

Metodologia para Avaliação da Possibilidade de Incorporação de Resíduos Industriais em Massas Cerâmicas Conformadas por Extrusão

Martins, C. A.*; Sordi, V. L., Bruno, R. S. S., Zauber, R. T., Boschi, A. O.

*Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos
Rod. Washington Luiz, km 235, 13565-905 São Carlos - SP
e-mail: cmartins@power.ufscar.br

Resumo: Foi desenvolvido um método para avaliar a possibilidade de inserção de resíduos industriais sólidos, em massas cerâmicas processadas por extrusão. A metodologia, além de ensaios convencionais, inclui o uso de equipamento que possibilita determinar a força necessária para extrusão de uma massa cerâmica, em velocidades da produção industrial. Foram utilizados três diferentes resíduos e uma massa industrial para extrusão de componentes de cerâmica vermelha. Os resultados indicaram a melhor porcentagem de resíduo possível de ser incorporado à massa, em cada caso, sem a ocorrência de mudanças significativas nas propriedades mecânicas e sem a ocorrência de esforços adicionais no equipamento para extrusão. Concluiu-se que o método possibilita determinar de maneira rápida e correta os teores de resíduos possíveis de serem incorporados em massas cerâmicas destinadas à extrusão, sem alteração significativa de propriedades mecânicas, sem prejuízo ao equipamento e sem a inclusão de gastos adicionais de energia para a extrusão.

Palavras-chave: *resíduo industrial, extrusão, cerâmica vermelha, força para extrusão, propriedades mecânicas*

1. Introdução

Nos últimos trinta anos, as discussões relativas aos impactos da atividade humana no meio ambiente mostraram que o modelo de produção urbano-industrial pode afetar significativamente as águas, o solo e o ar, através da poluição. Priorizar a máxima eficiência no uso dos recursos naturais exige estratégias para lidar com o processo de degradação da qualidade ambiental, em consequência da poluição associada, por exemplo, à geração dos resíduos industriais¹.

Em razão da legislação, as indústrias são responsáveis pelos resíduos que geram. Nessa situação, um grande número de estudos tem sido desenvolvidos ao longo do tempo, para o reaproveitamento dos resíduos em outras atividades industriais, ou para a recolocação do resíduo na mesma linha de produção que o gerou. Uma parte desses estudos analisa a mistura do resíduo industrial em argilas destinadas à fabricação de Cerâmica Vermelha, incorporando o material ao produto, o que de certa forma dá uma destinação adequada ao resíduo. Resíduos da serragem de granitos², da cinza de casca de arroz³, de lama vermelha oriunda do processo Bayer⁴, de lixívia de glicerina⁵ e de cinzas de carvão⁶ já foram misturados com massas argilosas em porcentagens diversas, visando a obtenção de produtos, citando apenas um mínimo de exemplos.

A incorporação, em laboratório ou na linha industrial, segue alguns passos usuais, ou seja, são geradas composições com alguns teores dos resíduos, e analisadas as propriedades de interesse no produto resultante. Via de regra, os teores adicionados são meramente tentativas, até se conseguir detectar o melhor teor a ser incorporado, pela análise das propriedades do produto.

Essa metodologia proposta, possível de ser aplicada quando a massa cerâmica é processada por extrusão, pode permitir analisar se o teor do resíduo adicionado irá influenciar também no esforço do equipamento utilizado na extrusão, através da avaliação comparativa da força para extrusão. A análise conjunta da força para extrusão da composição e das propriedades resultantes pode mostrar o teor de

resíduo adequado para a incorporação, sem que as propriedades sejam alteradas significativamente, e adicionalmente, sem o acréscimo de energia no processo de extrusão.

O equipamento⁷ foi desenvolvido inicialmente para análise da extrusão de massas cerâmicas, e estudos complementares com adequação da metodologia e acoplamento com uma máquina universal de ensaios⁸ mostraram que é possível utilizar o equipamento para detectar a força para extrusão segundo a variação da umidade da massa e tipos de aditivos presentes.

Nesse estudo, utilizamos o equipamento já desenvolvido e os procedimentos para caracterização⁹ de matérias primas para Cerâmica Vermelha.

2. Materiais e Métodos

Foram utilizados três diferentes resíduos industriais, incorporados em diferentes porcentagens em uma massa cerâmica utilizada na fabricação de Cerâmica Vermelha por extrusão. Foi determinada a força necessária para a extrusão das composições e obtidos os corpos de prova, posteriormente caracterizados.

2.1. Resíduos industriais utilizados

Lama neutralizada proveniente de uma E.T.A. de indústria de papel (r1), lama não neutralizada, de uma E.T.A. de indústria de papel (r2) e resíduo de uma indústria de beneficiamento de minérios (r3).

2.2. Preparação da massa cerâmica e dos resíduos recebidos

A massa cerâmica foi seca a 110 °C e desaglomerada em moinho de martelo. Os resíduos foram utilizados como recebido. Para efeito de introdução do resíduo, foi descontada a porcentagem de umidade que ocorre nos mesmos.

2.3. Preparação das composições

Todas as porcentagens são em peso. As composições foram preparadas com 25% de umidade e deixadas em descanso por um dia, para homogeneização do material líquido. A Tabela 1 mostra a nomenclatura das composições.

2.4. Determinação da força necessária para a extrusão e obtenção de corpos de prova

A força necessária para a extrusão das composições foi determinada com a utilização de uma extrusora de pistão, acoplada em uma máquina universal de ensaios marca Instron. O uso da extrusora de pistão permitiu obter corpos de prova com diâmetro a verde igual a um centímetro, e comprimento total do extrudado perto de 50 cm. O extrudado foi seccionado a úmido para obtenção dos corpos de prova com comprimento médio de 7 cm. O acoplamento da extrusora na máquina universal de ensaios permitiu obter a força necessária para a extrusão de cada uma das composições estudadas, em duas velocidades de extrusão, que reproduzem a média utilizada na produção industrial. As composições foram preparadas com uma porcentagem de umidade fixa, tendo sido utilizadas quatro concentrações do resíduo na massa, em dois casos, e duas concentrações, no terceiro caso.

2.5. Determinação de propriedades físicas dos corpos de prova

Foram determinadas as propriedades físicas dos corpos de prova, obtidos em cada uma das situações de composição e velocidade de extrusão, após secagem e queima na temperatura padronizada para a massa em uso, conforme a curva de queima descrita. As propriedades físicas determinadas, em função da composição e velocidade de extrusão, foram a porosidade aparente (%), absorção de água (%), retração total (%) e módulo de ruptura (MPa), esta última em duas das situações.

2.6. A curva de queima

Após a secagem dos corpos de prova a 110 °C, a temperatura foi elevada na velocidade de 60 a 70 °C/h até 850 °C, com patamar de queima de duas horas, e resfriamento natural da mufla.

3. Resultados e Discussão

Para o resíduo industrial r1, lama neutralizada de uma E.T.A., os resultados estão representados na Figura 1. Para o resíduo industrial r2, lama não neutralizada de uma E.T.A. de indústria de papel, os resultados estão representados nas Figuras 2 e 3. Para o resíduo industrial r3, resíduo de uma indústria de beneficiamento de minérios, os resultados estão representados na Figura 4.

Analisando a Figura 4, em função da porcentagem de aditivo crescente adicionado na massa, a porosidade aparente, absorção de água, retração e módulo de ruptura após queima, não mostram variação considerável. Isso significa que a adição de até 10% de aditivo em peso não altera substancialmente essas propriedades. Essas propriedades são de interesse quando analisamos materiais que podem gerar produtos da linha de Cerâmica Vermelha.

Por outro lado, a força necessária para a extrusão, na velocidade de 40 cm/min, mostra uma redução, em todas as composições com aditivo. Isso significa que a introdução do aditivo na massa argilosa, não implicará em gastos adicionais de energia para a realização do processamento na extrusão.

Portanto a análise geral da Figura 4 mostra que aparentemente a adição de até 10% em peso do aditivo na massa argilosa não dificulta o processamento por extrusão, podendo inclusive auxiliar no mesmo. Também, as propriedades físicas analisadas, de todas as composições estudadas, não diferem significativamente das mesmas propriedades analisadas na composição sem aditivo.

Tabela 1. Composições preparadas com os resíduos r1(C1, C2, C3), r2 e r3(C1 a C5).

| Composição | Massa Argilosa (%) | Resíduo (%) |
|------------|--------------------|-------------|
| C1 | 100 | 0 |
| C2 | 97,5 | 2,5 |
| C3 | 95,0 | 5,0 |
| C4 | 92,5 | 7,5 |
| C5 | 90,0 | 10,0 |

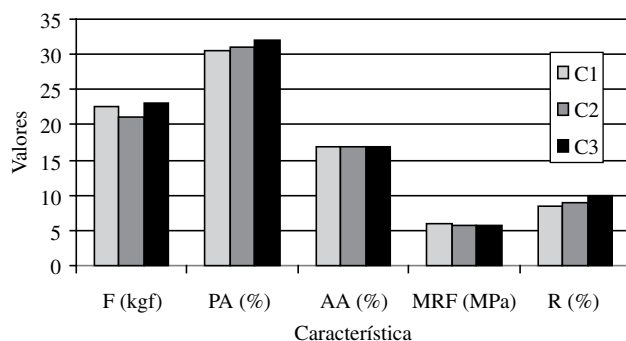


Figura 1. Resultados para o resíduo industrial r1, composições conforme a Tabela 1. F(kgf) – força para extrusão na velocidade de 40 cm/min, bocal com ângulo de 45 graus; PA(%) – porosidade Aparente; AA(%) – absorção de água; e R(%) – retração linear total; MRF (MPa) – módulo de ruptura em flexão de 3 pontos.

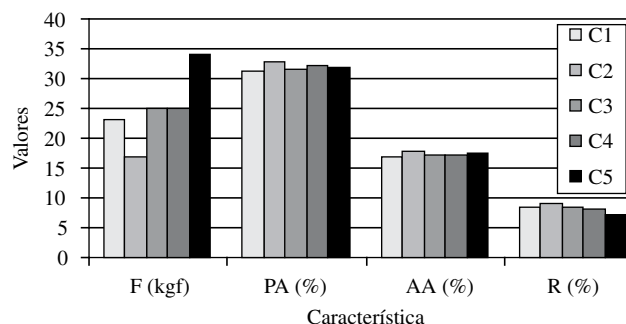


Figura 2. Resultados para o resíduo industrial r2. Composições conforme a Tabela 1. F(kgf) – força para extrusão na velocidade de 40 cm/min, bocal com ângulo de 45 graus; PA(%) – porosidade Aparente; AA(%) – absorção de água; e R(%) – retração linear total.

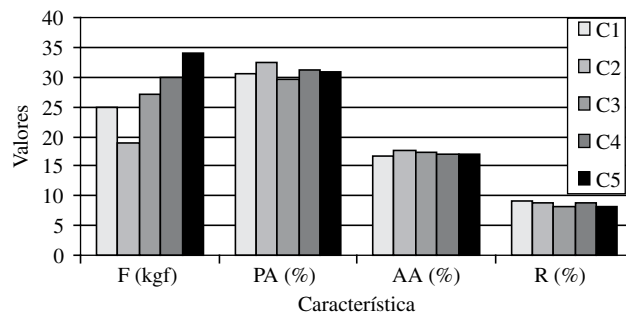


Figura 3. Resultados para o resíduo industrial r2. Composições conforme a Tabela 1. F(kgf) – força para extrusão na velocidade de 50 cm/min, bocal com ângulo de 45 graus; PA(%) – porosidade Aparente; AA(%) – absorção de água; e R(%) – retração linear total.

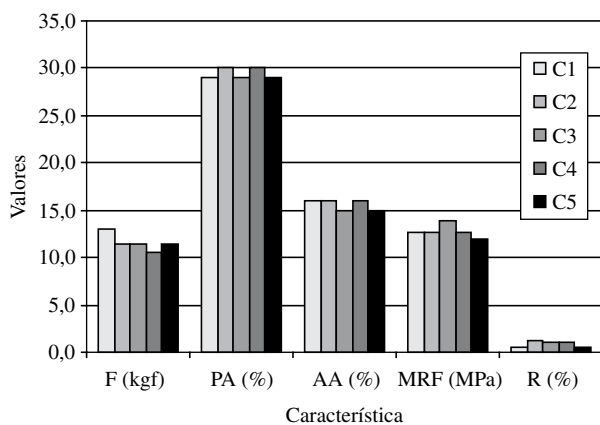


Figura 4. Resultados para o resíduo industrial r3. Composições conforme a Tabela 1. F(kgf) – força para extrusão na velocidade de 40 cm/min, bocal com ângulo de 45 graus; PA(%) – porosidade Aparente; AA(%) – absorção de água; e R(%) – retração linear total; MRF (MPa) – módulo de ruptura em flexão de 3 pontos.

Então, resumidamente, a introdução de até 10% em peso do aditivo não provocará efeito negativo no processamento e no produto desse processamento, no caso estudado. Esse fato é importante no processamento industrial, pois não foram observadas variações significativas de propriedades, a não ser a diminuição da força para a extrusão, em todos os teores de aditivo. Portanto, mesmo no processamento industrial ocorrer alguma variação na quantidade do aditivo incorporado na massa, digamos, entre 2,5% e 10% em peso, não deve ocorrer alteração significativa das propriedades no produto.

Já a análise das Figuras 2 e 3 mostra que a velocidade de extrusão não leva a valores significativamente diferentes para as propriedades físicas, indicando apenas um pequeno aumento da força necessária para a extrusão, em função do aumento da velocidade. Notadamente, a melhor situação é a da composição E2, com 2,5% em peso do resíduo industrial incorporado na massa argilosa. Nessa, a força para extrusão é a menor, e as propriedades físicas são compatíveis com os valores da massa padrão E1.

A análise da Figura 1 é semelhante à das Figuras 2 e 3, e indica que a melhor situação é a referente à composição E2.

4. Conclusões

- Em todos os casos, as propriedades físicas de interesse, como porosidade aparente, absorção de água, retração e módulo de ruptura após queima, não são afetadas pela adição de até 2,5% em peso do resíduo industrial adicionado em uma determinada massa argilosa;
- Em todos os casos, em termos do processamento, a força empregada para a extrusão, em velocidades semelhantes a aquelas

utilizadas industrialmente, não mostram variação significativa até na porcentagem de 2,5% em peso do resíduo adicionado em uma determinada massa argilosa;

- No caso do resíduo r3, os valores possíveis para a adição, preservando as vantagens citadas nas propriedades e no processamento, é de até 10% em peso;
- Com o equipamento para extrusão, acoplado à máquina universal de ensaios, foi possível detectar a variação da força para extrusão em função dos diferentes teores de resíduos incorporados, e em função dos diferentes resíduos. Esse fato possibilita escolher as situações onde o gasto energético com a extrusão, em função da incorporação do aditivo, não será aumentado de maneira significativa; e
- Os resultados sugerem que a metodologia estudada pode ser uma ferramenta eficiente na decisão sobre os teores de resíduos que se deseja incorporar em massas cerâmicas processadas por extrusão, evitando perdas por tentativas, em incorporações realizadas diretamente na linha industrial.

Referências

1. Valle, C. E. **Qualidade Ambiental: ISO 4000**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2002, p. 9.
2. Neves, G. de A., Patrício, S. M. da R., Ferreira, H. C., Silva, M. C. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis. Utilização de resíduos de serragem de granitos para confecção de tijolos cerâmicos. **Anais...** Florianópolis: ABC, 1999, 1 cd.
3. Quintana, L. M. H., Soares, J. M. D., Frizzo, P. P., Boher, L. D. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis. Utilização da cinza de casca de arroz na produção de cerâmica vermelha. **Anais...** Florianópolis: ABC, 1999, 1 cd.
4. Hildebrando, E. A., Souza, J. A. S., Neves, R. F. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 43., 1999, Florianópolis. Aplicação do rejeito do processo Bayer (lama vermelha) como matéria prima na indústria de cerâmica estrutural. **Anais...** Florianópolis: ABC, 1999, 1 cd.
5. Silva, N. I. W., Zwonok, O., Chies, F. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 41., 1997, São Paulo. **Artefatos Cerâmicos obtidos a partir de misturas de argila e cinzas de carvão**. **Anais...** São Paulo: ABC, 1997. v. 1, p. 285-288.
6. Grego, M. I. B. M., Moreno, M. M. T., Valarelli, J. V. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 42., 1998, Poços de Caldas. Rejeito da lixívia da glicerina (piche) como aditivo em massa cerâmica composta por argilas da formação Tatuí, para fabricação de blocos para vedação extrudados. **Anais...** Poços de Caldas: ABC, 1998. V. 1, p. 279-282.
7. Martins, C. A., Castro, J. H. C. **Extrudabilidade de Materiais Cerâmicos**, *Cerâmica*, v. 28, n. 156, p. 463-469, 1982.
8. Martins, C. A. **Propriedades Reológicas de Massas Cerâmicas**. 1986. 320f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1986.
9. Santos, P. S. **Tecnologia de Argilas, aplicada às argilas brasileiras, São Paulo**, Ed. Edgard Blucher, Edusp, 1975, p. 175.