



## INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE PÓ DE VIDRO DE VASILHAME DESCARTÁVEL NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE MASSA CERÂMICA PARA PRODUÇÃO DE TELHAS ROMANAS

F.B.Costa, G.T.Santos, A.E.Souza, N.V.J.Alves, A.W.Lima de Sá, S.R.Teixeira  
Departamento de Física, Química e Biologia, Universidade Estadual Paulista –  
Unesp, Caixa Postal 467, 19060-080 Presidente Prudente - SP  
[rainho@fct.unesp.br](mailto:rainho@fct.unesp.br)

### RESUMO

*O efeito da incorporação do pó de vidro nas propriedades de corpos de prova (CPs) cerâmicos foi avaliado. Foi incorporado a uma massa cerâmica, usada na produção de telhas, 0, 5, 8 e 10% de pó de vidro, em duas granulometrias diferentes: alfa (0,088 a 0,125 mm) e beta (0,037 a 0,088 mm). Os CPs foram queimados nas temperaturas de 800, 900, 1000, 1100 e 1200°C. A incorporação do pó de vidro tende a melhorar as propriedades físicas das amostras (massa específica aparente, resistência mecânica, perda de massa ao fogo, porosidade aparente e absorção de água). Essas mudanças são mais pronunciadas em temperaturas maiores que 900°C e nas concentrações maiores (8 e 10%) de pó de vidro. A 1200°C e 10% de vidro alfa, os corpos de prova apresentam absorção de água e resistência mecânica dentro dos limites para placas cerâmicas BIII (prensado).*

Palavras-chave: vidro, telha, cerâmica vermelha, resíduo.

### INTRODUÇÃO

A região de Presidente Prudente, sudoeste do Estado de São Paulo, é uma importante produtora de materiais cerâmicos, tais como: blocos estruturais e de vedação, tijolos maciços, telhas e lajotas para lajes.

A cerâmica vermelha é uma alternativa muito promissora para a incorporação de resíduos devido à disseminação de olarias e cerâmicas em todas regiões do país, e, também, por ela utilizar uma grande variedade de matérias-primas. A incorporação de resíduos em quantidades controladas pode proporcionar uma



economia dessas matérias-primas além de aproveitar esse material que, em geral, é descartado no ambiente, contribuindo para a viabilidade econômica da reciclagem de alguns resíduos sólidos.

Com o crescimento populacional, o aumento no consumo de materiais descartáveis e retornáveis, tem aumentado o volume de resíduos produzidos nas cidades.

Os vidros consumidos pelo público em geral, na forma de recipientes, são relativamente inertes e, portanto, não são biodegradáveis. Em 2001 foram produzidas no Brasil 2,065 milhões de toneladas de vidro, sendo, ~43% para embalagens <sup>(1)</sup>.

A incorporação de resíduo de vidro de embalagem em materiais cerâmicos é uma opção de reaproveitamento <sup>(2,3,4,5,6,7)</sup> devido a sua composição química. A adição de vidro à massa cerâmica causa elevação dos teores de óxidos fundentes, responsáveis pela densificação da estrutura durante a queima, aumentando sua resistência mecânica.

## MATERIAIS E MÉTODOS

No município de Presidente Epitácio, SP, foram coletadas quatro amostras de argilas e uma de massa cerâmica, utilizadas na fabricação de telhas.

A massa cerâmica foi posta para secar naturalmente e depois triturada em moinho de facas. Parte dessa amostra foi submetida a ensaio granulométrico para determinar a concentração de argila, areia e silte, usando o método da pipeta. A outra parte foi passada num conjunto de peneiras para determinar a sua distribuição granulométrica e auxiliar a preparação dos corpos de prova.

Garrafas de cerveja de 350ml tipo “long neck” (não retornável) marrom, foram quebradas em pilão e trituradas em moinho de bolas por seis horas. O pó obtido foi passado em peneiras de 0,037, 0,088 e 0,125 (mm), para obtenção de duas granulometrias diferentes: ( $\alpha$ ) de 0,088 a 0,125 (mm) e uma menor ( $\beta$ ) de 0,037 a 0,088 (mm). Estas granulometrias foram escolhidas considerando a distribuição granulométrica da massa cerâmica.

A argila e o pó de vidro foram secos em estufa, por 24 horas a 110°C. A mistura, massa cerâmica - pó de vidro, foi homogeneizada em moinho de bolas durante seis horas. Foram preparadas misturas com 0, 5, 8 e 10% de pó de vidro,



nas granulometrias alfa e beta, para cinco temperaturas diferentes de queima. Cada amostra recebeu 15% em peso de água, para prensagem.

Foram conformados seis corpos de prova, para cada amostra, com dimensões de 60 × 20 × ~05 (mm), utilizando para cada um deles aproximadamente 20g de amostra. Em cada prensagem (7 toneladas) eram preparados simultaneamente três corpos de prova. Após a prensagem, os corpos de prova foram limpos, marcados, medidos e pesados.

Após a conformação e medidas (comprimento e massa) os corpos de prova foram colocados em estufa, a 110°C, por vinte e quatro horas. Após o tempo de secagem eles foram deixados em dessecador até atingirem temperatura ambiente, e novamente pesados e medidos.

Os CPs foram queimados a 800, 900, 1000, 1100 e 1200°C, a uma taxa de aquecimento de 10°C/min até 110°C, permanecendo nesta temperatura por 30 min, e então aquecidos até a temperatura de queima, também a 10°C/min, permanecendo nesta por 2 horas. Depois da queima, o forno foi desligado, os corpos de prova foram deixados esfriar até ~ 60°C e depois colocados num dessecador até atingirem a temperatura ambiente. Novamente suas dimensões e massas foram determinadas.

A partir de então, iniciou-se a avaliação da retração linear de secagem (RLs), retração linear de queima (RLq) e perda de massa ao fogo (PMF). A resistência mecânica à flexão (RMF) em três pontos foi feita, após a queima dos CPs, com controle e coleta de dados automáticos, usando um equipamento marca EMIC. Para calcular a massa específica aparente (MEA) após a queima, foi usado o método da balança hidrostática, sendo posteriormente, através do volume aparente, possível calcular a absorção de água (AA) e a porosidade aparente (PA).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ensaio Granulométrico

Os resultados da textura, obtidos sem extração de matéria orgânica (MO), são apresentados na **Tabela I**. Foram feitas três repetições e os valores apresentados na tabela são a média das três medidas para cada fração. De acordo com o diagrama de Winkler <sup>(8)</sup>, a massa cerâmica para produzir telhas deve apresentar concentração ideal de argila entre 30 a 40%, de silte entre 20 e 50% e de areia entre

20 e 40%. Portanto, a quantidade de argila encontrada na amostra está acima do valor recomendado para a produção de telhas, podendo ser misturada com material magro.

**Tabela I:** Ensaio Granulométrico

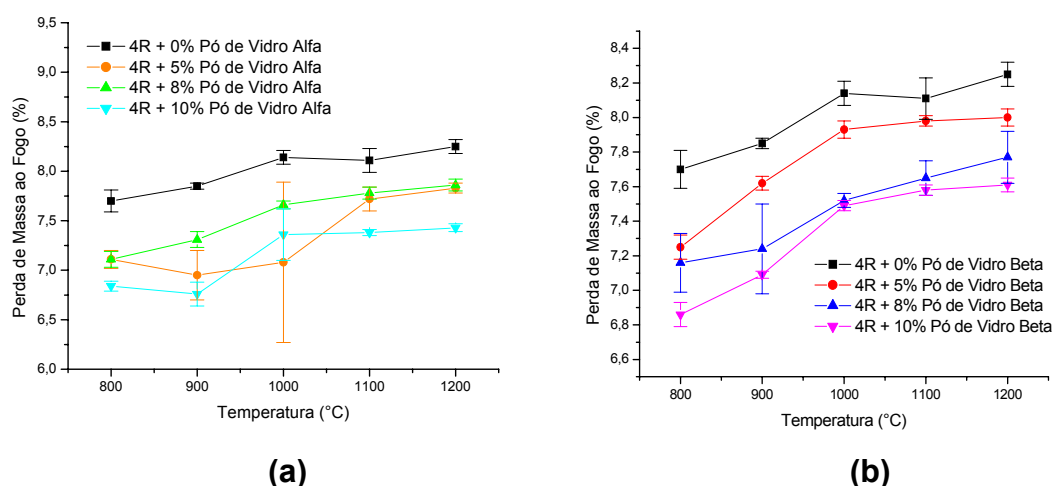
	Areia	Argila	Silte
<b>Massa de Telha</b>	24,13 %	58,27 %	17,60 %

### Propriedades Mecânicas

### Perda de Massa ao Fogo

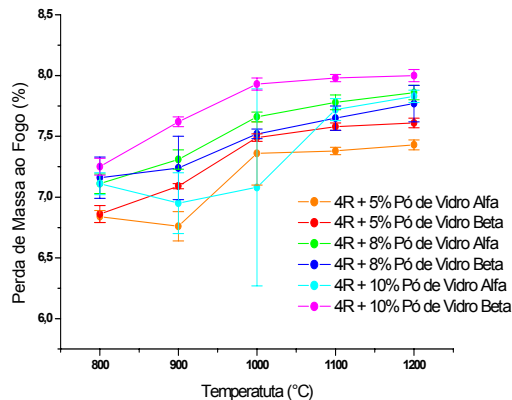
Como era esperada, a PMF aumenta com a temperatura de sinterização para todas as misturas (**Figuras 1a e 1b**). Os valores baixos de PMF (< 8,5%), na amostra pura, indicam uma baixa concentração de matéria orgânica. A partir de 1000°C a perda de massa é constante, indicando que as reações onde elas ocorrem, acontecem nas temperaturas menores. Este tipo de argila, em geral, tem a maior perda de massa em temperaturas menores que 600°C, onde ocorrem as perdas: de umidade, de água estrutural (hidroxilas) nas argilas e hidróxidos (principalmente de ferro e alumínio), e de matéria orgânica.

A maior a quantidade de vidro resulta numa menor perda de massa, tendo em vista que ele substitui a argila e não apresenta perda de massa representativa (em geral < 5%)<sup>(3)</sup> durante a queima.



**Figura 1:** Perda de massa ao fogo em função da temperatura de queima da massa de telha incorporado 0, 5, 8 e 10% de pó de vidro, **(a)** alfa e **(b)** beta.

Comparando o efeito da granulometria do pó de vidro, pode-se perceber na **Figura 2** que não houve diferença considerável de perda de massa da mistura alfa para a beta, embora, os resultados mostrem que, em geral, a perda de massa é menor para o pó alfa.



**Figura 2:** Perda de massa ao fogo em função da temperatura de queima da massa de telha incorporado 5, 8 e 10% de pó de vidro alfa e beta.

### Retração Linear de Secagem

A RLs dos corpos de prova, com e sem pó de vidro, é pequena, varia entre 1 e 2%. A incorporação de 5 e 8% de pó de vidro provoca um pequeno aumento e 10% praticamente não altera, a RLs dos corpos de prova.

### Retração Linear de Queima

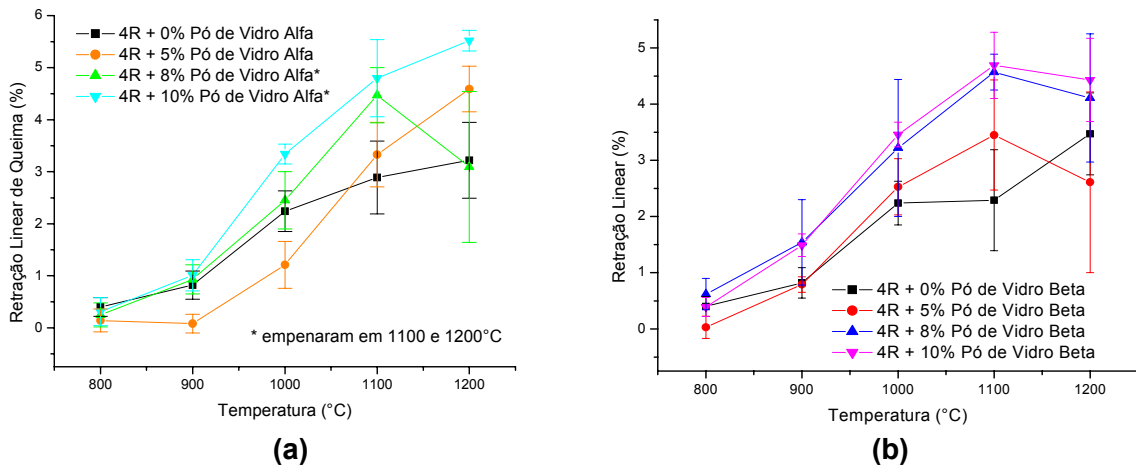
Em 800°C, para 5, 8 e 10% de pó alfa, a RL não é alterada, porém, para 5% de pó beta, a RL diminui levemente. Em 900 e 1000°C, o pó alfa (5%) diminui a RL da massa cerâmica. A partir de 1000°C, há uma tendência de aumento da retração linear das amostras com o pó de vidro ( $\alpha$  e  $\beta$ ) (**Figuras 3a e 3b**).

As concentrações de 8 e 10%, para os dois pós, sempre resultam numa maior retração linear para as amostras com vidro incorporado. O empenamento das amostras, principalmente as sinterizadas a 1200°C, prejudicaram as medidas usadas na determinação da RLq.

Entre 950 e 1225°C<sup>(9)</sup> ocorre a vitrificação para as amostras caulínicas, devido à liberação de cristobalita (SiO<sub>2</sub>) que reage com os óxidos livres, principalmente alcalinos, alcalinos terrosos e de ferro, formando vidros. Parte destes óxidos está

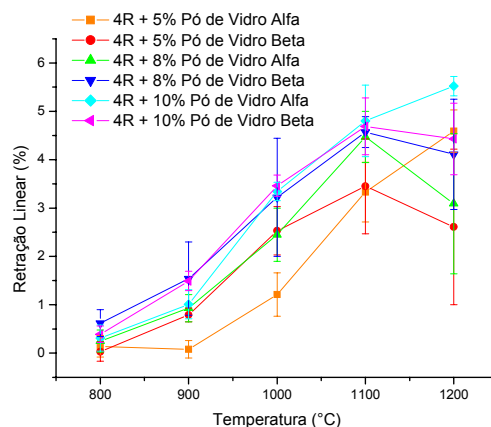
presente nas argilas, parte é liberado na quebra das estruturas dos argilominerais e parte, principalmente os alcalinos e alcalino terrosos, está presente no pó de vidro.

Mesmo para as amostras queimadas a 1200°C a RLq está abaixo do valor limite máximo de 6% <sup>(10)</sup>.



**Figura 3:** Retração linear em função da temperatura de queima da massa de telha incorporado 0, 5, 8 e 10% de pó de vidro, (a) alfa e (b) beta.

Através da **Figura 4**, observa-se que há uma pequena influência da granulometria na RLq, o pó de vidro  $\beta$  (mais fino) tende a apresentar maior retração linear.



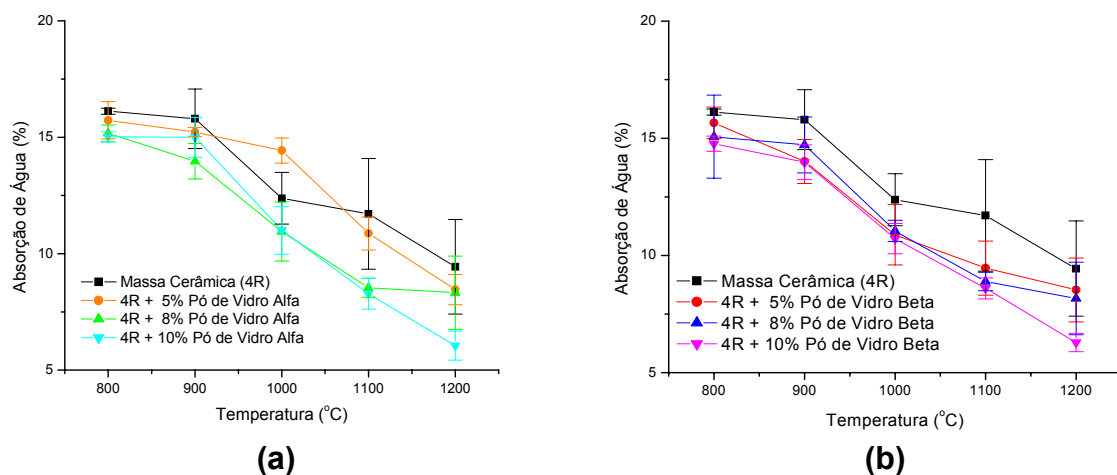
**Figura 4:** Retração linear em função da temperatura de queima da massa de telha incorporado 5, 8 e 10% de pó de vidro, nas granulometrias alfa e beta.

### Absorção de Água

A diminuição da AA é maior quanto maior a concentração de resíduo na amostra e, também, para maiores temperaturas de queima (**Figuras 5a e 5b**).

Como a absorção de água da argila 4R é baixa e o pó de vidro tende a diminuir este valor, todas as amostras apresentaram AA < 17%. Para queima em 1100°C a AA é menor do que 10% e, em 1200°C, as amostras com 10% de pó de vidro (alfa e beta) apresentam AA < 7,5%. Todos estes valores são menores do que o valor máximo recomendado para produção de telha (18%)<sup>(11)</sup>, para blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação (8% < AA < 22%)<sup>(12)</sup> e, alguns, estão dentro dos valores limites médios estabelecidos para produção de placas cerâmicas prensadas BIIb (6 < AA ≤ 10%) e BIII (AA > 10%)<sup>(13)</sup>. Deve-se considerar que, para produção de placas cerâmicas é aplicada uma pressão na conformação das peças muito maior do que a usada para preparar os corpos de prova com argilas para blocos e telhas. A maior pressão irá melhorar ainda mais as propriedades das peças.

O comportamento da AA, à medida que a temperatura de queima aumenta, é semelhante para 8 e 10%, nos dois tipos de pó de vidro (alfa e beta).



**Figura 5:** Absorção de água (AA) da massa cerâmica 4R com 0, 5, 8 e 10% de pó de vidro, **(a)** alfa e **(b)** beta; em função da temperatura de queima.

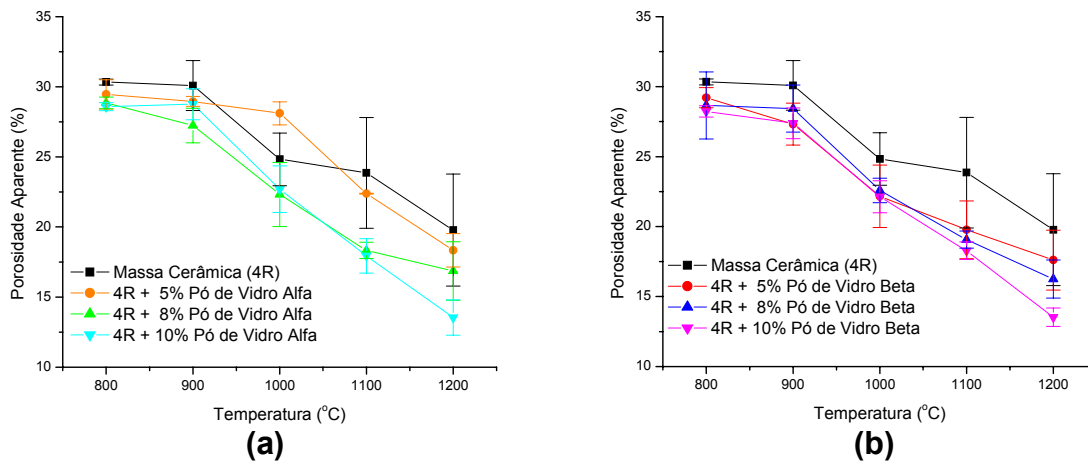
### Porosidade Aparente

As curvas da porosidade aparente (PA) pela temperatura de queima apresentam comportamento semelhante às de absorção de água (AA), **(Figuras 6a e 6b)**. Com o aumento da temperatura de queima, os valores de AA e PA tendem a diminuir pois ocorre uma maior densificação das amostras.

A porosidade aparente da argila 4R é de aproximadamente 30%, em 800 e 900°C. Nestas temperaturas, a incorporação dos dois pós de vidro mostra uma tendência de pequena diminuição no valor da PA (valores abaixo dos para 4R).

A partir de 1000°C ocorre uma queda contínua no valor da PA, para os dois vidros, até 1200°C, onde aparece uma diferença representativa entre as porcentagens de vidro incorporado na amostra. Em 1200°C, observa-se uma maior diminuição na PA para 10% de pó de vidro (alfa e beta).

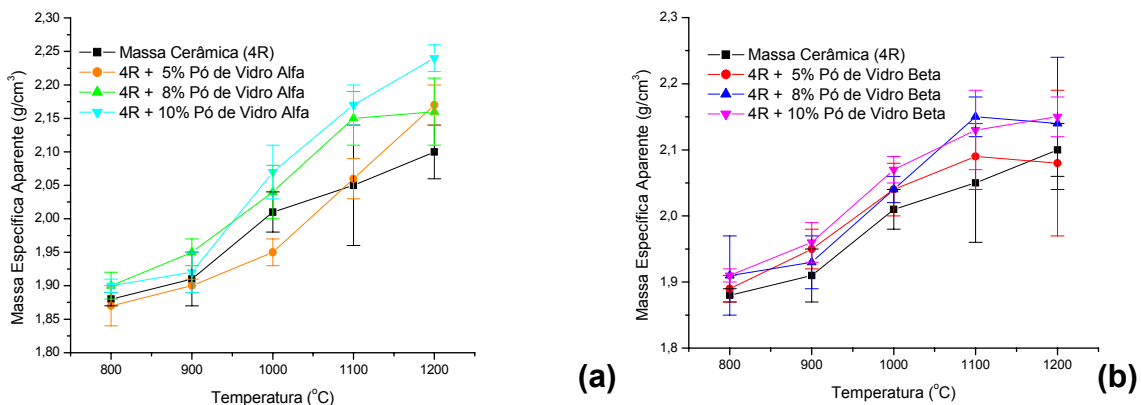
Os valores da PA, para os dois vidros e todas as amostras, são menores do que o valor limite máximo (35%) estabelecido para produção de tijolos furados.



**Figura 6:** Porosidade aparente (PA) da massa cerâmica 4R com 0, 5, 8 e 10% de pó de vidro, (a) alfa e (b) beta; em função da temperatura de queima.

### Massa Específica Aparente

Todas as amostras apresentam valores de MEA maiores que o valor limite mínimo ( $1,7\text{g/cm}^3$ ) recomendado <sup>(10)</sup>. As Figuras 7a e 7b mostram que ocorre um aumento na MEA à medida que a temperatura de queima aumenta.



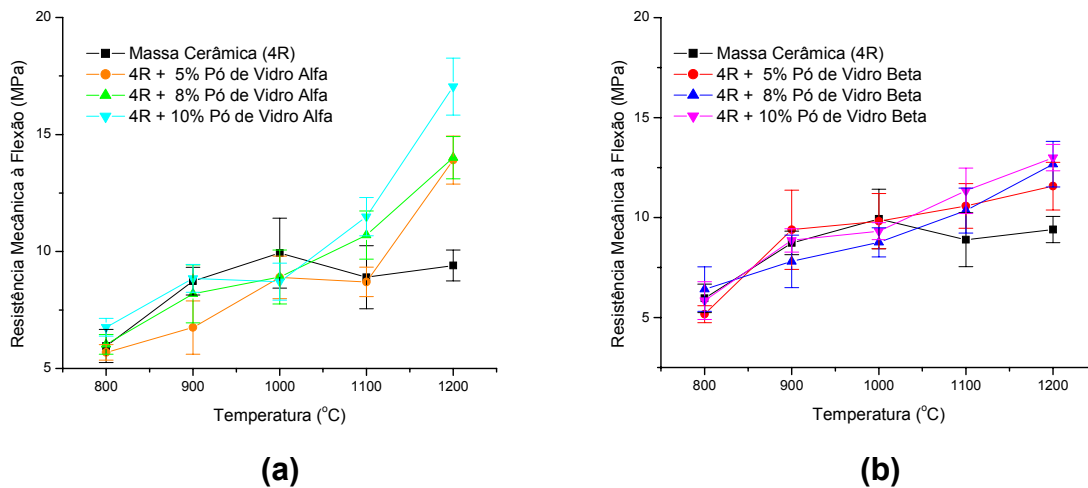
**Figura 7:** Massa específica aparente (MEA) da massa cerâmica com 0, 5, 8 e 10% de pó de vidro, (a) alfa e (b) beta; em função da temperatura de queima.



## Resistência Mecânica à Flexão

A resistência mecânica à flexão - RMF (**Figuras 8a e 8b**) é maior que 5 Mpa, para todos os corpos de prova. Os valores limites mínimos para tijolos maciço, tijolos furado e telhas são de aproximadamente 2,5, 5,5 e 6,5 Mpa <sup>(9)</sup>, respectivamente. Para queima a partir de 900°C, que é a temperatura de queima da indústria cerâmica Romana, todos os corpos de prova apresentam RMF maior que o valor limite para produzir telhas.

Até 1000°C os gráficos mostram que os valores são iguais para a argila com e sem pó de vidro. De 1100 a 1200°C é observado um aumento na RMF. A 1200°C é observado que o vidro alfa produz uma RMF maior do que o vidro beta e que a adição de 10% de pó de vidro resulta no maior valor (da ordem de 17 Mpa) de RMF. Este valor de RMF e, também da absorção de água, estão dentro dos valores limites para produção de placas cerâmicas prensadas do grupo BIII <sup>(13)</sup>.



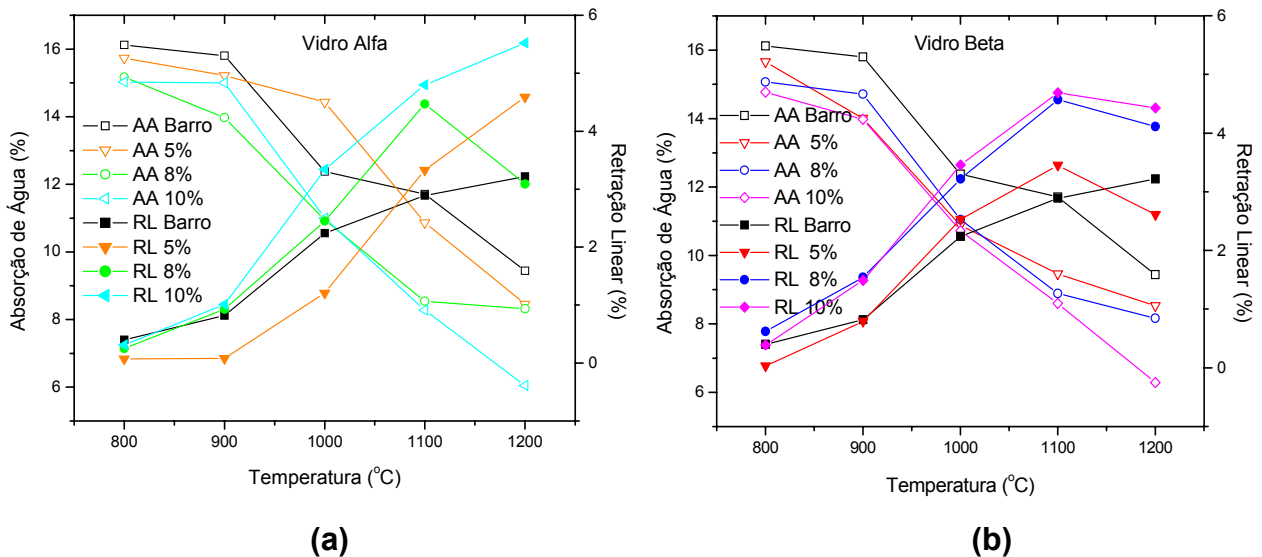
**Figura 8:** Resistência mecânica à flexão (RMF) da massa cerâmica com 0, 5, 8 e 10% de pó de vidro, **(a)** alfa e **(b)** beta, em função da temperatura de queima.

## Curvas de Gresificação

Os diagramas de gresificação (**Figuras 9a e 9b**) mostram a variação da AA e da RL em função da temperatura de queima. As duas curvas AA e RL são governadas pela porosidade da peças cerâmicas. A partir de 900°C é observada uma acentuada diminuição na absorção de água e aumento da RL indicando o início da formação da fase líquida. Em 1200°C há uma indicação de expansão dos corpos

de prova, entretanto, nesta temperatura, vários CPs entortaram e prejudicaram as medidas que fornecem a RL.

Pode-se observar que a incorporação de pó de vidro, diminui, em aproximadamente 10% a AA, em temperaturas acima de 1000°C e a RL é menor que 4% em temperaturas menores que 1000°C, que são próximas às usadas nos fornos das cerâmicas.



**Figura 9:** Diagrama de gresificação para o “barro” puro e com pó de vidro incorporado (5, 8 e 10%). (a) vidro alfa e (b) vidro beta.

## CONCLUSÕES

Os resultados mostram que a incorporação do pó de vidro tende a melhorar todas as propriedades tecnológicas da argila para temperaturas de queima maiores que 1000°C. Portanto, o pó de vidro pode ser usado para melhorar as propriedades tecnológicas de “argilas fracas”. Estas mudanças nas propriedades dependem da quantidade de pó de vidro incorporado na argila, da temperatura de queima e do tamanho das partículas do pó.

Por outro lado, estas amostras apresentam maior retração linear e muitas delas empenaram, principalmente, em 1200°C, indicando que houve formação de fase líquida, em temperaturas menores, para as amostras com pó de vidro. Algumas amostras empenaram em 1100°C.

O efeito da incorporação do pó de vidro foi mais expressivo, em alguns casos, para o pó alfa, que tem granulometria mais próxima da argila usada.



O módulo de ruptura à flexão sofre uma alteração significativa, nas temperaturas de 1100 e 1200°C, devido ao pó de vidro que participa da formação da fase líquida. Este efeito é mais pronunciado para o pó mais grosso (alfa).

As curvas de gresificação mostram que a incorporação do pó de vidro diminui a temperatura de densificação das peças cerâmicas.

As incorporações de 10 e 8% de pó de vidro, em geral, apresentam melhores resultados do que a de 5%.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem à Cerâmica Romana pela colaboração e à FAPESP pela bolsa de IC (04/15421-2).

## REFERÊNCIAS

1. Anuário Brasileiro de Cerâmica, Associação Brasileira de Cerâmica – ABC, São Paulo – SP, maio de 2002.
2. Godinho, K. O., T. R. Rabelo, J. N. F. de Holanda, A. G. P. da Silva, Incorporação de resíduo de vidros em cerâmica vermelha, Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba-PR, 28/06 a 01/07/2004, CD-ROM.
3. Godinho, K. O., J. N. F. de Holanda, A. G. P. da Silva, Efeito da adição de vidro sobre propriedades de queima de uma argila vermelha, Anais do 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, São Pedro-SP, 06/06 a 09/06/2005, CD-ROM.
4. Oliveira, A. A.; Corrêa-Silva, R. H.; Andrade, F. R.; Cardoso, H. M.; Carrer, I. R.; Couto, J. M.; Marcello, Avaliação da incorporação de vidro de embalagem em massa cerâmica, Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba-PR, 28/06 a 01/07/2004, CD-ROM.
5. Filho, F. P. S., R. M. Gibo, Engobe para telhas cerâmicas, anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba-PR, 28/06 a 01/07/2004, CD-ROM.
6. Bragança, S. R., C. P. Bergmann, Utilização de pó de vidro em uma massa industrial de cerâmica branca, XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECIMAT, Porto Alegre RS, 28/11 a 02/12/2004.
7. Pereira Filho, L. I., S. Cosin, T. S. Valera, S. M. Toffoli, Utilização de vidro em pó em cerâmica vermelha, Anais do 48º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Curitiba-PR, 28/06 a 01/07/2004, CD-ROM.



8. Pracidelli, S., F. G. Melchades, Importância da composição granulométrica de massas para cerâmica vermelha, *Cerâmica Industrial* **02** (1997) 31-34.
9. Souza Santos, P., *Ciência e Tecnologia de Argilas*, Vol 1 e 2, 2<sup>a</sup> Edição, Ed. Edgard Blücher Ltda, 1989.
10. Macedo, R. S.; A. G. S. Galdino, C. R. S. Morais, H. C. Ferreira, Estudo preliminar de argilas do Estado da Paraíba para utilização como matéria-prima em cerâmica vermelha: Parte I, *Cerâmica* **42(275)** (1996) 259.
11. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), *Telha cerâmica tipo romana*, NBR 13582, Rio de Janeiro, 1996.12. (ABNT, 2004).
12. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), *Componentes cerâmicos - Parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria e vedação*, Projeto 02:101.01-002, Rio de Janeiro, 2004.
13. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), *Placas cerâmicas para revestimento*, NBR 13818, Rio de Janeiro, 1997.

## INFLUENCE OF ONE-WAY BOTTLES GLASS POWDER INCORPORATION ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF CERAMIC MASS USED TO PRODUCE ROMANA ROOF-TILES

### ABSTRACT

The incorporation effect of glass powder on the properties of ceramic body probes (CPs) was evaluated. The powder was incorporated 0, 5, 8 and 10% and two different size ( $\alpha$  - 0,088 to 0,125 mm and  $\beta$  - 0,037 to 0,088 mm) in a ceramic mass used to produce roof-tiles. The CPs were fired at 800, 900, 1000, 1100 e 1200°C. It observed that this residue incorporation generally improves the physical properties of ceramic materials (apparent density, flexural strength, loss of mass, apparent porosity and water absorption). The modifies are more visible at temperatures higher than 900°C and with glass concentrations of 8 and 10% weight. At 1200°C and with 10% weight of  $\alpha$ -glass, the CPs have water absorption and flexural strength in the limit values to produce pressed ceramic plates BIII (according to ABNT).

Key-words: glass, roof-tiles, red ceramic, residue.