudo da distribuição granulométrica dos produtos de cerâmica vermelha pode ser auxiliado pelo Diagrama de Winkler [7], que define intervalos de composições granulométricas para os produtos. A Tabela 1 é gerada a partir do Diagrama de Winkler.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Tabela 1. Composição granulométrica dos produtos de cerâmica vermelha

Regiões	Composição granulométrica (%)			
	Tipos de produto	2 μ m	2 a 20 μ m	Maior a 20 μ m
Materiais de qualidade com dificuldade de produção		40 a 50	20 a 40	20 a 30
Telhas, capas		30 a 40	20 a 50	20 a 40
Tijolos furados		20 a 30	20 a 55	20 a 50
Tijolos maciços		15 a 20	20 a 55	25 a 55

Fonte: Pradicelli e Melchiades [5]

No caso de telhas e tijolos furados cerâmicos, a composição granulométrica deve conter de 20% a 40% de grãos menores a 2 μ m, de 20% a 55% de grãos entre 2 e 20 μ m e de 20% a 50% de grãos maiores que 20 μ m.

A argila normalmente utilizada na cerâmica vermelha apresenta uma mistura de argilominerais, tais como, caulinita com illita ou montmorilonita ou esses minerais em camadas mistas, além de ferro na sua composição mineralógica.

A água de plasticidade da caulinita deve estar no intervalo de 9% a 56%, da illita entre 17% e 39% e da montmorilonita entre 83% e 250% [2].

Quanto à absorção de água, deve ser mantido valor inferior a 20%, que é o estabelecido pela Norma ABNT 15310/2005 [8] para telhas cerâmicas e no caso dos tijolos furados cerâmicos, um valor máximo de 25% [9].

O comportamento térmico na argila auxilia na sua identificação, no caso da argila caulínica o pico endotérmico aparece entre 500°C e 600°C, onde se dá a perda de água de constituição, próximo aos 900°C aparece o pico exotérmico, que indica a fase de cristalização.

Nas argilas micáceas (ilíticas) observa-se em geral três picos endotérmicos, correspondentes à perda, respectivamente, de água zeolítica, de constituição e o último entre 800°C e 900°C, que é menor e está relacionado a destruição da estrutura interna [10].

Na composição química, a argila de olaria deve apresentar teores de Fe₂O₃ inferiores a 10% e quando queimada deve proporcionar corpos cerâmicos de cor variada desde cinza ao amarelo-ocre, castanho ou vermelho. Estas cores dependem dos minerais constituintes serem portadores de ferro, titânio e manganês e também da atmosfera em que é efetuada a queima [11]. Em geral observa-se na análise química de argilas usadas em cerâmica vermelha altos teores de SiO₂ seguido de Al₂O₃ [2].

Além da caracterização da argila, torna-se importante conhecer as propriedades cerâmicas que a mesma apresenta. Os valores das propriedades cerâmicas das argilas padrão-brasileiras a serem usadas em cerâmica vermelha, de acordo com Souza Santos [2] podem ser resumidos na Tabela 2.

Tabela 2. Variação das propriedades cerâmicas [2]

Propriedade	Variação
Tensão de ruptura à flexão	> 60 kgf/cm ² (6MPa)
Absorção de água	≤25%
Porosidade aparente	≤35%
Massa específica aparente	1,5* a 2,0* g/cm ³

Nota: *valores aproximados

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra estudada foi coletada em pilha de armazenagem de matéria-prima em fábrica de cerâmica vermelha situada no estado do Espírito Santo, Figura 1(a). Depois de coletada, a argila, denominada Guandu, foi destorroada, com auxílio de almofariz, Figura 1(b); foi homogeneizada, quarteada e dividida em três partes, uma parte foi peneirada na peneira #40, outra parte na #80, e outra parte da #200 da ABNT com aberturas de malha de 0,42 mm, 0,18 mm e 0,074 mm, respectivamente, de acordo com as metodologias dos ensaios realizados. A Figura 1(c) apresenta uma parte da argila peneirada na peneira #80.



(a) Armazenagem

(b) Argila destorroada

(c) Argila após peneira #80

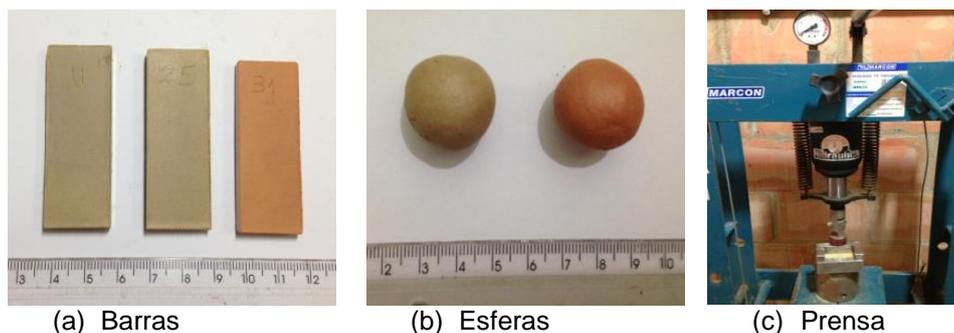
Figura 1. Detalhes da preparação da argila Guandu.

A argila *in natura* foi caracterizada por fluorescência de raios X (FRX) em espectrômetro marca Philips modelo PW2400; difração de raios X (DRX) com fonte de cobre (radiação K α) em aparelho Philips X-PERT MPD; análise térmica diferencial (ATD) e diferencial termogravimétrica com razão de aquecimento de 10°C/minuto, em atmosfera de ar, em aparelho Shimadzu DTA-50; microscopia eletrônica de varredura (MEV) em microscópio eletrônico de varredura marca Philips XL-30; limites de Atterberg, conforme normas ABNT [12,13]; teor de umidade [14]; e análise granulométrica por difração a laser em equipamento Mastersizer 2000 da Malvern. Após ensaios de caracterização foram confeccionados doze corpos de prova esféricos por moldagem manual (esferas) com diâmetro médio de 20mm e doze corpos de prova prismáticos (barras) com dimensões de 20mm x 60mm x 5mm por prensagem a 250Kgf/cm² em prensa Marcon de capacidade de carga de 15t.

Os corpos de prova foram secos em estufa por 24 horas a uma temperatura de 110°C, após isso foi verificada a perda de massa. Em seguida, a metade dos corpos de prova foi queimada em forno industrial tipo túnel por 24 horas a uma temperatura máxima na zona de queima de 900°C em fábrica de cerâmica vermelha. Após a queima foram determinadas: absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente, resistência à compressão axial nas esferas, resistência à flexão nas barras, perda de massa e retração de queima de acordo com metodologia proposta por Souza Santos [2].

Nas Figuras 2(a) e 2(b) são apresentados os corpos de prova conformados, sendo que na Figura 2(a) podemos ver as barras apresentadas em três estágios, recém-conformada, seca à 110°C e após queima em forno industrial, na Figura 2(b) podemos ver a esfera, seca à 110°C e após queima; e na Figura 2(c) a prensa utilizada para a prensagem das barras.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



(a) Barras

(b) Esferas

(c) Prensa

Figura 2. Barras e esferas conformadas e prensa usada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da Argila

O resultado da análise química (Tabela 3) é apresentado em termos do percentual em peso dos óxidos constituintes e da perda ao fogo. Analisando os dados da tabela podemos verificar que a argila Guandu apresenta composição típica de matéria-prima argilosa, ou seja, rica em sílica e alumina, com teores de 40,85% e 33,56% respectivamente. Esses teores de SiO_2 , Al_2O_3 e da perda ao fogo situam-se nos intervalos referenciados em Souza Santos [2], sendo SiO_2 entre 43,2% e 77,6% e o Al_2O_3 entre 6,8% e 38%. Quanto à perda ao fogo, o intervalo é 6% a 15,7% para matérias-primas argilosas de cerâmica vermelha.

O percentual de 7,41% de óxido de ferro é o responsável pela coloração avermelhada após queima. A concentração de fundentes ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) que contribuem para a formação da fase líquida não é significativa.

Tabela 3. Composição química da argila Guandu

Composição elementar expressa em óxidos (%)	
SiO_2	40,85
Al_2O_3	33,56
Fe_2O_3	7,41
TiO_2	1,51
K_2O	0,77
MgO	0,63
CaO	0,21
Na_2O	0,16
P_2O_5	0,14
MnO	<0,05
B_2O_3	0
Li_2O	0
BaO	0
Co_2O_3	0
Cr_2O_3	0
PbO	0
SrO	0
ZnO	0
$\text{ZrO}_2+\text{HfO}_2$	0
Perda ao fogo	14,29
Total	100

* Contribuição técnica ao 69^o Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14^o ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

De acordo com o difratograma de raios-X (Figura 3) o mineral predominante é a caulinita, tendo sido detectada também a ilita. Há a presença de quartzo, que é uma forma cristalina da sílica (SiO_2), presente em alto teor na análise química. Deve ser verificada junto à fábrica a temperatura adequada de queima dos produtos cerâmicos, já que a argila em questão é caulínica e não ílítica, necessitando de temperatura mais alta para queima.

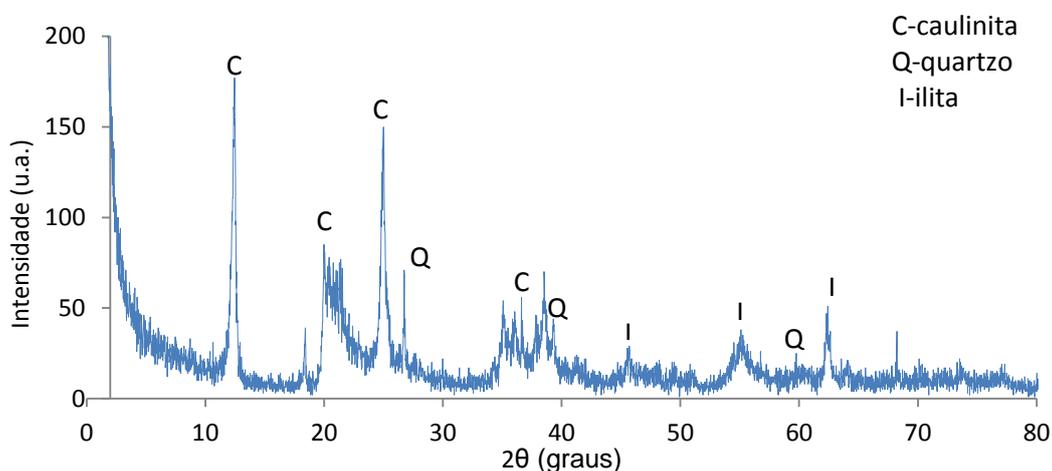


Figura 3. Difratograma de raios X da argila Guandu

Na Figura 4, que apresenta o comportamento térmico da argila, ocorre um pico endotérmico próximo a 100°C, onde há a perda de água livre, entre 200°C e 300°C ocorre um pico endotérmico que corresponde provavelmente à perda de matéria orgânica. Outro pico endotérmico de maior intensidade aparece em 500°C, onde se dá a desidroxilação dos argilominerais, a partir de 800°C aparece uma banda exotérmica, que indica a fase de cristalização. No gráfico TG, que apresenta a perda de massa com o aumento da temperatura, pode-se verificar que a perda na argila foi de cerca de 18%, valor coerente para uma argila caulínica.

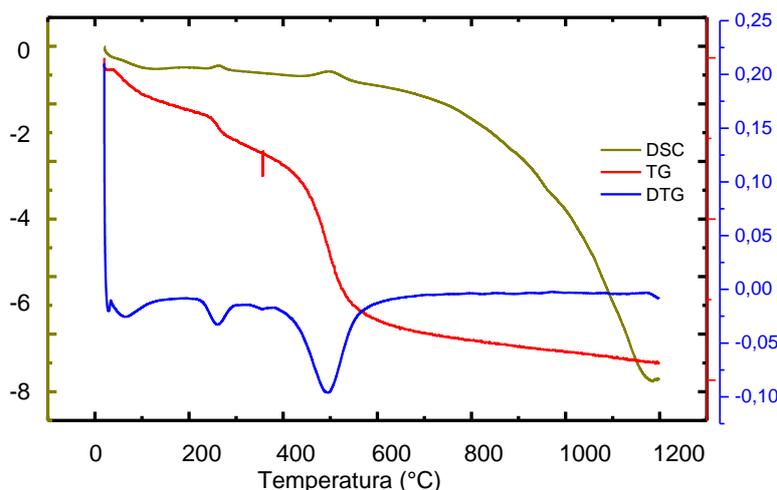
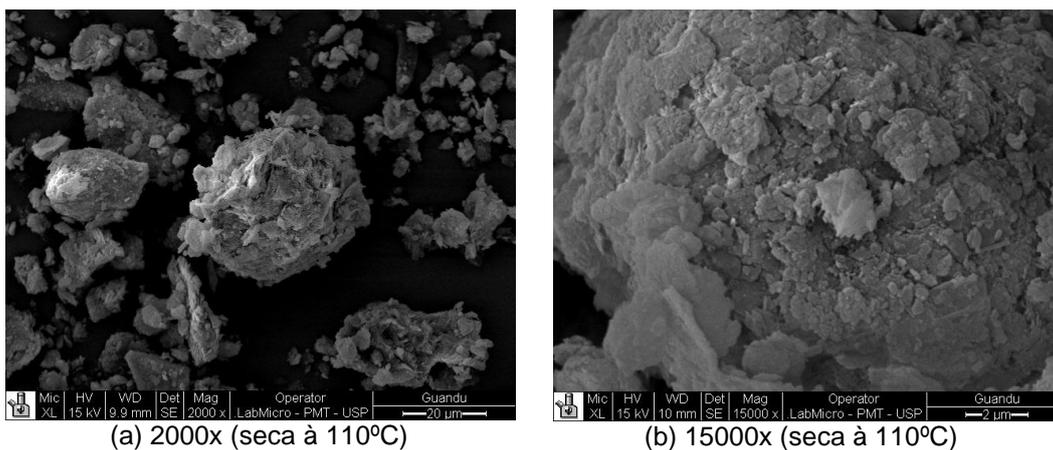


Figura 4. Curvas DSC/TG/DTG da argila Guandu.

O resultado da microscopia eletrônica (Figura 5) indica que os grãos apresentam formato irregular com tendência a forma de partículas lamelares, algumas dispersas e outras aglomeradas. O tamanho dos grãos variam entre 44,5 µm a 2 µm.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



(a) 2000x (seca à 110°C)

(b) 15000x (seca à 110°C)

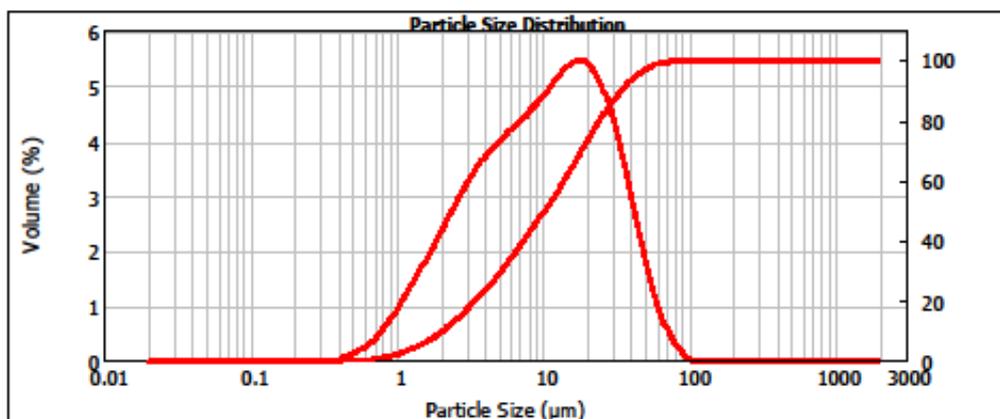
Figura 5. MEV da argila Guandu

Os limites de Atterberg são apresentados na Tabela 4. O índice de plasticidade indica que a argila Guandu é altamente plástica ($IP \geq 15$), valor adequado para a moldagem por extrusão de materiais cerâmicos. Isso deve indicar a necessidade de usar uma quantidade maior de água para extrudar a massa cerâmica, o que deverá requerer uma secagem mais prolongada. Quanto ao limite de plasticidade, em se tratando de uma argila caulínica, está dentro do intervalo de 9% a 56% prescrito em Souza Santos [2].

Tabela 4. Limites de Atterberg e umidade natural

Características	Umidade natural (%)	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Índice de plasticidade IP(%)
Argila Guandu	9,09	67,46	42,00	25,46

A distribuição granulométrica da argila está apresentada na Figura 6. A distribuição granulométrica da argila Guandu se apresenta com 10% dos grãos menores que 2,18 μm (diâmetro efetivo); 50% dos grãos menores que 10,27 μm e 90% dos grãos menores que 34,27 μm . Podemos obter através dos dados obtidos que 11% dos grãos são menores que 2 μm ; 62% dos grãos tem tamanhos entre 2 μm e 20 μm e 27% dos grãos são maiores que 20 μm . Neste caso, se considerarmos os valores da Tabela 1, já descritos no trabalho, a argila não seria considerada adequada para fabricação de telhas cerâmicas.

**Figura 6.** Gráfico de frequência da análise de tamanho de partícula da argila Guandu.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



3.2 Propriedades cerâmicas dos corpos de prova

Os resultados obtidos nos corpos de prova são apresentados na Tabela 5. Pode-se verificar que as esferas e as barras queimadas apresentaram valores equivalentes nas propriedades avaliadas. No caso das esferas a perda água após secagem é maior devido à maior quantidade de água na moldagem em relação a quantidade de água nas barras. Quanto à perda de massa na queima, que foi em média de 14,3%, tal valor pode contribuir para a porosidade das peças.

Os valores encontrados de resistência à flexão, absorção de água e massa específica aparente atendem aos valores das argilas-padrão brasileiras após queima, cujos valores são: 6MPa, 20% e 1,5 a 2,0g/cm³, respectivamente [2]. No entanto a porosidade aparente não atende ao limite máximo de 35%, problema que pode ser resolvido otimizando a temperatura de queima ou a composição da massa cerâmica.

Tabela 5. Resultados das propriedades cerâmicas

Propriedade	Barras	Esferas
Absorção de água - AA (%)	23,41	24,89
Porosidade aparente - PA (%)	38,94	37,92
Massa específica aparente - MEA (g/cm ³)	1,66	1,55
Massa específica aparente da parte sólida - MEAs (g/cm ³)	2,72	2,50
Perda de massa à secagem – PS (%)	9,57	26,46
Perda de massa à queima – PF (%)	14,33	14,34
Retração linear de queima – RL (%)	3,93	-
Retração volumétrica de queima – RV (%)	-	12,03
Resistência à compressão seca - σ_s -(MPa)	-	0,69
Resistência à compressão após queima – σ_Q -(MPa)	-	1,78
Resistência à flexão após queima – σ_Q -(MPa)	8,83	-

4 CONCLUSÃO

A caracterização química e mineralógica da argila Guandu usada em fábrica de cerâmica estrutural demonstrou que o mineral predominante é a caulinita, sendo a argila considerada sílico aluminosa contendo teores de quartzo e de ferro adequados.

A amostra possui distribuição granulométrica com baixo teor da fração argila, mas apresenta plasticidade adequada para uso em cerâmica vermelha.

Os valores encontrados de resistência à flexão, absorção de água e massa específica aparente atendem aos valores das argilas-padrão brasileiras para uso em cerâmica vermelha. Porém, na produção de telhas não atende ao valor recomendado de 20% para absorção de água.

Os resultados do estudo evidenciam a importância e necessidade de uma adequada caracterização das matérias-primas usadas para aplicação em cerâmica vermelha.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

REFERÊNCIAS

- 1 Associação Nacional da Indústria Cerâmica (ANICER). Dados oficiais [online]. Rio de Janeiro. 2014 [acesso 28 fev. 2014]. Disponível em: <http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional.asp&secao=3&categoria=60&selMenu=4>.
- 2 Souza Santos P. Tecnologia das argilas. v.1-2. São Paulo: Edgard Blucher; 1975.
- 3 Morais DM, Sposto RM. Propriedades tecnológicas e mineralógicas das argilas e suas influências na qualidade de blocos cerâmicos de vedação que abastecem o mercado do Distrito Federal. *Cerâmica Industrial*. 2006;11:35-38.
- 4 Macedo RS, Menezes RR, Neves GA, Ferreira HC. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha. *Cerâmica*. 2008;54:411-417.
- 5 Pérez CAS, Paduani C, Ardisson JD, Gobbi D, Thomé A. Caracterização de massas cerâmicas utilizadas na indústria de cerâmica vermelha em São Domingos do Sul-RS. *Cerâmica Industrial*. 2010;15(1):38-43.
- 6 Santos RC, Santana LNL, Macedo RS, Silva BJ. Formulação de massas cerâmicas para a produção de telhas. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais; 2012; Santa Catarina, Brasil. 2012 [acesso em 1 mar. 2013]. Disponível em: <http://www.cbecimat.com.br/trabalhos-completos-cbecimat.php>.
- 7 Pradicelli S, Melchiades FG. Importância granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. *Cerâmica Industrial*. 1997;2(1-2):31-35.
- 8 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15310: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro; 2005.
- 9 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15270-1: Componentes cerâmicos– Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro; 2005.
- 10 Petrucci EGR. Materiais de construção. 4ª Edição. Porto Alegre: Editora Globo; 1979.
- 11 Portal de apoio ao pequeno produtor mineral (PORMIN). Descrição, aplicabilidade e ocorrências de argila branca e vermelha. 2008. [acesso em 1 mar. 2014]. Disponível em: http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/argilas_branca_vermelha_propriedades_aplicabilidade_ocorrencias.pdf.
- 12 Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6459: Solo – determinação de limite de liquidez. Rio de Janeiro; 1984.
- 13 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180: Solo – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro; 1984.
- 14 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro; 1986.

* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.