

DESENVOLVIMENTO DE MASSA CERÂMICA UTILIZANDO RESÍDUO DE ROCHA ORNAMENTAL*

Marilena Coelho de Azevedo¹

Lucas Fonseca Amaral²

Geovana Carla Girondi Delaqua³

Sérgio Neves Monteiro⁴

Carlos Maurício Fontes Vieira

Resumo

Buscar diversificar a oferta de produtos numa empresa é decisão crucial para mantê-la no mercado. Diante disso, a produção de telhas cerâmicas extrudadas aparece como uma oportunidade de investimento para uma indústria cerâmica da região de Campos dos Goytacazes/RJ. Com o intuito de auxiliar na decisão por este investimento, este trabalho consiste na formulação de uma massa cerâmica para a produção de telhas. O diagrama de Winkler foi utilizado para direcionar a proporção dos materiais utilizados na formulação das massas. A misturada foi realizada utilizando-se o resíduo de rocha ornamental, areia quartzosa e argila plástica. Para tanto, foram preparados corpos de prova laboratoriais por extrusão e sinterizados em temperaturas de 800, 900 e 1000 °C. Por meio das propriedades investigadas avaliou-se a massa formulada como de melhor desempenho em relação à argila plástica, com resultados adequados às normas técnicas de fabricação de telhas cerâmicas..

Palavras-chave: Incorporação; Reciclagem; Cerâmica vermelha.

CERAMIC CLAYEY BODY DEVELOPMENT USING ORNAMENTAL ROCK WASTE

Abstract

Seeking to diversify the product offering in a company is crucial decision to keep it in the market. Therefore, the production of extruded ceramic tiles appears as an investment opportunity for a ceramic industry in the region of Campos dos Goytacazes - RJ. With the purpose of assisting in the decision for this investment, this work consists in the formulation of a ceramic clayey body for roofing tiles production. The Winkler diagram was used to assist in determining the proportions of each materials used in the clayey body formulation. The formulations was carried out using the ornamental rock residue, quartz sand and plastic clay. For that, laboratory specimens were prepared by extrusion and sintered at temperatures of 800, 900 and 1000 °C. By means of the investigated properties the clayey body formulated presented better performance in relation to the plastic clay, with results adequate to the technical standards of ceramic roofing tiles production..

Keywords: Incorporation; Recycling; Red ceramic..

¹ Engenheira de produção, Doutora, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.

² Engenheiro industrial madeireiro, Mestre, Doutorando, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, campos dos Goytacazes, RJ – Brasil

³ Bióloga, Mestra, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.

⁴ Engenheiro Metalúrgico, Doutor, Professor, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil.

⁵ Engenheiro Mecânico Doutor, Professor, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

1 INTRODUÇÃO

Em vista de que a matéria-prima argilosa é um recurso natural não renovável [1], a fabricação de produtos de maior valor agregado torna-se imprescindível como alternativa para o pleno desenvolvimento das potencialidades do setor ceramista de Campos dos Goytacazes. Entre os produtos de maior valor agregado encontram-se as telhas cerâmicas, produto com grande dificuldade de produção nesta região, dentro das especificações técnicas. Pedroti et al. (2011) [2] explicam que as massas cerâmicas usadas nas indústrias de Campos caracterizam-se por apresentar um comportamento de queima refratário, fato que dificulta o alcance das propriedades requeridas em produtos como telhas e pisos extrudados.

Um estudo comparativo das características de uma típica massa cerâmica para telhas do município de Campos dos Goytacazes e massas de reconhecida qualidade provenientes de outras regiões, desenvolvido por Vieira et al. (2003) [3], constatou que a massa de Campos apresenta características significativamente diferentes de outras já reconhecidas por serem utilizadas para fabricação de produtos com alta qualidade técnica. Tais como, elevado percentual de alumina, baixo percentual de sílica, excessivo conteúdo de minerais argilosos e elevada perda de massa durante a queima, associada basicamente à predominância caulínica das argilas locais. Estas argilas possuem, ainda, gibbsita (hidróxido de alumínio) em sua composição, fator que também contribui para aumento da refratariedade e perda de massa.

Por outro lado, como a produção de telhas se mostra como opção de investimento a fim de diversificar a atividade local, deve-se buscar sanar tais deficiências das argilas de Campos ao incorporar outros materiais, com intuito de reformular a massa cerâmica.

O resíduo de rocha ornamental torna-se, neste contexto, uma opção de matéria-prima favorável à reformulação de massas cerâmicas. Este resíduo possui percentual considerável de óxidos alcalinos terrosos (K_2O e Na_2O) em sua composição, quais são capazes de promover fluxo viscoso, por meio de reação eutética em conjunto ao silício e alumínio [4]. Outra importante característica, é a granulometria mais grosseira do resíduo em comparação às argilas, assim, ocorre sinergia ao misturar esses dois materiais em relação à densidade relativa das peças. Neste sentido, esta proposta visa a formulação de massa cerâmica para produção industrial de telhas, com coloração clara, com intuito de corrigir, ou minimizar, as deficiências apresentadas pelas argilas da região de Campos dos Goytacazes.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1. Materiais e métodos

Foram utilizadas como matéria-prima, para formulação da massa cerâmica, uma argila cinza, conhecida localmente como argila gorda de alta plasticidade, areia quartzosa e o resíduo de rocha ornamental. Todos estes materiais foram coletados diretamente no pátio de estoque em uma indústria da região.

Os materiais foram secos em estufa a 110 °C até massa constante, e, logo após, peneirados em 20 mesh para preparação dos corpos de prova e, também, para a determinação da distribuição granulométrica.

Para a caracterização mineralógica, via difração de raios-X, as amostras foram peneiradas em 200 mesh e o ensaio foi realizado no equipamento de modelo

SHIMADZU XRD 7000 nas seguintes condições: radiação Cu K α (35 kV/40 mA) e 2θ variando de 5 a 60° passo de 0,02° e tempo de 5s por passo.

A distribuição granulométrica das matérias-primas e a densidade real dos grãos foi realizada por peneiramento e sedimentação de acordo com a norma NBR 7181 (1984) [5].

O método de formulação escolhido foi o diagrama de Winkler [6] no qual as matérias-primas foram posicionadas a fim de identificar uma formulação enquadrada na região B, apropriada para fabricação de telhas. As regiões delimitadas neste diagrama sugerem o tipo de produto conforme a dosagem de partículas finas, médias e grossas, visando obter o comportamento plástico ideal.

Logo após, foram retiradas amostras de cada formulação para determinação da plasticidade, por meio do método de Atterberg [5,7].

Após a mistura das matérias-primas, os corpos de provas foram conformados com utilizando-se uma extrusora laboratorial, marca Verdés, provida de bomba para vácuo. Foram produzidos 15 corpos-de-prova para cada tratamento, considerando a argila cinza, a nova massa cerâmica formulada, e as temperaturas de queima. Foi utilizada uma boquilha padrão retangular, produzindo corpos de prova com dimensões aproximadas de 11x2x1cm.

Para a sinterização, foi utilizado um forno laboratorial, marca EDG, modelo EDG 3P-S, com temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C. A taxa de aquecimento foi de 2°C/min, sendo 120 min de permanência na temperatura patamar.

As seguintes propriedades foram avaliadas: a massa e as dimensões de cada corpo de prova foram registradas por uma balança e paquímetro digital, respetivamente, e a partir dos valores encontrados, apurou-se a densidade aparente a seco; a retração linear de queima foi realizada utilizando um paquímetro digital da marca MITUTOYO (de resolução de $\pm 0,01$ mm) para determinar as dimensões antes e após a queima; a absorção de água foi realizada em acordo à norma ASTM C373-72 [8]; por último, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tensão de ruptura à flexão por três pontos.

A textura da superfície interna dos corpos de prova foi observada por meio do microscópio eletrônico de varredura da marca Bruker, modelo Quanta FEG, para a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

2.2 Resultados e discussão

A Tabela 1 apresenta resultados da distribuição de tamanho das partículas da argila, areia e do resíduo de rocha ornamental. Conforme relatado por Santos (1989) [9], os percentuais de partículas com diâmetro esférico equivalente menor que 2 μm são conferidos aos argilominerais, o percentual situado na faixa entre 2 – 20 μm corresponde à fração silte e a fração areia corresponde às partículas maiores que 20 μm .

Tabela 1. Composição granulométrica das matérias-primas

Matéria-prima	Composição granulométrica (%)		
	<2 μm	2–20 μm	>20 μm
Argila Cinza	61,3	28,7	10
Resíduo de Rocha	17,2	32,4	49,4
Areia	0,1	4,2	95,6
Massa Cerâmica	43,4	25,8	30,8

O diagrama de Winkler é uma ferramenta que auxilia na formulação de massas cerâmicas, classificando-as em três classes de tamanho de partículas e delimitando regiões que são adequadas à fabricação de diferentes produtos cerâmicos por extrusão, sendo a região A para produtos com dificuldade de conformação, a região B para telhas, a região C para tijolos furados, enquanto a região D está relacionada aos tijolos maciços [6]. No Diagrama de Winkler (Figura 1), posicionando isoladamente as três matérias-primas, verifica-se que não seriam adequadas para serem utilizadas para fabricação de qualquer produto de cerâmica vermelha. Contudo, sabendo-se que, para a fabricação de telhas é necessária uma massa cerâmica plástica que contém partículas $< 2 \mu\text{m}$ entre 30 – 50%, optou-se por combinar a argila cinza ao resíduo de rocha ornamental (RRO) e à areia. O posicionamento no diagrama de Winkler orientou a decisão pelas proporções a fim de direcionar a massa cerâmica formulada para a fabricação de telhas claras. A utilização do resíduo e da areia ajudou a deslocar a mistura para a região inferior do diagrama, deixando-a mais próxima da fração areia. O resíduo de rocha ornamental apareceu como boa opção por seu considerável percentual de silte. Assim, seguindo o diagrama de Winkler (Figura 1), para a mistura da massa MRRO, combinou-se 65% da argila Cinza, 20% de areia e 15% de resíduo de rocha ornamental.

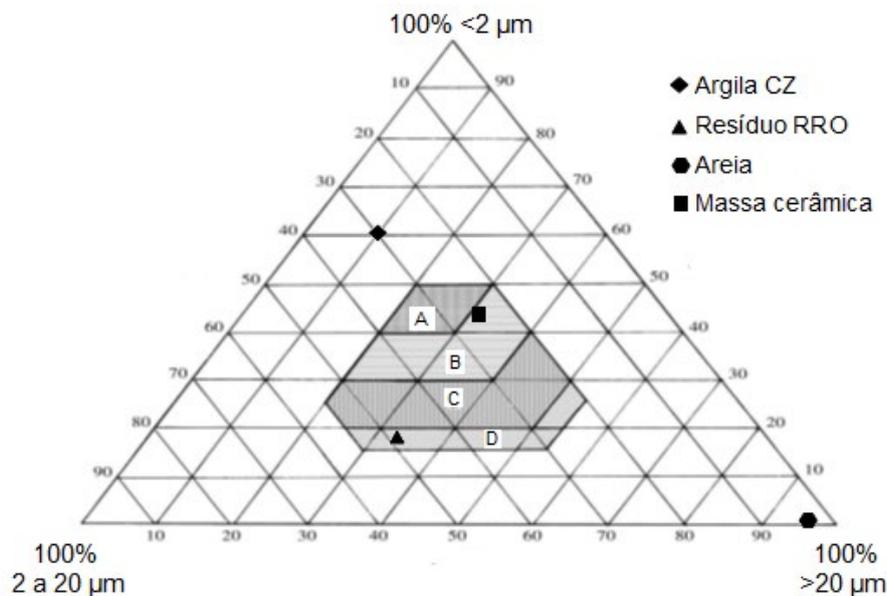


Figura 1. Posicionamento das matérias-primas e da massa cerâmica formulada no diagrama de Winkler.

Foi empregada a técnica de difração de raios-X para a determinação dos componentes mineralógicos presentes na massa cerâmica, em que o difratograma está representado na Figura 2. Os principais minerais encontrados foram quartzo (SiO_2), anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), microlina (KAlSi_3O_8), goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), montmorilonita ($\text{Al}_{3,33}\text{Mg}_{0,67}\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot \text{M}^{+1}_{0,67}$), mica muscovita ($\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$).

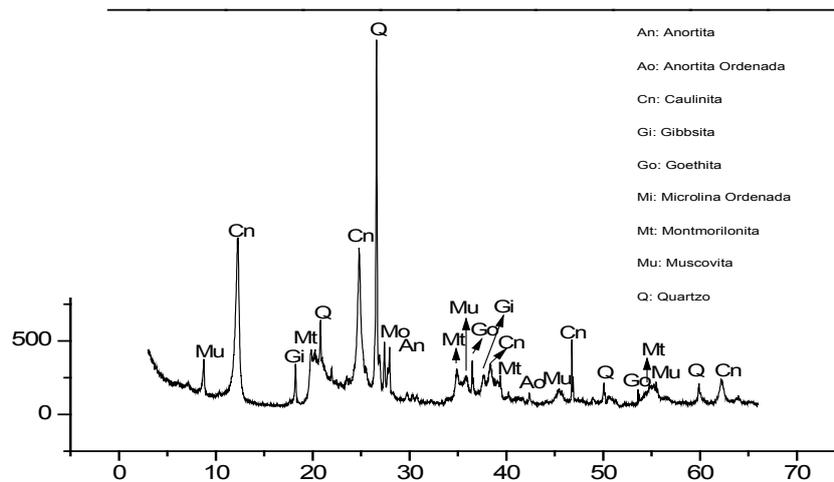


Figura 2. Difratoograma de raios-X da massa cerâmica formulada.

Para a determinação da plasticidade dos solos, utiliza-se o método de Atterberg. Por meio deste método amplamente empregado definem-se os limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP). Más (2002) [10] explica que o limite de liquidez expressa o máximo de água que deve ser acrescentado à massa desde que não prejudique sua consistência plástica, com valores entre 30 e 60% no caso de conformação por extrusão [9]. O limite de plasticidade aponta a quantidade mínima de água para modelar a massa cerâmica. Para o processo de extrusão, são aceitáveis valores de LP entre 15 e 30%. No que se refere ao índice de plasticidade (IP), que é a diferença entre o LL e o LP, deve ser de, no mínimo, 10%, e no máximo 35%, para não dificultar a conformação por extrusão.

Na Figura 3 foram plotados graficamente os limites de Atterberg da massa cerâmica formulada e da argila. Marsigli e Dondi (1997) [11] sugerem o uso deste gráfico para visualizar um prognóstico da etapa de conformação por extrusão das massas cerâmicas. Observando esta figura, percebe-se que a massa cerâmica formulada com resíduo de rocha ornamental e areia (MRRO) posiciona-se na região ótima para extrusão, antevendo um desempenho muito favorável para a fabricação das telhas cerâmicas extrudadas. Isto acontece devido à considerável quantidade de partículas grosseiras nesta massa, advindas do resíduo (alta teor de silte) e da areia. Estas partículas ajudam a reduzir o limite de plasticidade da massa argilosa, atuando como matérias-primas não-plásticas.

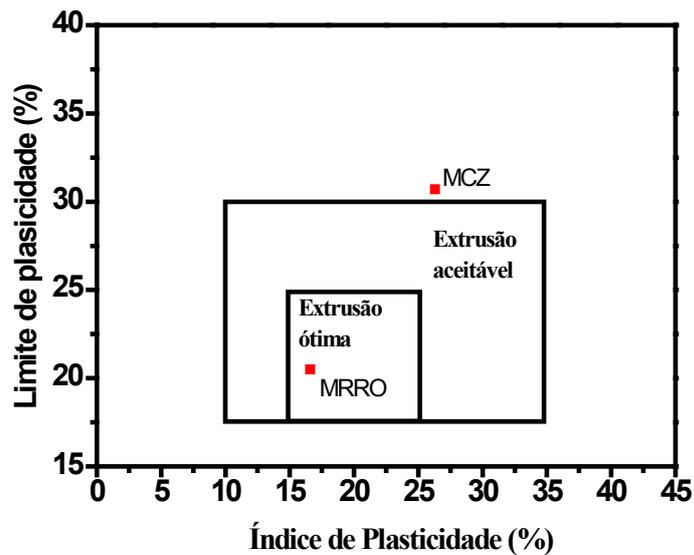


Figura 3. Prognóstico de extrusão da argila e da massa cerâmica formulada.

Os valores de absorção de água da massa cerâmica proposta, a cada temperatura, estão dispostos na Figura 4. O limite máximo admissível de absorção para telhas (20%) [12], também está expresso nesta mesma Figura. Com isso, percebe-se que, para todas as temperaturas trabalhadas, os corpos de prova da massa cerâmica obtiveram melhores resultados, ficando abaixo do valor limite para esta propriedade avaliada. Para a argila cinza, somente após a temperatura de 950°C é que foi atingido o limite máximo requerido para absorção de água.

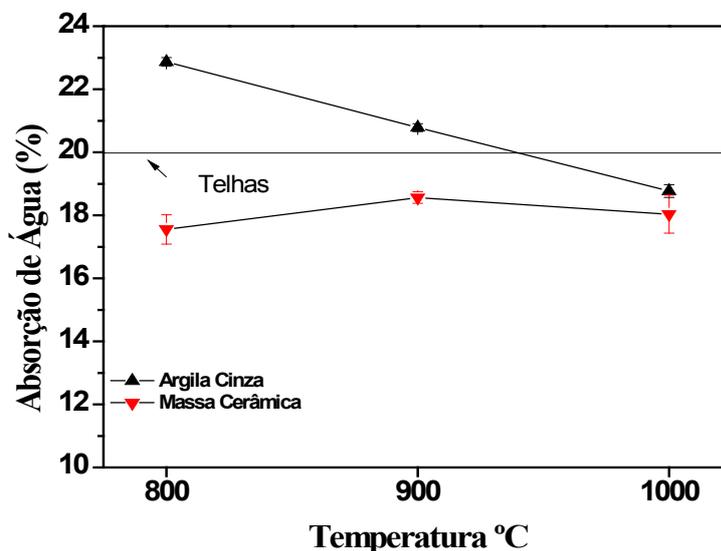


Figura 4. Absorção de água (%) da argila e da massa formulada para as temperaturas avaliadas.

O melhor desempenho da massa cerâmica também pode ser observado por meio da Figura 5, onde se apresentam os valores percentuais da retração linear de queima dos corpos de prova. Este é um parâmetro importante na definição das dimensões finais do corpo cerâmico e deriva da aproximação das partículas durante o processo de sinterização, podendo também ocorrer pela perda de massa ao fogo. Durante o

processo de sinterização dos produtos, espera-se que a retração linear de queima seja a mais reduzida possível, de forma a reduzir ao máximo a perda por trincas e empenamentos. É possível observar que a menor retração foi a da massa cerâmica, para todas as temperaturas, e situou-se dentro do limite máximo de 2% recomendado para telhas [10].

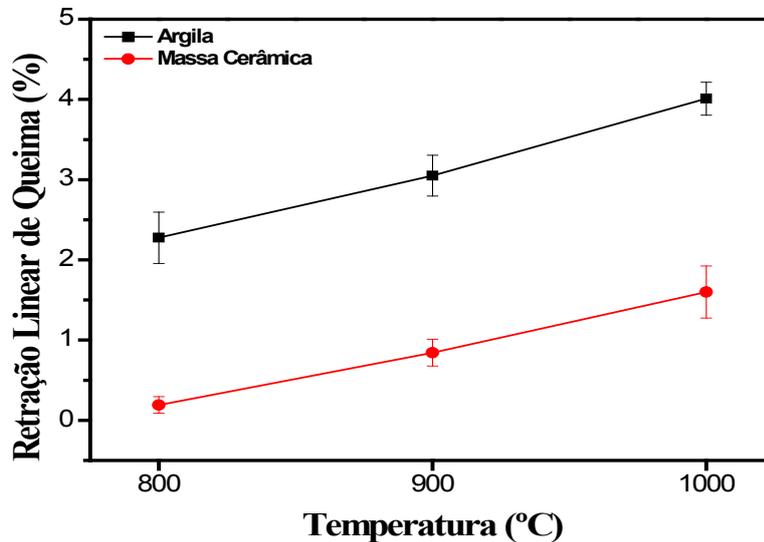


Figura 5. Retração linear de queima (%) da argila e da massa cerâmica para as temperaturas avaliadas.

A Figura 6 demonstra os valores para a resistência mecânica, dos corpos de prova confeccionados com a argila e também com a massa formulada, considerando todas as temperaturas avaliadas. Como esperado, as peças tiveram sua resistência mecânica acrescida em função do incremento de temperatura. Este aumento é decorrente da redução da porosidade por meio da eficiência no processo de sinterização, e principalmente pela consolidação das partículas. O valor limite de tensão de ruptura para telhas cerâmicas recomendado por Santos (1989) [9] é de 6,37 MPa (65 kgf/cm²).

A 850°C, tanto a argila quanto a massa formulada superam o limite de resistência sugerido pelo autor supracitado. Este resultado é satisfatório visto que esta é a temperatura mais utilizada nas indústrias cerâmicas locais. Na temperatura de 900°C, a massa cerâmica sofreu decréscimo na resistência mecânica. Essa redução pode ter acontecido pela geração de trincas possivelmente formadas pelas tensões provocadas devido a transformação alotrópica do quartzo.

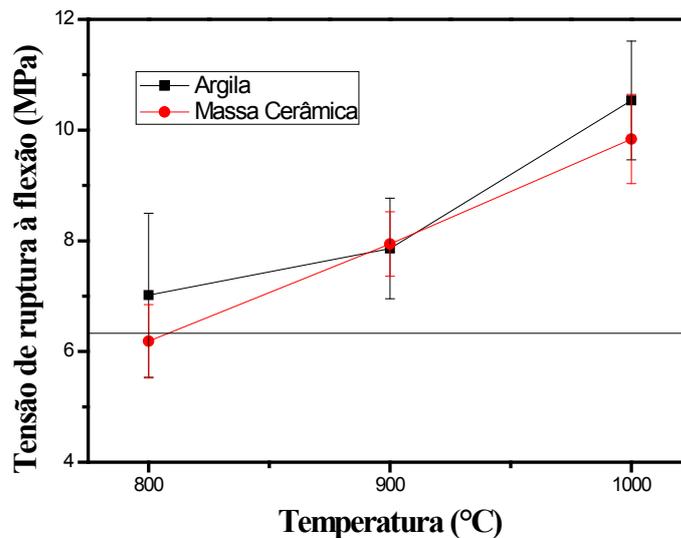


Figura 6. Tensão de ruptura à flexão (MPa) da argila e da massa cerâmica para as temperaturas avaliadas.

3 CONCLUSÃO

Pela distribuição do tamanho de partículas, posicionando as matérias-primas no diagrama de Winkler, nenhuma delas situou-se em regiões favoráveis para a fabricação de produtos cerâmicos. Por isso, a opção de formular a massa cerâmica com resíduo de rocha e areia, utilizando a argila cinza, foi bem sucedida. Quanto aos valores de plasticidade encontrados, os resultados confirmaram o excesso de plasticidade da argila, e quando misturados à argila cinza, a areia e o resíduo contribuíram satisfatoriamente na redução de sua plasticidade, haja vista a grande quantidade de partículas relacionadas à fração silte e areia. A massa formulada atendeu satisfatoriamente a todas as propriedades avaliadas, considerando as normas e recomendações existentes, fornecendo, portanto, uma opção viável para empresários que desejem investir no setor.

Agradecimentos

Os autores agradecem as agências brasileiras CNPq (processo n° 392930/2014-0) e FAPERJ (processo n° E-26/202.773/2017) pelo suporte financeiro para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 He H, Yue Q, Qi Y, Gao B, Zhao Y, Yu H, Li J, Li Q, Wang Y. The effect of incorporation of red mud on the properties of clay ceramic bodies. *Applied Clay Science*. 2012; 70: 67–73.
- 2 Pedroti LG, Alexandre J, Xavier GC, Monteiro SN, Vieira CMF, Bahiense AV, Maia PCA. Desenvolvimento de Massa Cerâmica para Blocos Queimados e Prensados. *Cerâmica Industrial*. 2011; 16(1):25 – 30.
- 3 Vieira CMF, Soares TM, Monteiro SN. Massas cerâmicas para telhas: Características e comportamento de queima. *Cerâmica*. 2003; 49: 245 – 250.
- 4 Roedder E. *Physics and Chemistry of the Earth*, 1959; 3:224-297.

- 5 Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7180. Determinação da análise granulométrica dos solos. 1984.
- 6 Heystek H. Desired properties of clay minerals in ceramics. American Ceramic Society Convention. 1964.
- 7 Associação brasileira de normas técnicas NBR 6459. Solo - Determinação do limite de liquidez. 1984.
- 8 ASTM- American Society for Testing and Materials ASTM C373-72. Test method for water absorption, bulk density, apparent porosity and apparent specific gravity of fired whiteware products. 1977.
- 9 Santos PS. Ciência e Tecnologia das Argilas. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher; 1989.
- 10 Más E. Qualidade e tecnologia em cerâmica vermelha. São Paulo: Editora Pólo Produções Ltda, 2002.
- 11 Marsigli M, Dondi M. Plasticità delle argille italiane per laterizi e previsione del loro comportamento in foggatura. 1997.
- 12 Associação brasileira de normas técnicas NBR 15310. Componentes Cerâmicos – Telhas – Terminologia, Requisitos e Métodos de Ensaio. 2005.