

## **Efeito da Razão entre Feldspatos Sódico e Potássico no Desenvolvimento de Fases e Microestrutura de Porcelanatos Queimados**

**A. Chatterjee, S. Chitwadgi, M. Kulkarni e A.K. Kaviraj**

*H&R Johnson (India) Limited*

**Resumo:** Este artigo apresenta resultados de experimentos realizados na R&D, H&R Johnson (Índia) LTDA, sobre o efeito da razão entre os feldspatos sódico e potássico na gresificação de peças queimadas em forno a rolo (tipo RHK). O feldspato sódico foi adicionado em substituição ao feldspato potássico em intervalos regulares de 20% (em massa) em uma composição de porcelanato. Verificou-se por difração de raios-x (DRX) que na faixa onde o teor de feldspato sódico ficou entre 40 e 60% na combinação de feldspatos sódico e potássico, fases cristalinas de minerais argilosos que não reagiram foram predominantes, ao passo que nas demais combinações, os resultados de DRX confirmaram a presença de minerais feldspáticos e não-plásticos. Existe uma razão crítica entre os feldspatos sódico e potássico, em que propriedades físicas como a resistência à flexão e a retração de queima são desfavoráveis para a produção das placas, mesmo para valores de absorção d'água de 0,25%. A expansão térmica mínima foi encontrada para a amostra que apresentou a menor absorção de água.

**Palavras-chaves:** *porcelanato, feldspato, propriedades mecânicas, fases cristalinas*

### **1. Introdução**

Durante a maior parte deste século, as porcelanas receberam grande atenção devido às suas amplas possibilidades de aplicação. Nesta grande variedade de produtos incluem-se isolantes elétricos, louças e revestimentos. De uma perspectiva econômica, a indústria de cerâmica branca foi responsável por cerca de 7% do mercado cerâmico mundial<sup>1</sup>. As complexidades da produção de porcelana em termos da natureza das matérias-primas e seu processamento tem chamado a atenção de vários pesquisadores<sup>2-4</sup>. Tradicionalmente, peças de porcelana são formuladas a partir de argila, feldspato e quartzo. A resistência à flexão de porcelanas queimadas vem sendo considerada como sendo complexa. Além da absorção d'água, a quantidade de fase cristalina e amorfa presente, bem como a natureza das fases cristalinas também interfere na resistência mecânica das porcelanas queimadas. Idealmente, a microestrutura da porcelana queimada consiste em uma matriz vítrea (cerca de 60% em massa), contendo quartzo na forma de cristais dispersos<sup>4</sup>. Foram realizados estudos relacionando a resistência mecânica da porcelana com o tamanho dos cristais de quartzo, concluindo que as menores

partículas de quartzo correspondem aos maiores valores de resistência à flexão. Embora a função essencial do quartzo seja considerada como um auxiliar de preenchimento para aumentar a resistência de compósitos vitro-cristalinos<sup>5</sup>, existem opiniões bastante diferentes a respeito de seu papel<sup>6</sup>. Também é da experiência da H&R Johnson (Índia) Limited que as propriedades físicas do porcelanato são criticamente dependentes da composição química das matérias-primas empregadas. Foi observado que existem grandes variações em propriedades pós-queima, como a retração linear, absorção de água e resistência à flexão quando ocorre qualquer variação na qualidade do feldspato empregado. A qualidade do feldspato é avaliada pela quantidade de ortoclásio e albita presentes nos feldspatos potássico e sódico, os fundentes de uso mais comum em composições de porcelana. Portanto, é necessária a análise de parâmetros importantes, como a proporção entre os óxidos sódico e potássico e seus efeitos sobre as propriedades finais dos porcelanatos.

### **2. Parte experimental**

Foram preparados corpos de prova de acordo com a composição indicada na Tabela I. Além da composição de 54% (em massa) de total de feldspato, foram preparadas

outras seis composições com diferentes proporções entre feldspatos sódico e potássico, que são apresentadas na Tabela II.

Inicialmente, as matérias-primas foram pesadas em uma balança com precisão de 0,1g para composições de 1,0 Kg. As matérias-primas foram então colocadas em um moinho de ação rápida (tipo Gabrielli) com meios de moagem de alta alumina. A quantidade de água e o tempo de moagem foram mantidos constantes para todas as composições. O resíduo de cada composição foi mantido entre 0,6 e 0,7% em malha de 63  $\mu\text{m}$ . Após a moagem, a barbotina foi seca em estufa e então adicionou-se água na proporção de 5 ml para cada 100g de pó seco. A massa foi então desaglomerada em peneira de malha 16# (1003  $\mu\text{m}$ ). Foram confeccionados corpos de prova com dimensões de 95 x 45 x 7.5 mm, com cerca de 75 g cada um, empregando-se uma prensa hidráulica com pressão específica de 400 Kgf/cm<sup>2</sup>. O peso das placas e a pressão específica foram mantidos constantes para todos os corpos de prova. As peças prensadas foram secas em estufa a 110 °C por duas horas, e posteriormente queimadas em forno a rolo com temperatura máxima de 1190 °C e ciclo de queima de 68 minutos. Os ensaios de DRX foram realizados no Departamento de Ciências da Terra, do Instituto Indiano de Tecnologia (IIT-Mumbai-India), com um equipamento tipo Rigaku D-max 1-C, tendo como fonte de radiação CuK $\alpha$ -1 (1,54051 Å de comprimento de onda). Para a análise dos difratogramas foi empregado o software JCPDS-1998. A velocidade de varredura no ensaio foi de 1°/min. A microestrutura foi observada com o emprego de um microscópio eletrônico de varredura (Camela SEM Probe SU-30) do Centro Regional de Instrumentação Sofisticada (IIT-Mumbai).

### 3. Resultados e discussão

As análises químicas dos dois feldspatos obtidas por fluorescência de raios-x (FRX) são apresentadas na Tabela III. As composições com diferentes composições de

**Tabela I.** Composição básica da formulação de porcelanato.

| Matéria-Prima   | Composição (% em massa) |
|-----------------|-------------------------|
| Argila Plástica | 40                      |
| Feldspato       | 54                      |
| Quartzo         | 6                       |

**Tabela II.** Composições de porcelanato com quantidades variáveis de feldspatos sódico e potássico.

| Matéria-Prima       | Composição 1 (% massa) | Composição 2 (% massa) | Composição 3 (% massa) | Composição 4 (% massa) | Composição 5 (% massa) | Composição 6 (% massa) | Composição 7 (% massa) |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Argila Plástica     | 40                     | 40                     | 40                     | 40                     | 40                     | 40                     | 40                     |
| Feldspato Sódico    | 0                      | 10.8                   | 21.6                   | 27                     | 32.4                   | 43.2                   | 54                     |
| Feldspato Potássico | 54                     | 43.2                   | 32.4                   | 27                     | 21.6                   | 10.8                   | 0                      |
| Quartzo             | 6                      | 6                      | 6                      | 6                      | 6                      | 6                      | 6                      |

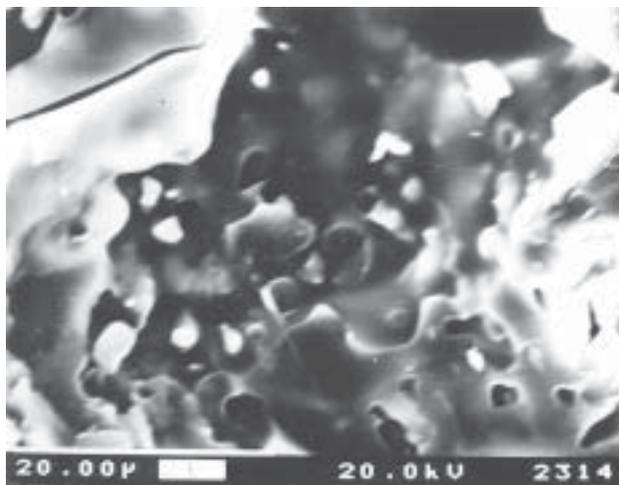
feldspatos sódico e potássico são apresentadas na Tabela II e a Tabela IV apresenta um resumo das propriedades pós-queima destas composições. Iniciando pela Composição 1, que contém somente feldspato potássico, os corpos de prova obtidos eram porosos, com alta absorção de água (1,67%). Uma vez que a absorção de água foi alta, a resistência à flexão, que foi de 37,2 N/mm<sup>2</sup>, foi baixa. Em análise de DRX verificou-se a presença de fases cristalinas que não reagiram (anortita e albita). A Composição 2, que continha 80% em massa de feldspato potássico e 20% de feldspato sódico apresentou melhores propriedades pós-queima. A absorção de água diminuiu para 0,62% e a resistência subiu para 41,02 N/mm<sup>2</sup>. Por causa da adição de feldspato sódico, uma maior densificação ocorreu nesta formulação, com a retração linear de queima subindo para 6,41%.

Na Composição 3, nova adição de feldspato sódico (+20%) em substituição à igual quantidade de feldspato potássico resultou em uma maior densificação, com a absorção de água sendo reduzida para 0,28% e a resistência à flexão aumentando para 51,59 N/mm<sup>2</sup>. Na análise da composição das fases cristalinas, foi verificado que partículas de haloisita que não sofreram decomposição estavam presentes no corpo. A mesma fase cristalina também foi encontrada nas Composições 4 e 5, onde a proporção de feldspato sódico foi aumentada em detrimento do feldspato potássico. O menor valor de absorção de água foi verificado para a Composição 5 (0,25%). Como resultado do excesso de fase líquida durante a queima para esta amostra, a resistência à flexão diminuiu após a queima<sup>7-8</sup>. Acredita-se que, para esta proporção entre feldspatos sódico e potássico, ocorre a formação de um eutético para esta composição. A presença de partículas de haloisita que não reagiram foi uma característica comum nas composições 3, 4 e 5.

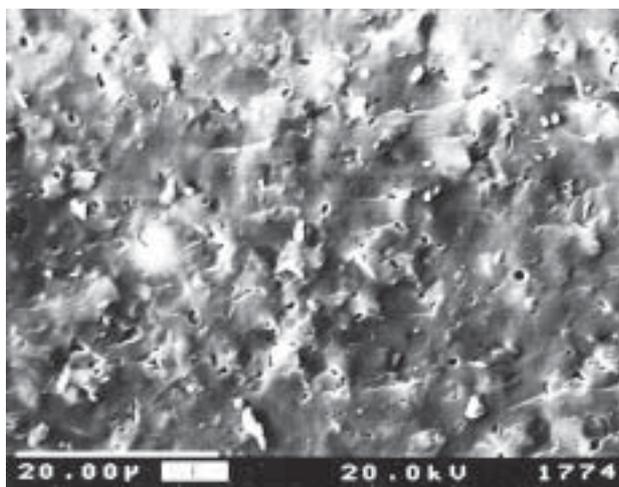
A Figura 1 apresenta imagens (MEV) da Composição 5 e a Figura 2 apresenta imagens da Composição 7. A microestrutura geral da Composição 5 apresenta poros grandes, com diâmetro de cerca de 40  $\mu\text{m}$ , contendo partículas menores, com diâmetros que variam de 1 a 10  $\mu\text{m}$ . A única razão possível para a presença das partículas de haloisita que não reagiram é que, para esta proporção entre feldspatos sódico e potássico, ocorre suficiente formação de fase líquida durante a queima. A formação de fase líquida resulta em grande quantidade de poros fechados,

**Tabela III.** Análise química dos feldspatos sódico e potássico por fluorescência de raios-x.

| Elemento                       | Feldspato sódico<br>(% em massa) | Feldspato Potássico<br>(% em massa) |
|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 67.74                            | 68.2                                |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20.84                            | 19.15                               |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.17                             | 0.21                                |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.08                             | 0.002                               |
| CaO                            | 0.53                             | 0.5                                 |
| MgO                            | 0.01                             | 0.01                                |
| MnO <sub>2</sub>               | 0.005                            | 0.009                               |
| K <sub>2</sub> O               | 0.62                             | 6.38                                |
| Na <sub>2</sub> O              | 9.5                              | 4.8                                 |
| Cloro                          | 0.05                             | 0.1                                 |
| Enxofre                        | 0.001                            | 0.002                               |
| Perda ao Fogo (%)<br>1000 °C   | 0.35                             | 0.5                                 |



**Figura 1.** MEV da Composição 5.



**Figura 2.** MEV da Composição 7.

conforme se pode ver na imagem, que envolvem as partículas argilosas que não reagiram. Uma vez que a decomposição das partículas argilosas envolve a eliminação da água estrutural entre 500 e 600 °C, se a saída das moléculas de água não é possível, a decomposição não pode prosseguir. É interessante observar que nos dois extremos das faixas de composições estudadas não foram encontradas partículas de halosita que não reagiram, e sim partículas de feldspato sódico e potássico que não reagiram. Acredita-se que isto se deve à quantidade muito menor de fase líquida, daí os poucos poros fechados. Na ausência de quantidade suficiente de fase líquida, algumas das partículas de feldspato permaneceram sem reagir. Entretanto, o tempo foi suficiente para que as partículas de argilominerais se decomposessem e para a saída da água microestrutural através da rede formada pelos poros abertos. O estudo das imagens da Composição 7 reforça esta hipótese. Nesta imagem, não apareceram quaisquer poros grandes e fechados. Apresentou como característica uma matriz densa, que parece ser vitrificada, com pequena porosidade. Os autores estudaram a expansão térmica de todas as amostras e os resultados são apresentados na Tabela IV. Embora não exista uma relação direta entre a expansão térmica e a composição das amostras, dois comportamentos podem ser identificados a partir dos resultados. Em primeiro lugar, para as Composições 1 a 4, onde o teor de feldspato potássico era maior que o de feldspato sódico, a expansão térmica variou de 0,419 para 0,43%. Depois, para as Composições 5 a 7, onde havia mais feldspato sódico que feldspato potássico, a expansão térmica variou de 0,409 para 0,410%. Disto podemos inferir que um maior teor de sódio no corpo resulta em baixa expansão térmica. Apesar de ser conhecido que quanto menor a absorção de água, maior a expansão térmica<sup>9</sup>, os autores verificaram uma menor expansão térmica para a Composição 5, que apresentou a menor absorção de água. Atribui-se este resultado anômalo à maior quantidade de fase amorfa nesta composição, que a torna termicamente mais resistente.

#### 4. Conclusões

A adição de feldspato sódico ao feldspato potássico favorece a formação de fase líquida, diminuindo a temperatura de sinterização para porcelanatos. Como resultado disto, os porcelanatos queimados apresentaram maior resistência mecânica e menor absorção de água, embora a retração linear aumente. Embora comercialmente feldspatos sódicos e potássicos sejam usados de forma combinada, certas combinações compreendidas entre 60 a 40% de feldspato sódico em substituição ao potássico apresentaram propriedades após queima inferiores. Devido à excessiva formação de fase líquida nestas regiões, que resultou em poros fechados, partículas de argilominerais permaneceram sem reagir no corpo queimado em forno a rolo. A melhor opção tecnológica encontrada foi uma com-

**Tabela IV.** Propriedades dos corpos com diferentes relações entre feldspato sódico/potássico após a queima.

| Característica                            | Compos. 1                          | Compos. 2             | Compos. 3               | Compos. 4               | Compos. 5  | Compos. 6                      | Compos. 7                      |
|---|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Retração de queima (%)</b>             | 6.25                               | 6.41                  | 6.30                    | 6.24                    | 6.58   | 6.21                           | 6.09                           |
| <b>Absorção de água (%)</b>               | 1.67                               | 0.62                  | 0.28                    | 0.28                    | 0.25   | 0.33                           | 0.28                           |
| <b>MRF queimado (N/mm<sup>2</sup>)</b>    | 37.20                              | 41.02                 | 51.59                   | 48.69                   | 45.81  | 48.81                          | 48.69                          |
| <b>Fases Cristalinas</b>                  | Ortoclásio,<br>anortita<br>(sódio) | Ortoclásio,<br>albita | Haloisita,<br>muscovita | Haloisita,<br>muscovita | Haloisita,<br>quartzo,<br>muscovita,<br>clintonita | Albita,<br>anortita<br>(sódio) | Albita,<br>anortita<br>(sódio) |
| <b>Expansão Térmica em<br/>580 °C (%)</b> | 0.425                              | 0.430                 | 0.419                   | 0.424                   | 0.409  | 0.410                          | 0.409                          |

posição rica em feldspato sódico. Para altos teores de feldspato sódico, a retração das peças queimadas foi menor, com uma maior resistência à flexão e absorção de água razoavelmente baixa. A expansão térmica dos corpos queimados depende da quantidade de fase amorfa do corpo, desconsiderando-se a absorção de água. Sendo assim, peças de porcelanato queimadas podem ter um valor baixo para a expansão térmica apesar de ter uma baixa absorção de água.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Sr. Vijay Agarwal, Diretor Gerente da H&R Johnson (Índia) Limited, por seu contínuo estímulo, apoio, e pela bondade em conceder permissão para publicar o trabalho. Gostariam de agradecer, ainda, ao Departamento de Pesquisa Científica e Industrial (DSIR) e ao Governo da Índia, pelo reconhecimento à diversas realizações do campo da Pesquisa e Desenvolvi-

mento da H&R Johnson (Índia) Limited.

### Referências Bibliográficas

1. Ceram. Ind. 147 (1997)[9] 16-18.
2. W.M. Carty, U. Senapati: J. A. Cer. Soc. 81 (1998) [1].
3. S. Maity, B. K. Sarkar: J. of Europ. Ceram. Soc. 16 (1996) 1083.
4. Y. Iqbal, W.E. Lee: J. Am. Ceram. Soc. 82 (1999) [12] 3584-90.
5. L. Mattyasovsky-Zolsnay: J. Am. Ceram. Soc. 40 (1957) 299-306.
6. S.I. Warshaw, R. Seider: J. Am. Ceram. Soc. 50 (1967) 337-343.
7. S.K. Khandelwar, R.L. Cook: J. Am. Ceram. Soc. 49 (1970) [5] 522-26.
8. W.D. Kingery, H.K. Bowen, D.R. Uzman: Introduction to Ceramics, 2<sup>a</sup> edição, 791.
9. F. Billi, et. al.: Fourth Euro Ceramics. Vol. 11. pp. 3-18.

**Tile & Brick  
International**

Publicado anteriormente na Tile & Brick International,  
e reproduzido com autorização.