

## UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE VIDRO SODO-CÁLCICO PARA PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA\*

Pâmela de Faria Busch<sup>1</sup>

Lucas Fonseca Amaral<sup>2</sup>

Geovana Girondi Carla Delacqua<sup>3</sup>

Sérgio Monteiro Neves<sup>4</sup>

Carlos Maurício Fontes Vieira<sup>5</sup>

### Resumo

Dentre os resíduos industrialmente gerados, encontra-se o vidro, que possui alto potencial de reciclagem, porém, quando descartado em lugares impróprios pode ficar acumulado durante várias gerações. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo avaliar como a utilização do resíduo de vidro sodo-cálcico influencia nas propriedades e processamento da cerâmica vermelha. Para tanto, as matérias-primas foram caracterizadas de acordo com a composição química e distribuição granulométrica. Assim, corpos de prova cerâmicos foram preparados com incorporações de 0, 10, 20 e 30% de resíduo. As amostras foram obtidas por prensagem e sinterizadas, em forno laboratorial, a 900 °C. Os resultados demonstraram claramente o potencial de utilização do resíduo de vidro sodo-cálcico, gerados a partir da etapa de lapidação, como matéria-prima para a indústria cerâmica..

**Palavras-chave:** Reciclagem; Resíduos industriais; Cerâmica tradicional.

### SODA-LIME GLASS WASTE UTILIZATION FOR RED CERAMIC PRODUCTION

#### Abstract

Among the industrially generated waste is glass, which has a high potential for recycling, but when discarded in inappropriate places can accumulate for several generations. In this sense, this work aims to evaluate how the use of soda-lime glass waste influences the properties and processing of red ceramics. For this, the raw materials were characterized according to the chemical and particle size distribution. Therefore, ceramic specimens were prepared with 0, 10, 20 and 30% residue incorporations. The samples were obtained by pressing and sintered in a laboratory oven at 900 °C. The results clearly demonstrated the potential of using soda-lime glass residue generated from the cutting stage as raw material for red ceramic industry..

**Keywords:** Recycling; Industrial waste; Traditional ceramics.

<sup>1</sup> *Bióloga, Mestre, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Industrial Madeireiro, Mestre, Doutorando, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.*

<sup>3</sup> *Bióloga, Mestre, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenheiro Metalúrgico, Doutor, Professor, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil.*

<sup>5</sup> *Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor, LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.*

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional gerou um aumento da sociedade consumista e com isso, a necessidade de avanços tecnológicos tanto das indústrias como da ciência no intuito de suprir a população, acarretando uma maior extração de matérias-primas. Após o fim da vida útil dos bens de consumo, estes seriam descartados de volta ao meio ambiente. Com tamanha exploração e desperdício desses recursos, tornou-se indispensável a busca por ciclos fechados os quais a matéria-prima seja reciclada e reutilizada no mesmo processo de produção ou também em outros processos produtivos [1].

Um dos setores industriais que vem sendo uma alternativa para a incorporação de resíduos, principalmente como forma de reduzir os impactos ao meio ambiente, é a cerâmica vermelha ou tradicional. Este potencial está intimamente relacionado à duas características principais deste ramo industrial, quais sejam, a variabilidade natural das características físicas, químicas e mineralógicas das matérias-primas empregadas e ao alto volume de produção [2].

Dentre os resíduos industrialmente gerados, destaca-se, neste trabalho, o resíduo de vidro sodo-cálcico proveniente da etapa de lapidação das chapas de vidro. Os vidros sodo-cálcicos são os mais antigos e mais amplamente utilizados em tubos e bulbos de lâmpadas, janelas, potes, garrafas e frascos. São compostos de 8 a 12% de óxidos de cálcio e de 12 a 17% e óxido alcalino (principalmente de sódio). Inclui-se também uma pequena quantidade de alumina (de 0,6 a 2,5%) para aumentar a durabilidade química [3].

Desta forma, este trabalho visa identificar como a utilização do resíduo de vidro sodo-cálcico influencia nas propriedades físicas e mecânicas das cerâmicas sinterizadas, de forma a subsidiar informações consistentes para a comunidade científica e industrial.

Verifica-se, portanto, que o tema é de extrema importância visto que, utilizando-se da reciclagem, é possível reduzir o volume de matéria-prima natural (argila) extraída, das emissões de poluentes e o consumo de energia, refletindo em conservação de recursos naturais. Além de reduzir o impacto ambiental, o reaproveitamento deste resíduo pode contribuir para a redução de custos de produção, tanto para a empresa geradora, quanto para a indústria ceramista, e também possui potencial para a melhoria da qualidade dos produtos da indústria cerâmica vermelha.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e métodos

Foram utilizadas como matérias-primas a argila caulínica e resíduo proveniente da etapa de lapidação do vidro. A argila foi coletada em uma indústria cerâmica situada no município de Campos dos Goytacazes – RJ. O resíduo foi coletado na estação de tratamento de efluentes (ETE) instalada na Viminás, indústria beneficiadora de vidros localizada no CIVIT II, município da Serra, região metropolitana da Grande Vitória, estado do Espírito Santo, Brasil.

As matérias-primas foram primeiramente secas em estufa laboratorial a 110°C para a retirada da água residual. Em seguida, foram destorroadas e peneiradas para a obtenção do pó em peneira de 42 mesh (0,355 mm).

Ambos os materiais foram caracterizados quimicamente por meio da análise semi-quantitativa. Para isso, foi utilizado um espectrofotômetro de fluorescência de raios-

X PW2400 da Philips com tubo de Rh de 3KW de potência, seis cristais analisadores e dois detectores (selado e fluxo).

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) [4].

Foram formuladas massas cerâmicas com adições de 0, 10, 20 e 30% em peso de resíduo de vidro, em adição à argila. Essas foram homogeneizadas a seco em um moinho de bolas durante 20 minutos e condicionadas em sacos plásticos fechados. Logo após, foram retiradas amostras de cada formulação para determinação da plasticidade, por meio do método de Atterberg [4,5].

As massas cerâmicas foram umedecidas com 8% de água de modo a atingir o ponto plástico para a conformação por prensagem. Foram confeccionados 13 corpos de prova para cada lote por prensagem uniaxial exercendo pressão de 20 MPa. Foi utilizado neste processo uma matriz de forma retangular (114,3 x 25,4 x 10 mm) e pistões de aço. Os corpos de prova foram secos em estufa a 110°C e posteriormente sinterizados em forno laboratorial tipo Mufla da Maitec modelo FL 1300 a 900 °C.

Para avaliação da influência do resíduo, foram determinadas as seguintes propriedades, quais sejam, densidade relativa, retração linear de queima, absorção de água e tensão de ruptura à flexão.

A densidade relativa foi calculada por meio da relação entre a densidade aparente a seco, e a densidade real dos grãos; a retração linear de queima foi realizada utilizando um paquímetro digital da marca MITUTOYO (de resolução de +- 001 mm) para determinar as dimensões antes e após a queima; o ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com as normas ASTM C373-72 (1977) [6]; a tensão de ruptura à flexão por 4 pontos ( $\sigma$ ) foi realizada com auxílio do equipamento INSTRON 5582.

## 2.2 Resultados e discussão

Na Tabela 1 estão contidos os valores referentes ao percentual dos elementos químicos majoritários identificados na argila e no resíduo. A argila é composta predominantemente de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , que combinados formam os principais constituintes mineralógicos, tais como caulinita, mica muscovita e feldspatos. Verifica-se, também, teor considerável de  $\text{K}_2\text{O}$ , que possivelmente estão como parte da estrutura cristalina de feldspato potássico (microclina) e mica muscovita. A presença do potássio é de interesse para a indústria cerâmica, devido à reação eutética com formação de fase líquida, auxiliando na sinterização do material [7]. Além disso, por meio da relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  pode-se inferir um significativo percentual de fração “argila” (caulinita), por essa relação situar-se próxima àquela para a caulinita teórica. A perda ao fogo relativamente alta (11,4%) pode embasar esta inferência, devido à desidroxilação da caulinita, com consequente perda de massa. O baixo teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (<3%) sugere a utilização desta argila para produtos de cor clara após queima.

Ainda em relação à Tabela 1, para o resíduo de vidro, observa-se o predomínio de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$ . Estes resultados estão compatíveis com a literatura, como relatado Navarro (1991) [3], em que os vidros sodo-cálcicos típicos, possuem porcentagens de  $\text{SiO}_2 = 71\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1\%$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 13,5\%$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 0,5$ ;  $\text{MgO} = 4\%$  e  $\text{CaO} = 10\%$ . O óxido de silício tem grande importância na composição da estrutura do vidro, pois são óxidos formadores de rede, enquanto os óxidos de sódio e cálcio são modificadores de rede, responsáveis por reduzirem a viscosidade do vidro.

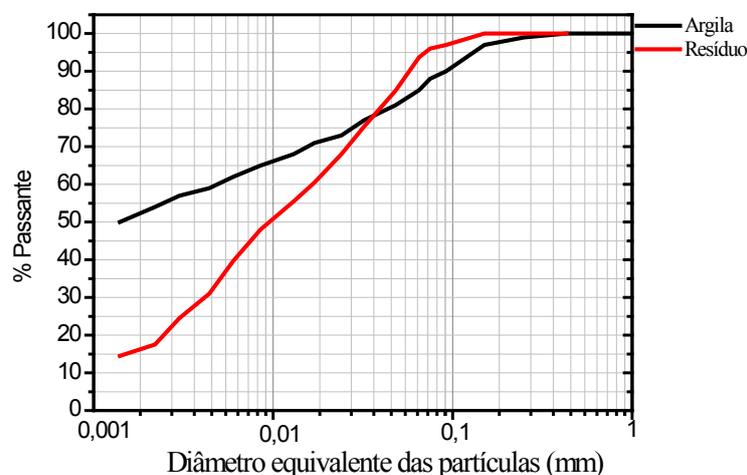
Nesse sentido, verifica-se que esta característica pode auxiliar na sinterização das cerâmicas, por meio do maior fluxo viscoso, e com isso contribuir para melhoria das propriedades mecânicas.

**Tabela 1.** Composição química (%) da argila e do resíduo de vidro sodo-cálcico

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZrO <sub>2</sub>	PF <sup>1</sup>
Argila	49,45	1,68	31,31	1,44	0,39	0,29	0,34	3,26	11,44	0,06	xx
Resíduo	67,88	0,17	2,31	1,25	2,44	8,44	13,57	0,30	0,05	0,10	2,80

<sup>1</sup>Perda ao fogo

Na Figura 1 estão demonstradas as distribuições granulométricas da argila e do resíduo. Nesta figura, as diferentes faixas de diâmetro dos grãos estão associadas à classificação argila, silte e areia, conforme preconiza Santos (1989) [8]. A faixa argila corresponde às partículas com diâmetro esférico equivalente  $< 2 \mu\text{m}$ , a fração silte corresponde à faixa entre  $2 - 20 \mu\text{m}$  e a fração areia corresponde às partículas  $> 20 \mu\text{m}$ . Portanto, é possível observar que o resíduo possui granulometria essencialmente fina, possuindo mais de 96% das partículas com tamanho inferior a 0,1 mm. O diâmetro o qual corresponde o tamanho médio dos grãos (d50) é de 0,01mm. Verifica-se, portanto, a compatibilidade granulométrica do resíduo em relação à argila. Assim, este resultado demonstra que não há a necessidade de processamentos mecânicos prévios para o beneficiamento do resíduo, visando sua redução granulométrica. Ademais, a granulometria fina do resíduo favorece sua reatividade, permitindo o aumento do fluxo viscoso na etapa de sinterização.



**Figura 1.** Distribuição granulométrica da argila e do resíduo.

Na Figura 2 estão representados os limites de Atterberg das formulações em um modelo capaz de indicar regiões correspondentes à extrusão ótima e aceitável. A quantidade de água mínima adicionada à massa cerâmica para que seja possível de conformá-la é dada por meio do limite de plasticidade (LP), enquanto o limite de liquidez (LL) corresponde à quantidade de água máxima que a massa pode conter para que ainda seja moldável. A diferença entre LL e LP se dá pelo índice de plasticidade (IP), o qual indica a faixa de consistência de plástica.

Nota-se que a argila pura (0% de resíduo) está localizada dentro da região de extrusão aceitável. A incorporação de 10% de resíduo de vidro foi capaz de ajustar a

plasticidade da massa cerâmica, transportando-a para a região de extrusão ótima, demonstrando o equilíbrio desta propriedade para esta formulação. Já as incorporações de 20% e 30% de resíduo reduziram consideravelmente o índice de plasticidade da massa cerâmica.

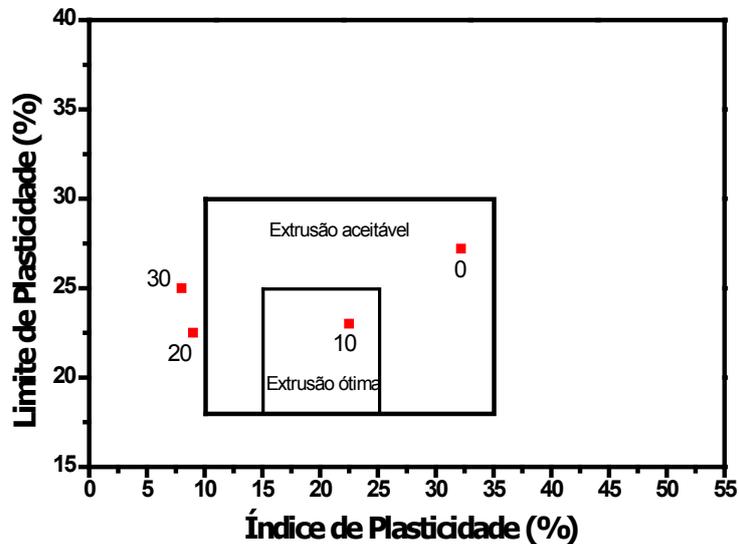


Figura 2. Prognóstico de extrusão das massas cerâmicas avaliadas.

A Figura 3 representa os valores de densidade relativa das composições contendo 0, 10, 20 e 30% de resíduo de vidro. É possível notar que o resíduo de vidro sodocálcico, obtido na etapa de lapidação das chapas, influenciou negativamente nesta propriedade. A densidade relativa está relacionada ao empacotamento a seco dos corpos de prova, sendo que esta propriedade possui influência direta nas outras propriedades, tais como, absorção de água e resistência mecânica. Verifica-se, portanto, que a granulometria essencialmente fina do resíduo não atuou sinergicamente com a argila, acarretando em porosidades nas peças. Uma possível forma de corrigir esta deficiência seria adicionar outras matérias-primas de granulometria grosseiras à massa cerâmica, visando a melhor distribuição das partículas finas, médias e grossas.

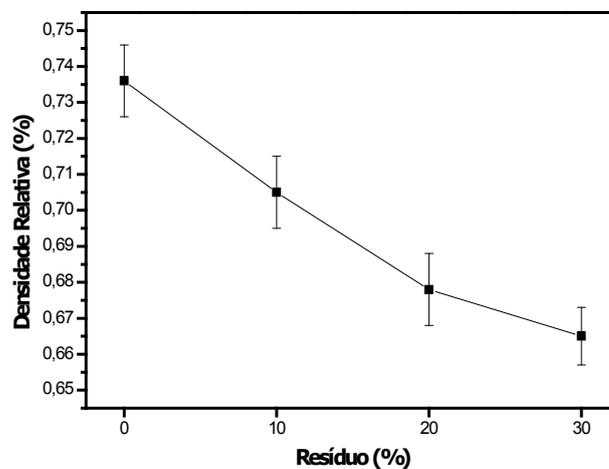
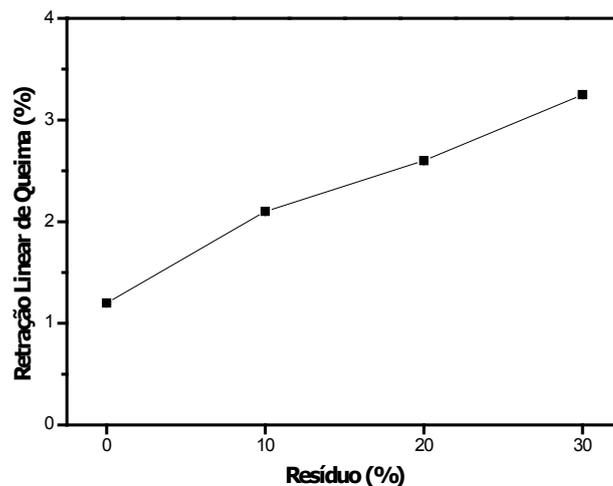


Figura 3. Densidade relativa a seco das composições contendo 0, 10, 20 e 30% de resíduo.

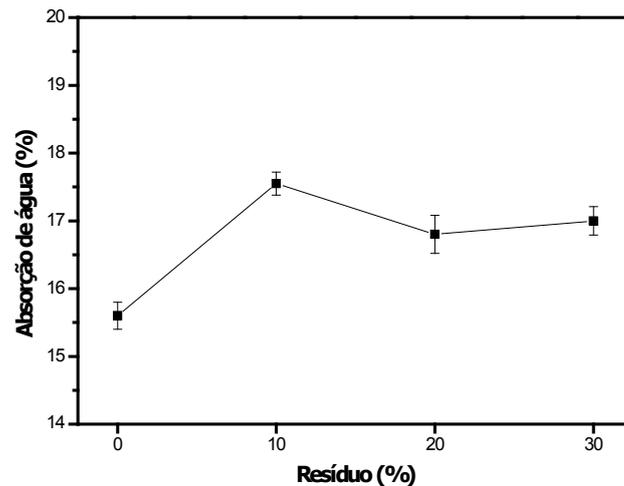
Na Figura 4 está representado o comportamento de retração linear em função da temperatura de queima. Esta propriedade é de interesse para o estudo de materiais cerâmicos fabricados por meio da sinterização. Assim, a retração linear de queima possui correlação direta com eficiência da sinterização, visto que, durante esta etapa, o corpo cerâmico tende a retrair ocasionando a consolidação das partículas. As composições com adição de 10, 20 e 30% de resíduo demonstraram um padrão crescente. Este comportamento era previsto, visto a capacidade dos óxidos alcalinos terrosos presentes no resíduo em formarem reações eutéticas, com consequente aumento do fluxo viscoso. Dessa forma, quanto maior o teor de resíduo incorporado, maior é o teor de fase líquida formada, e consequentemente, maior a retração linear de queima.



**Figura 3.** Retração linear de queima das composições contendo 0, 10, 20 e 30% de resíduo.

A Figura 4 apresenta os valores de absorção de água das composições contendo 0, 10, 20 e 30% de resíduo de vidro plano. O incremento do resíduo de vidro acarretou no aumento da absorção de água, como era previsto ao analisar os resultados da densidade relativa. No entanto, ainda assim, estes valores situaram-se dentro do preconizado pela NBR 15310 [9], qual determina como sendo 20% o limite máximo admissível para absorção de água para telhas cerâmicas.

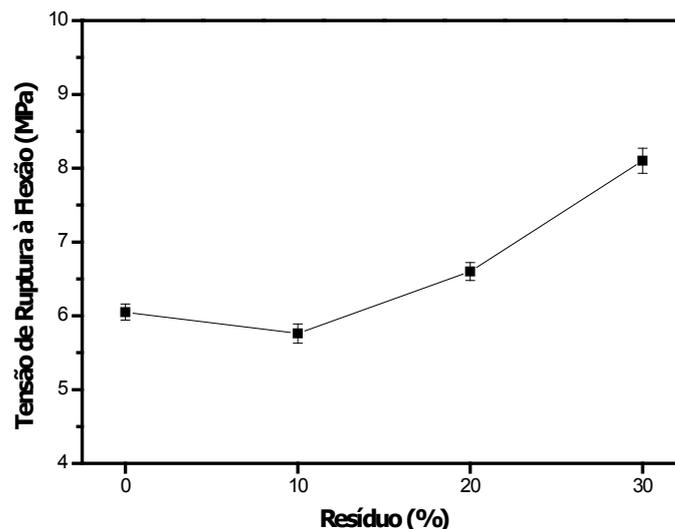
A redução da densidade relativa ocasionou o aumento da porosidade total nas peças cerâmicas, e como consequência, houve também o aumento da absorção de água, estando esta, relacionada apenas com a porosidade aberta. Nesse sentido, o aumento da formação de fase líquida proporcionado pelo resíduo não foi suficiente para suprir o efeito deletério do aumento da porosidade devido à redução da densidade relativa.



**Figura 4.** Absorção de água das composições contendo 0, 10, 20 e 30% de resíduo.

A Figura 5 apresenta os gráficos de tensão de ruptura à flexão das composições contendo 0, 10, 20 e 30% de resíduo. É possível observar a tendência crescente de resistência mecânica atribuída ao aumento do teor de resíduo de vidro incorporado. Verifica-se, também, que a formulação contendo 30% de resíduo atingiu a resistência mínima para telhas, qual é 6,5 MPa, conforme sugerido por Santos (1989) [8].

Este aumento está relacionado à formação de fase líquida proporcionada pela incorporação do resíduo. Logo, apesar do aumento da porosidade, acarretado pela redução da densidade relativa, a consolidação do corpo cerâmico não foi prejudicado. Pelo contrário, a sinterização foi mais efetiva nas composições contendo maior teor de resíduo, em vista do maior fluxo viscoso.



**Figura 5.** Tensão de ruptura à flexão das composições contendo 0, 10, 20 e 30% de resíduo.

### 3 CONCLUSÃO

Por meio dos resultados demonstrados, é notável o potencial que o resíduo de vidro, gerado a partir da etapa de lapidação de chapas de vidro sodo-cálcicos, possui como matéria-prima para a indústria cerâmica. Destaca-se, como material alternativo, devido à característica não-plástica do resíduo, sua capacidade de atuar como corretor de plasticidade, principalmente em argilas plásticas. Em paralelo, ainda é possível verificar o efeito benéfico do aumento da resistência mecânica propiciado pela reação eutética envolvendo os óxidos alcalinos do resíduo. Não obstante, o aumento da porosidade pode ser considerado também um resultado favorável, visto que a relação entre resistência mecânica e densidade aparente, denominada de resistência mecânica específica, é uma das propriedades mais almejadas pelos projetistas.

### 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 Antônio AP. Potencialidades do aproveitamento do resíduo de estação de tratamento de efluentes do processo de lapidação do vidro sodo-cálcico na produção de concretos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo ES. 2012.
- 2 Naga SM, El-Maghraby A. Industrial waste as raw materials for tile making. *Silicates Industriels*, 2003; 68: 89-92.
- 3 Navarro, J.M.F. *El vidrio*. 2.ed. Madrid, Espanha: C.S.I.C., 1991.
- 4 ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 718. Determinação da análise granulométrica dos solos. 1984.
- 5 ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6508-1984. Grão de solos que passaram na peneira de 4,8 mm – Determinação de massa específica. 1984.
- 6 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.
- 7 Roedder E. *Physics and Chemistry of the Earth*, 1959; 3:224-297.
- 8 Santos PS. *Ciência e Tecnologia das Argilas*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher; 1989.
- 9 ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15310 - Componentes Cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. 2009.