

# Efeito da substituição do feldspato por um formador de fluxo na composição de um grês porcelanato

C. Gibertoni<sup>(1)</sup>; A.M. Segadães<sup>(2)</sup>; E. Quinteiro<sup>(3)</sup>; M.R. Morelli<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Materiais - São Carlos - SP

<sup>(2)</sup> Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Cerâmica e de Vidros (CICECO) - 3810-193 - Aveiro - Portugal

<sup>(3)</sup> Centro Cerâmico do Brasil (CCB) - Santa Getúdes - SP

## RESUMO

Este trabalho teve como um dos objetivos o estudo de cerâmicas sinterizadas por fluxo viscoso, com ênfase na formação de fases e desenvolvimento microestrutural. Foram estudadas composições de grês porcelanato, preparadas a partir de mistura de argila plástica, caulim, feldspato, quartzo e talco: uma composição baseada em formulação encontrada em literatura e composições preparadas com a finalidade de se observar o efeito da adição de um formador de fase vítrea obtido em laboratório, em substituição ao feldspato. A adição da fase vítrea resultou em amostras com boas propriedades físicas e necessidade de menores temperaturas de queima. Portanto, é possível substituir a matéria-prima de maior custo - o feldspato - por uma fase vítrea inerte, sem comprometimento do processamento, propriedades físicas e estéticas do produto final. Nesse estudo, foi realizada a quantificação das fases formadas após a queima, tanto pelo método de Rietveld, quanto pelo uso do diagrama de equilíbrio de fases.

## INTRODUÇÃO

Dentre os diversos tipos de placas cerâmicas para revestimento produzidas mundialmente, a tipologia grês porcelanato tem se destacado, devido às suas propriedades técnicas (baixa absorção de água, alta resistência mecânica e à abrasão, elevada resistência química e ao gelo) e sua semelhança com pedras [1].

Por falta de uma definição mais precisa, pode-se definir o porcelanato como um revestimento cerâmico impermeável, ou seja, sem nenhuma ou quase sem nenhuma porosidade aparente, esmaltado ou não, branco ou colorido pela adição de pigmentos na composição original [2].

Devido às suas características, o grês porcelanato - comercialmente conhecido como porcelanato - é motivo de atenção tanto de fabricantes nacionais e internacionais como também da comunidade científica, que procuram otimizar suas propriedades, a fim de que mesmo sendo constituído por matérias-primas essencialmente naturais, possa apresentar um desempenho comparável a cerâmicas técnicas, cujas tecnologias empregadas na fabricação são bem mais sofisticadas. Dessa maneira, compreender o desenvolvimento das fases presentes nesse material cerâmico é fundamental.

Durante as duas últimas décadas, este produto passou por

um aprimoramento tecnológico, desde a utilização de novas matérias-primas até o desenvolvimento de novos equipamentos para a sua produção [3].

A produção mundial de grês porcelanato tem aumentado progressivamente nos últimos anos. Atualmente, o volume de produção de grês porcelanato na Itália ultrapassou 50% da produção total de revestimentos cerâmicos do país [4].

Esse aumento de produção se deve à pesquisa que, a partir de um produto tradicional para aplicações usuais na pavimentação, foi capaz de propor um produto inovador, diversificado e versátil que apresenta as características fundamentais necessárias para conquistar e manter uma posição de destaque no mercado.

Devido a esse aumento progressivo na produção, alguns estudos apontam para uma provável insuficiência do setor mineiro em atender a demanda por fundentes, dado o período de maturação dos investimentos necessários, sendo previsto um aumento no volume de importação do feldspato [5].

Além do acompanhamento das mudanças nas propriedades físicas analisadas, conforme se substitui o feldspato pelo fluxo, um fato de relevância nesse trabalho é a quantificação das fases formadas após a queima das composições estudadas. Esses estudos poderão contribuir para a possibilidade de substituição de matérias-primas fundentes do tipo feldspato por outras fontes de álcalis.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para o desenvolvimento experimental desse trabalho, foram utilizadas as seguintes matérias-primas apresentadas na Tabela I.

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Álcalis *
Feldspato Potássico <sup>(1)</sup>	65,92	19,31	14,77
Caulim <sup>(1)</sup>	52,74	45,83	1,44
Argila Plástica <sup>(1)</sup>	63,76	35,03	1,21
Quartzo <sup>(1)</sup>	99,23	0,50	0,27
Fluxo <sup>(2)</sup>	73,40	1,79	24,91
Talco <sup>(3)</sup>	66,58	0,62	32,80

Tabela I - Análise química das matérias-primas utilizadas (% em peso).

\*Entende-se por álcalis: teores de CaO + Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + MgO

Origem das matérias-primas

<sup>(1)</sup> MINASOLD Comércio e Representação Ltda.

<sup>(2)</sup> Universidade Federal de São Carlos

<sup>(3)</sup> TALMAG PP-325 - Magnesita S.A.

Na Figura 1 são mostradas as etapas envolvidas na execução desse trabalho.

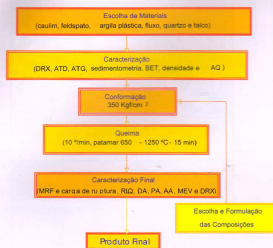


Figura 1 - Fluxograma do procedimento experimental adotado no trabalho.

Composições

As composições foram formuladas baseadas em uma composição teórica onde foram feitas, essencialmente, modificações, sempre nas quantidades em peso das matérias-primas: i) fluxo e ii) feldspato.

Na Tabela II são apresentadas as composições estudadas.

Composição/Matéria-Prima	Teórica	PCR	50% fluxo-50% feldspato	100% fluxo	NF
Feldspato	45,0	42,0	22,5	-	-
Argila plástica	30,0	30,0	30,0	30,0	38,0
Caulim	15,0	10,0	15,0	15,0	19,0
Quartzo	7,0	18,0	7,0	7,0	9,0
Talco	3,0	-	3,0	3,0	4,0
Fluxo	-	-	22,5	45,0	30,0

Tabela II - Composições estudadas:

Preparação das Composições

A fase vítrea previamente formada foi obtida pela mistura de óxidos de silício, cálcio e sódio, por meio de fusão e posterior etapa de resfriamento. Após essa etapa, foi cominuída para se obter a granulometria máxima correspondente à malha 325 mesh (44 µm).

Cada composição, com o teor de água calculado a fim de se ter uma densidade de 1,65 g/cm³ (em torno de 60% em peso de sólidos), com a adição de 0,25% de silicato de sódio (defloculante), foi homogeneizada por 8 horas, em um moinho de bolas (relação em peso 4:1 bolas-material).

A barbatina de cada composição foi atomizada (granulação da massa) em "spray dryer" (Niro Atomizer - Copenhagen - Denmark) de escala semi-industrial, mantendo-se a pressão na faixa de 1,7-2,0 bar e temperatura na faixa de 70-115 °C.

A umidade desejada do pó foi de 8%. O pó atomizado foi armazenado durante um período mínimo de 48 horas para a homogeneização da umidade. A conformação dos corpos-de-prova foi realizada por meio de prensagem uniaxial, em prensa hidráulica, utilizando um molde metálico rígido. Foi aplicada uma pressão de compactação em torno de 350 Kgf/cm². O ciclo de queima utilizado foi: taxa de aquecimento igual a

10 °C/min, 15 minutos de permanência na temperatura de queima (variando de 650 a 1250 °C) e resfriamento natural até temperatura ambiente. O objetivo foi acompanhar as transformações e formação de fases da composição de grés porcelanato padrão.

O mesmo procedimento, utilizado para a composição teórica, foi aplicado a composição nova de grés porcelanato, denominada 50% fluxo - 50% feldspato onde a matéria-prima fundente (feldspato) foi substituída parcialmente pela fase vítrea previamente obtida (fluxo), e também para a composição NF onde o teor do fundente, com a substituição total do feldspato, foi reduzido mantendo-se a proporção entre todas as matérias-primas relativas à composição teórica.

As características cerâmicas foram determinadas para as composições de grés porcelanato padrão (composição teórica) e reformuladas (com adição de fase vítrea previamente formada) após cada tratamento térmico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo os resultados obtidos contidos nas curvas apresentadas (Figuras 2, 3 e 4), pode-se observar uma maior taxa de densificação do material quando da substituição do feldspato pela matéria-prima fluxo, a temperaturas de queima mais baixas. A maior gresificação (densificação) é entendida como uma menor porcentagem de absorção de água em função das temperaturas de queima, conforme o corpo se contrai. Isso pode ser explicado devido à formação de uma maior quantidade de fase líquida viscosa pela presença da matéria-prima fluxo, provocando uma redução mais efetiva na porosidade. Vale lembrar que um produto é considerado como grés porcelanato, quando a absorção de água não ultrapassa o valor de 0,5% (Norma ISO 13006).

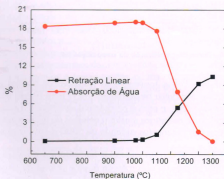
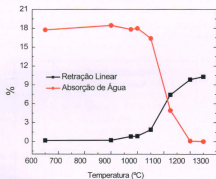
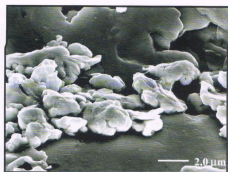
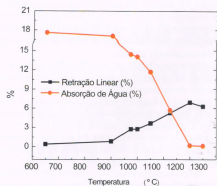
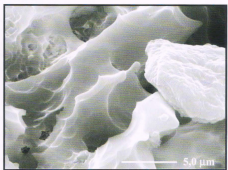
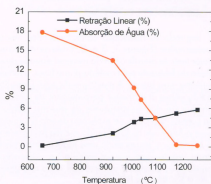


Figura 2 - Curva de gresificação das composições: (a) teórica e (b) PCR



(a)



(b)

Figura 3 - Curva de gresificação das composições: (a) 50% fluxo - 50% feldspato e (b) 100% fluxo.

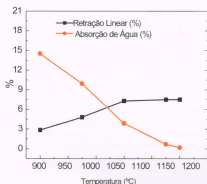
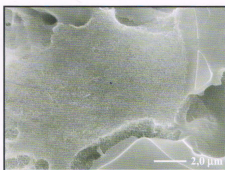
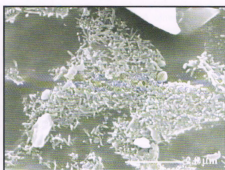


Figura 4 - Curva de gresificação da composição NF.



(c)



(d)

Na Figura 5 são mostradas as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para as três composições em estudo e para o produto industrializado. Todas as micrografias apresentadas mostram detalhes da microestrutura observada (com aumentos variando de 5000 a 16000 vezes).

Na Tabela III são apresentadas temperaturas de queima, respectivos valores de absorção de água e valores do ângulo de deformação pirolplástica determinado, para as cinco composições estudadas.

Figura 5 - Micrografias obtidas em microscópio eletrônico de varredura das amostras (a) composição teórica, (b) composição 50% fluxo - 50% feldspato, (c) composição NF e (d) produto industrializado.

Composição	Temperatura (°C)	AA (%)	Ângulo (°)
Teórica	1125	2,84	2,9
Teórica	1200	0,03	16,7
PCR	1125	5,95	Sem alteração
PCR	1200	0,40	14,5
50% fluxo - 50% feldspato	1125	4,50	3,3
50% fluxo - 50% feldspato	1200	0,06	27,1
100% fluxo	1125	0,09	9,2
100% fluxo	1150	0,33	29,5
NF	1125	1,83	5,0
NF	1150	0,07	6,3

Tabela III - Valores do ângulo de deformação piropilástica e respectivos valores de absorção de água para amostras das composições estudadas.

Na Figura 6 é apresentada uma fotografia com as amostras após a realização do ensaio de determinação da deformação piropilástica.

Como citado anteriormente, a composição 100% fluxo apresentou elevada deformação piropilástica. A composição NF apresentou valores satisfatórios de deformação piropilástica e baixo valor de absorção de água, na temperatura de queima de 1150 °C.

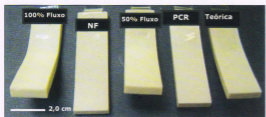


Figura 6 - Amostras das composições estudadas, após a realização do ensaio de deformação piropilástica.

Por meio da Figura 6, pode-se observar o bom comportamento da composição NF durante o ensaio de determinação da deformação piropilástica.

As amostras apresentadas na figura foram queimadas a 1150 °C (composições 100% fluxo e NF) e 1200 °C (composições teórica, 50% fluxo-50% feldspato e PCR). Com relação à determinação da resistência à abrasão profunda, os resultados obtidos são apresentados na Tabela IV, com os respectivos temperaturas de queima e valores de absorção de água das cinco composições estudadas e porcelanato comercial.

Composição	Temperatura (°C)	AA (%)	Volume (cm³)
Teórica	1200	0,04	86,01
PCR	1200	0,06	71,97
50% fluxo - 50% feldspato	1200	0,09	106,55
100% fluxo	1125	0,06	124,09
NF	1150	0,08	108,22
Porcelanato comercial	Não fornecida	0,12	102,74

Tabela IV - Volume de material removido após ensaio de determinação da abrasão profunda (produtos não esmaltados) para as composições estudadas.

Por meio da Figura 7 é possível a visualização da cavidade originada nas amostras após o ensaio de determinação da resistência à abrasão profunda (produtos não esmaltados).

Segundo as normas ISO 13006 / NBR 13B18, o volume removido de material (produtos não esmaltados) para a tipologia grês porcelanato deve ser inferior a 175 cm³. Todas as composições estudadas, assim como o produto industrial analisado, apresentam valores compatíveis com aquele exigido pela norma.

Vale lembrar que os corpos de prova das composições NF e 100% fluxo, embora tenham apresentado um maior volume de material removido após o ensaio, superior às outras composições, foram queimadas a temperaturas em torno de 50 °C abaixo das demais amostras.

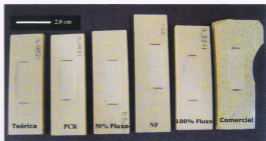


Figura 7 - Amostras das composições estudadas, após realização do ensaio de determinação da resistência à abrasão profunda.

### Equilíbrio de Fases

Apesar do curto ciclo de queima utilizado na produção de grês porcelanato, algumas considerações podem ser feitas por meio do estudo de diagramas de equilíbrio de fases, para comparativamente se prever o teor de fase vítrea característico deste produto.

### Indicação das Composições

Tanto as matérias-primas naturais e a matéria-prima sintética (fluxo), quanto às misturas preparadas a partir delas e o produto industrial, contém, como constituintes majoritários, alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e sílica (SiO<sub>2</sub>). Todas contêm traços de constituintes cujo efeito ocorre essencialmente sobre a cor do produto (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), e cuja contribuição para a composição, pode, por isso, ser ignorada. Os outros constituintes minoritários (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O) atuam como fundentes.

O efeito fundente de cada um dos óxidos alcalinos (K<sub>2</sub>O e Na<sub>2</sub>O) é muito semelhante e, como o K<sub>2</sub>O favorece a formação de fase líquida a temperaturas mais baixas, é costume discutir esse efeito em termos do diagrama de equilíbrio de fases do sistema Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> - K<sub>2</sub>O utilizando o teor conjunto (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O). Quanto aos óxidos alcalino-terrosos (CaO + MgO), eles só estão presentes em teor apreciável no talco (que entra na composição de apenas algumas misturas e em teor inferior a 4%) e no fluxo. Portanto, a sua contribuição para o efeito fundente global pode ser simplesmente ignorada ou englobada na dos óxidos alcalinos. Ou seja, o efeito dos fundentes sobre o sistema Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub>, pode ser discutido em termos dos teores conjuntos de (K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O) ou de (CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O). Na Figura 8 são ilustradas as diferenças que podem ser encontradas na localização das composições no diagrama ternário Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> - fundentes utilizando os dois critérios.

Como se pode observar na Figura 8, a omissão da contribuição de (CaO + MgO) causa um desvio significativo na localização das composições do talco e do fluxo. Apesar disso, as composições dos outros materiais praticamente não se alteram. Dentre estes, os desvios maiores são observados na composição teórica e na do produto industrial.

Porém, se em termos de composição poderia ser considerado razoável ignorar a presença dos óxidos alcalino-terrosos, em termos de efeito fundente, isso não seria tão correto.

De fato, a presença destes óxidos, ainda que em teores baixos, traduz-se num abaixamento da temperatura inicial de fusão no sistema global e num aumento da quantidade de fase líquida formada. Deste ponto de vista, é mais correto discutir o desenvolvimento de fases no sistema ternário Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> - (CaO + MgO + K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O). Ainda assim, o efeito dominante é o dos óxidos alcalinos que, como já citado, podem ser globalmente representados pelo K<sub>2</sub>O.

Nestas condições, a discussão do desenvolvimento de fases

é baseada no diagrama de equilíbrio do sistema  $Al_2O_3 - SiO_2 - K_2O$  e o teor de  $K_2O$  considerado é o teor conjunto de  $(CaO + MgO + K_2O + Na_2O)$ .

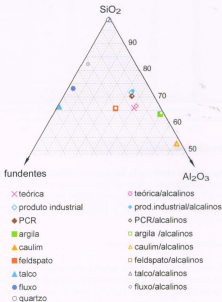


Figura 8 - Localização das composições de matérias-primas e misturas no diagrama ternário  $Al_2O_3 - SiO_2 - fundentes$ , considerando ou ignorando a contribuição dos óxidos alcalino-terrosos para o teor de fundentes.

Formulação de Misturas: Substituição do Feldspato pelo Fluxo

Nã preparação da mistura teórica, e por questões de pro cessamento, as proporções entre argila e caulim e entre talco i quartzo, foram mantidas constantes. Na Figura 9 é mostrada i localização no diagrama ternário  $Al_2O_3 - SiO_2 - fundentes$ , da composições da mistura teórica e do produto industrial no inte rior do triângulo definido pelas matérias-primas (feldspato, argil i plástica + caulim e talco + quartzo), mostrando que qualque delas pode ser preparada a partir destas matérias-primos. Nã Figura 9 é mostrado ainda que é possível refazer as mesma composições usando o fluxo em substituição do feldspato (triã ngulo fluxo, argila plástica + caulim e talco + quartzo).

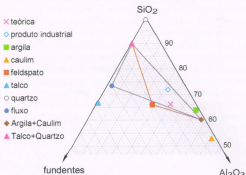


Figura 9 - Localização no diagrama ternário  $Al_2O_3 - SiO_2 - fundentes$ , das composições das misturas (teórica e produto industrial) no interior dos triângulos definidos pelas matérias-primas (feldspato, argila plástica + caulim e talco + quartzo e fluxo, argila + caulim e talco + quartzo).

Na Figura 10 é mostrada a alteração na posição da com-

posição teórica à medida que o feldspato vai sendo substituído pelo fluxo, no diagrama de equilíbrio  $Al_2O_3 - SiO_2 - fundentes$ .

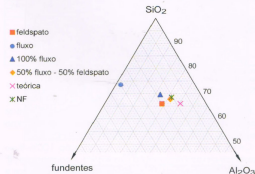


Figura 10 - Mudança de localização, no diagrama ternário  $Al_2O_3 - SiO_2 - fundentes$ , da composição teórica à medida que o feldspato vai sendo substituído pelo fluxo (NF=composição sem feldspato e com teor de fluxo ajustado).

Comportamento dos fundentes

Na Figura 11 é mostrada a localização, no diagrama de fases do sistema  $Al_2O_3 - SiO_2 - K_2O$ , dos materiais utilizados como fundentes, isto é, o feldspato e o fluxo.

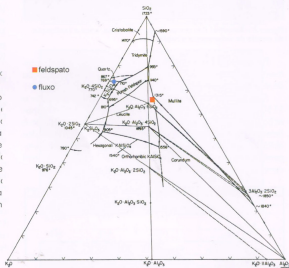


Figura 11 - Localização, no diagrama de equilíbrio de fases do sistema  $Al_2O_3 - SiO_2 - K_2O$ , do feldspato e do fluxo.

Comportamento das misturas com fundentes

Na Figura 12 é indicada a localização, no diagrama de fases do sistema  $Al_2O_3 - SiO_2 - K_2O$ , das misturas em que o feldspato foi substituído pelo fluxo.

Como se pode observar, todas as composições se localizam no triângulo  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  (mulita) -  $SiO_2 - K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ , onde a fusão se inicia a 985 °C, e todas formam o mesmo triângulo conjugado ao iniciar-se a fusão, ou seja, as fases sólidas em equilíbrio com a primeira fase líquida são as mesmas (mulita e feldspato).

Porém, a quantidade de fase líquida formada é substancial-

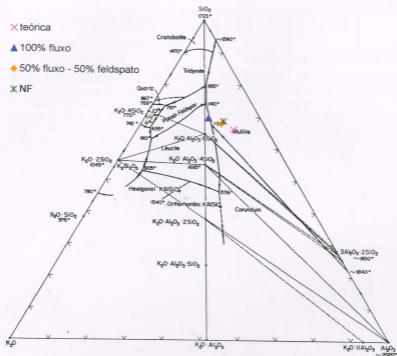


Figura 12 - Localização, no diagrama de equilíbrio de fases do sistema  $Al_2O_3 - SiO_2 - K_2O$ , das composições estudadas.

mente diferente.

Por meio da Figura 13 é possível analisar este argumento em maior detalhe, onde são mostradas as alavancas usadas para calcular a quantidade de fase líquida no início da fusão de cada composição.

Utilizando as alavancas mostradas na Figura 13, podem ser calculadas as quantidades de fase líquida no início da fusão de cada composição. Os resultados são apresentados na Tabela V.

Composição	Quantidade de líquida (% em peso)
Teórica	61
50% fluxo - 50% feldspato	45
100% fluxo	39
NF	60

Tabela V - Quantidades aproximadas de fase líquida no início da fusão.

A quantidade de líquido formada, na temperatura de 985°C, muda de aproximadamente 61% sem a adição do fluxo, para cerca de 39% para a composição que não contém feldspato. Porém, o fato mais importante é a notável diferença na temperatura de fusão, que diminui nitidamente conforme a feldspato é substituído pelo fluxo (de ~1700 para 1200°C, respectivamente). Tal fato interfere diretamente durante a queima sobre o desenvolvimento de algumas das características finais do material (por exemplo, ocorrência de deformação pirolástica).

Durante o resfriamento após a queima, um terceiro sólido (silica) tenderá a se cristalizar a partir da fase líquida, mas parte dessa última fase permanecerá como fase vítrea.

Com o intuito de se observar a aplicabilidade desse estudo teórico baseado no equilíbrio de fases, uma análise de Rietveld foi realizada para os dados obtidos experimentalmente por difratometria de raios X. Procurou-se correlacionar principalmente o teor de fase líquida previsto, pelo diagrama de equilíbrio de fases, com o teor de fase vítrea presente no material após sinterização. Para isto, optou-se pela composição NF, dado a fato

de que o fluxo substitui toda a quantidade do fundente natural, o feldspato, e pelo fato de que esta composição apresentou o melhor desempenho dentre as demais estudadas.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos por meio do método de Rietveld (Tabela VI), para a composição NF. São apresentados apenas os resultados das fases majoritárias. As demais fases foram desconsideradas, para facilidade das cálculos.



Figura 13 - Localização, no triângulo de compatibilidade  $3Al_2O_3.2SiO_2 - K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ , das composições em estudo, mostrando as alavancas que permitem calcular a quantidade de fase líquida no início da fusão.

Fase	Quantidade (% em peso)
Multa	16,2
Anortita	19,7
Quartzo	23,9
Fase vítrea	40,2

**Tabela VI - Resultado obtido pelo método de Rietveld para a composição NF.**

Os resultados apresentados na Tabela VI refletem a composição de vários componentes (ocorre a presença de anortita, ao invés de feldspato potássico) e, após o resfriamento, obtêm-se quatro fases principais em equilíbrio.

Vale ressaltar que, quando se compara os resultados obtidos teoricamente (por meio do diagrama de equilíbrio de fases) com aqueles obtidos experimentalmente (por meio do método de Rietveld), pode-se perceber que a quantidade de fase líquida calculada (~60%) é bem próxima da soma quartzo+fase vítrea (23,9% + 40,2%, respectivamente), obtido experimentalmente.

Fato semelhante ocorreu para a composição 50% fluxo - 50% feldspato. Nessa composição, metade da quantidade da matéria-prima de maior custo numa formulação de porcelanato foi substituída pelo fluxo. Ambos os fundentes estão presentes na mesma proporção, ou seja, em uma mesma composição, estariam presentes um líquido mais reativo (oriundo da fase fundente feldspato) e um líquido aparentemente mais inerte, que deve vir da fusão do fluxo a uma temperatura distinta e inferior. Desta forma, procurou-se observar se existe contribuição do líquido advindo do material denominado fluxo ao líquido do feldspato, comparativamente a uma composição em que o equilíbrio foi alcançado, como considerado no tratamento por diagrama de equilíbrio de fases. O resultado obtido por Rietveld forneceu um teor de fase vítrea para a composição 50% fluxo - 50% feldspato igual a 42,4%, ligeiramente inferior àquele previsto pelos cálculos teóricos - 45% (Tabela V).

Apesar do rápido ciclo de queima que, provavelmente, não é suficiente para se alcançar o equilíbrio das fases, o estudo por meio do triângulo de compatibilidade contido no diagrama de equilíbrio, mostrou-se eficaz para as composições estudadas, quando comparados os resultados teóricos com aqueles obtidos experimentalmente, por meio do uso da difração de raios X e do método de Rietveld.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelos resultados obtidos, a substituição da matéria-prima natural fundente (feldspato) por uma fase vítrea previamente obtida (fluxo), tem-se mostrado possível, principalmente devido aos baixos valores de absorção de água, em temperaturas de queima mais baixas do que aquelas utilizadas nas composições tradicionais (um abaixamento na temperatura de queima em torno de 50 °C). Esses fatores, aliados a uma menor retração linear de queima e bons resultados referentes à resistência mecânica à flexão, tornam a substituição um fator de interesse para estudos mais aprofundados, por exemplo, com relação à deformação e também no que se refere a viabilidade econômica. Outro fator relevante foi a eficácia de se aplicar uma ferramenta teórica, o diagrama de equilíbrio de fases, em um sistema onde o equilíbrio não é atingindo devido ao rápido ciclo de queima.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa - FAPESP pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- PASCHOAL, J.O.A.; MENEGAZZO, A.P.M. Mercado Nacional e Mundial de Grés Porcelanato. Revista Cerâmica Informação, n. 18, 2001.
- SÁNCHEZ, E. Considerações Técnicas sobre Produtos de Revestimento Porcelanato e Seus Processos de Manufatura. Parte 1. Revista Cerâmica Industrial, n. 8, p. 7-16, 2003.
- ZAUBERAS, R. T. Desenvolvimento de uma metodologia racional para a formulação de massas e grés porcelanato. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos.
- MENEGAZZO, A.P.M. Estudo da correlação entre a microestrutura e as propriedades finais de revestimentos cerâmicos. 2001. Tese (Doutorado em Ciência na área de Tecnologia Nuclear / Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, São Paulo.
- ARANTES, F. J. S. A porosidade fechada de placas de grés porcelanato: uma abordagem da influência de condições de processamento em matérias-primas sobre a resistência ao manchoamento. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, São Carlos.