

Heterocoagulação como técnica para obtenção de cerâmicas porosas*

(Porous ceramics through heterocoagulation process)

M. O. Carlos, J. R. Garcia, I. R. Oliveira, R. Salomão, V. C. Pandolfelli

Departamento de Engenharia de Materiais - DEMa

Universidade Federal de S. Carlos - UFSCar

Rod. Washington Luiz, km 235, C.P. 676, S. Carlos, SP 13565-905

marianaoc@polvo.com.br, vicpando@power.ufscar.br

Resumo

Devido ao custo da energia, tem crescido o interesse pelo uso de cerâmicas refratárias porosas como isolantes térmicos para aplicações em altas temperaturas. Isso se deve ao fato desses materiais aliarem propriedades intrínsecas das cerâmicas, como inércia química e refratariedade, à baixa condutividade térmica dos porosos. Uma das técnicas utilizadas na obtenção desses materiais consiste na adição de compostos orgânicos à matriz cerâmica, os quais volatilizam durante a queima. Essa técnica pode ter seu desempenho aprimorado (porosidade controlada) pela utilização da heterocoagulação entre as partes inorgânicas e orgânicas. O objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto da heterocoagulação na fabricação de cerâmicas porosas utilizando PVC ou amido como aditivo orgânico e alumina como componente inorgânico. Foram definidas as condições mais favoráveis à heterocoagulação para os dois incorporadores. Independente do tipo de incorporador, o aumento do teor utilizado resultou em cerâmicas mais porosas. Entretanto, um teor máximo de 50vol% do material orgânico foi escolhido, uma vez que maiores teores resultam em uma resistência mecânica insatisfatória. Verificou-se ainda que, em comparação com o processo convencional, as cerâmicas produzidas por heterocoagulação apresentaram maior homogeneidade microestrutural e resistência mecânica.

Palavras-chave: cerâmicas porosas, queima de orgânicos, heterocoagulação.

Abstract

The crisis faced by the energy sector has led to a growing interest in the use of refractory porous ceramics as high temperature insulators, due to their unique combination of properties: chemical inertia, refractoriness and low thermal conductivity. Among the several techniques employed in the production of these materials, the addition of organic particles, which volatilize during the first heat-up, to the ceramic matrix is one of the most promising techniques. This procedure can be optimized in order to attain a better control over the porosity using the heterocoagulation of the inorganic and organic parts of a suspension. The purpose of the present work was to evaluate the impact of the heterocoagulation on the production of porous ceramics using PVC and starch as organic and alumina as inorganic compounds. The most suitable conditions to promote heterocoagulation of the constituents were previously determined. The increasing of the volume fraction of the organic parts generated more porous materials for both additives. However, the maximum amount of organics was set in 50 vol.% in order to achieve acceptable mechanical strength. It was also found out that compared to the conventional process, the porous ceramics obtained by heterocoagulation presented superior microstructural homogeneity and mechanical strength.

Keywords: Porous ceramics, organic compounds burn-out, heterocoagulation.

INTRODUÇÃO

Dependendo da microestrutura e das propriedades físicas, as cerâmicas porosas podem ser aplicadas em processos que vão desde a filtragem de gases, ou de metais líquidos até o uso em implantes ósseos [1]. Entre essas aplicações, a utilização como isolante térmico tem despertado grande interesse devido a atual crise energética, que sinaliza um aumento no custo da energia, principalmente considerando suas atuais fontes e formas de obtenção. Esse crescente interesse no desenvolvimento de cerâmicas porosas deve-se a dois fatores: 1) propriedades intrínsecas às cerâmicas, tais como refratariedade, inércia química, e baixa condutividade

térmica de materiais porosos e 2) a perspectiva de aumentar sua eficiência de isolamento térmico por meio do aumento e controle da porosidade possibilitando a diminuição da condução térmica por meio de fótons, mecanismo que se torna importante para altas temperaturas [2].

Existem várias metodologias para a obtenção de cerâmicas porosas, que de uma maneira geral, baseiam-se na incorporação às suspensões cerâmicas de aditivos geradores de poros. Dentre estes métodos, podem-se destacar três: o método de réplica [3], a agitação mecânica de um agente espumante [4] e a incorporação de compostos orgânicos que podem ser volatilizados durante o processo de queima [5].

A geração de materiais porosos por meio da incorporação de orgânicos tem como vantagens ser um processo simples e com baixo custo de produção [5]. Além disso, proporciona controle do tamanho de poros, por meio do diâmetro das

* Prêmio de melhor trabalho apresentado no 49º Congresso Brasileiro de Cerâmica, S. Pedro, SP, Junho de 2005.

partículas orgânicas, e da porosidade, pela variação da razão do volume de material orgânico/cerâmica. Na maior parte dos trabalhos utilizando esta técnica, as partes orgânicas e inorgânicas foram simplesmente misturadas, o que não garante uma microestrutura uniforme e pode comprometer as propriedades mecânicas [5]. Thijs *et al.* [6] propuseram uma forma de se melhorar a microestrutura realizando o processamento em duas etapas: na primeira as partículas orgânicas são recobertas pelas inorgânicas, utilizando um equipamento “spray dryer”. Na segunda, as partículas recobertas são empacotadas em um molde e então agrupadas adicionando-se uma suspensão cerâmica [6]. O recobrimento das partículas permite a formação de uma parede uniforme ao seu redor proporcionando maior resistência mecânica para as amostras, depois que a parte orgânica é eliminada.

Outro método desenvolvido para otimizar a formação de cerâmicas porosas através da incorporação de compostos orgânicos baseia-se no conceito de heterocoagulação. Nesse método desenvolvido por Tang *et al.* [7, 8] as partículas (orgânicas e inorgânicas) devem apresentar cargas opostas, para uma mesma condição de pH. Dessa forma, deve ocorrer uma coagulação ordenada (devido à atração eletrostática), promovendo o recobrimento das partículas orgânicas pelas inorgânicas. Em comparação com o método desenvolvido por Thijs [6] essa técnica tem a vantagem de promover o processamento em uma única etapa. Contudo, a literatura não registra casos em que esse método permitiu a produção de amostras com formatos complexos e de grandes dimensões.

Nesse contexto o objetivo deste trabalho foi o de adaptar o conceito de heterocoagulação a um método que permita a obtenção de cerâmicas porosas com formatos complexos, com dimensões usuais além de utilizar matérias-primas baratas. Para isso, como incorporadores de poros foram testados o policloreto de vinila (PVC) e amido. Esses aditivos foram escolhidos por possuírem uma grande disponibilidade com tamanhos de partículas variados e de baixo custo. A estrutura do PVC é representada na Fig. 1.

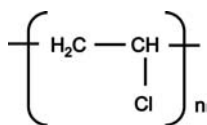


Figura 1: Estrutura do PVC.
[Figure 1: PVC structure.]

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Materials

Para a preparação das suspensões cerâmicas foram utilizadas as aluminas de alta pureza: A1000SG e A17NE, >99% Al₂O₃ (Almatis), com tamanho médio de partícula (D₅₀) de 0,7 µm e 4,0 µm, respectivamente. Essa mistura de aluminas foi dispersa em água, adicionando-se o aditivo aniônico citrato de diamônio - DAC (Sigma Aldrich), para promover a dispersão das aluminas gerando cargas negativas

na superfície destas partículas.

Os agentes incorporadores de poros utilizados foram o policloreto de vinila - PVC (Brasken) e o amido (Gessy Indústria). Com o objetivo de se promover a heterocoagulação, prepararam-se dispersões aquosas desses aditivos orgânicos. Neste processo foram testados três dispersantes catiônicos: um quaternário de amônia de cadeia alquílica linear (Capuani - Surf. 1), o polication polietilenoimina (BASF-P.) e um quaternário de amônia de cadeia alquílica ramificada (Sigma Aldrich - Surf. 2).

O PVC utilizado apresenta uma distribuição de tamanho de partículas larga e monomodal (10 a 45 µm). Essas características podem atuar favoravelmente no empacotamento das partículas, embora leve a uma maior variação na distribuição de tamanho de poros. O amido utilizado possui uma distribuição bimodal estreita (8 a 15 µm e de 20 a 28 µm) e com partículas menores que as do PVC, podendo resultar em amostras com poros mais uniformes e com diâmetros menores.

Para a consolidação da cerâmica porosa foi utilizada a combinação entre alginato de sódio (Fluka) com uma distribuição de pesos moleculares variando entre 48000 e 186000 g/mol (M_w) e diacetato de alumínio hidratado - HADA (Sigma Aldrich) [9].

Visando obter o melhor sistema para a ocorrência da heterocoagulação, realizaram-se medidas de potencial zeta, ESA 9800 (Matec Applied Sciences) nas suspensões de alumina e dos aditivos orgânicos a fim de quantificar os valores de cargas superficiais promovidos pelos aditivos dispersantes. Primeiramente, determinaram-se os teores ótimos dos dispersantes catiônicos na preparação das suspensões de PVC e amido. Essas medidas foram realizadas medindo-se a variação do potencial zeta com o teor de dispersante até se atingir um valor constante. Determinado os teores ótimos dos dispersantes catiônicos e considerando um teor de DAC de 0,31 mg/m² [9] para dispersar alumina, mediu-se a variação do potencial zeta das suspensões a fim de determinar a faixa de pH na qual a diferença entre a carga positiva dos aditivos orgânicos, e a negativa, da alumina, fosse máxima. Soluções aquosas de KOH e HNO₃ (0,1M, Merck) foram utilizadas para ajustar o pH das suspensões utilizando-se um tempo de estabilização de 20 s entre cada medida. Para tais ensaios foram preparadas suspensões diluídas (2 vol% sólidos) da mistura de aluminas (A17NE + A1000SG) na presença do aditivo dispersante DAC e suspensões de PVC ou amido na presença dos aditivos catiônicos.

Na elaboração dos corpos cerâmicos suspensões com 80 vol% de sólidos foram preparadas, nas quais a proporção entre alumina e incorporador de poros variou entre 30%:70%, 50%:50% e 70%:30%. As suspensões de alumina foram ajustadas, adicionando-se água aos materiais anteriormente misturados a seco: alumina, alginato e DAC (Tabela I), enquanto as suspensões dos incorporadores de poros (PVC ou amido) foram preparadas utilizando-se o teor ótimo do aditivo catiônico escolhido. Em seguida essas duas partes foram misturadas e homogeneizadas em agitador mecânico,

Tabela I: Composições utilizadas na preparação da cerâmica porosa.

[Table I: Compositions prepared to produce the porous ceramics.]

Etapa	Reagentes	Composição 1 (peso%)
Suspensão	Alumina I (A17NE)	93
	Alumina II (A1000SG)	7
	DAC	0,11
	Água	25
Incorporadores de poros	PVC ou Amido	30, 50 e 70*
Ligante	Alginato de sódio	0,15
	HADA	0,4

Obs: Os cálculos das quantidades dos reagentes foram efetuados em relação à quantidade de alumina, com exceção dos teores de PVC ou amido (vol%)*.

sendo então adicionado o HADA a fim de proporcionar a consolidação. A Tabela I apresenta os teores dos reagentes utilizados na preparação da cerâmica porosa.

Depois de preparado, o sistema (suspensão + incorporador de poros + ligante) foi moldado sob vibração na forma de cilindro (25 mm de diâmetro e altura). Todas as amostras foram secas por 12 h ao ar e depois por 12 h em estufa a 50 °C. Em seguida, as amostras heterocoaguladas foram queimadas nas temperaturas de 1100 °C e 1500 °C e as sem aditivo apenas a 1100 °C, ambas com taxa de aquecimento de 2 °C/min, patamar de 5 h e taxa de resfriamento de 10 °C/min.

Após tratamento térmico as amostras foram caracterizadas por meio de ensaios de porosidade, porosimetria de mercúrio e medida de resistência mecânica por compressão diametral para avaliação do efeito do tipo de incorporador de poro. Também foram realizadas medidas de viscosidade para as suspensões com diferentes teores de PVC e de amido.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obtenção das cerâmicas porosas por meio de heterocoagulação

A ocorrência da heterocoagulação depende que os componentes do sistema, PVC ou amido e alumina, tenham cargas superficiais de sinais opostos, para uma mesma condição de pH. No caso da suspensão de alumina utilizada, as partículas apresentam cargas negativas devido a presença do aditivo dispersante aniônico DAC [10]. Portanto, para que as partículas de PVC ou amido apresentassem cargas positivas, foram utilizados aditivos dispersantes catiônicos.

Foram selecionados três aditivos catiônicos: Surf. 1, P.1 e o Surf. 2 (ver seção Materiais). Os teores ótimos desses aditivos foram determinados por meio de medidas de potencial zeta em função da concentração, sendo estas medidas apresentados na Fig. 2. Para as suspensões de PVC,

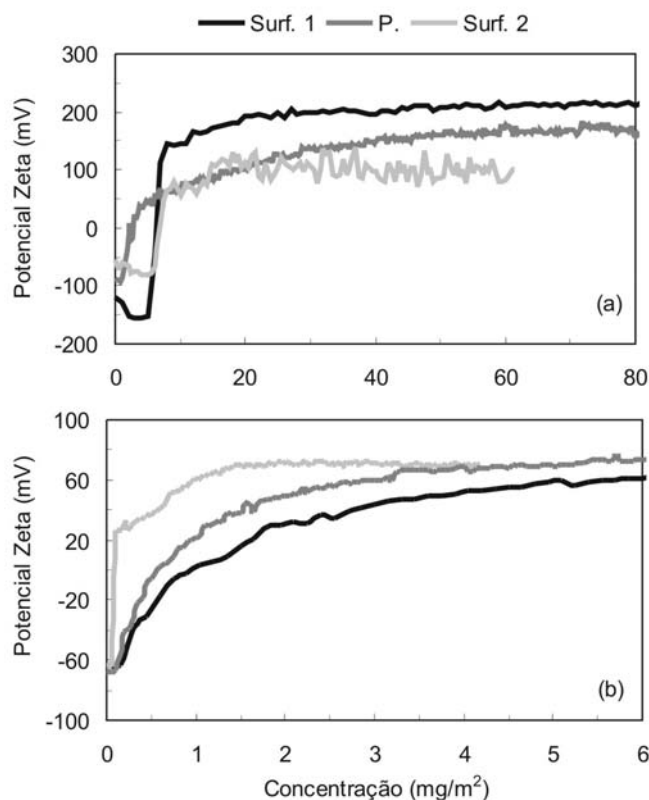


Figura 2: Potencial zeta das suspensões de PVC (a) e amido (b) (2 vol%) em função da concentração dos aditivos surfactante 1 (Surf. 1), Policação (P.) e surfactante 2 (Surf. 2).

[Figure 2: Zeta potential measurements of PVC (a) and starch (b) suspensions (2 vol.%) as a function of additive concentration: surfactant (Surf 1.), polycation (P.), and surfactant (Surf. 2).]

os teores determinados foram de 40, 60 e 30 mg/m² para Surf. 1, P.1 e o Surf. 2; respectivamente. Já para o amido, esses teores foram de 9, 1,8 e 5 mg/m² para Surf. 1, P.1 e o Surf. 2, respectivamente. Tais teores foram considerados otimizados uma vez que proporcionaram a máxima carga superficial, isto é, máxima adsorção do aditivo. Acima desses valores o potencial zeta permaneceu constante.

Em seguida foram preparadas suspensões de PVC e de amido, nas quais foram adicionadas as quantidades pré-determinadas dos aditivos catiônicos, nas quais mediu-se a variação da carga superficial em função do pH (Fig. 3). Observou-se que para o PVC, o Surf. 1 proporcionou maior valor de cargas superficiais positivas em toda a faixa de pH avaliada. Além disso, foi possível perceber, visualmente, que a solução preparada com o policação P. e com surfactante 2 não apresentaram uma adequada estabilidade, pois o pó sedimentava rapidamente após o fim da agitação. Considerando estes aspectos escolheu-se o Surf. 1 como aditivo mais adequado para preparar as suspensões de PVC.

No caso do amido, o comportamento da carga superficial com o pH para suspensões preparadas com Surf. 1 foi muito semelhante ao observado para suspensões

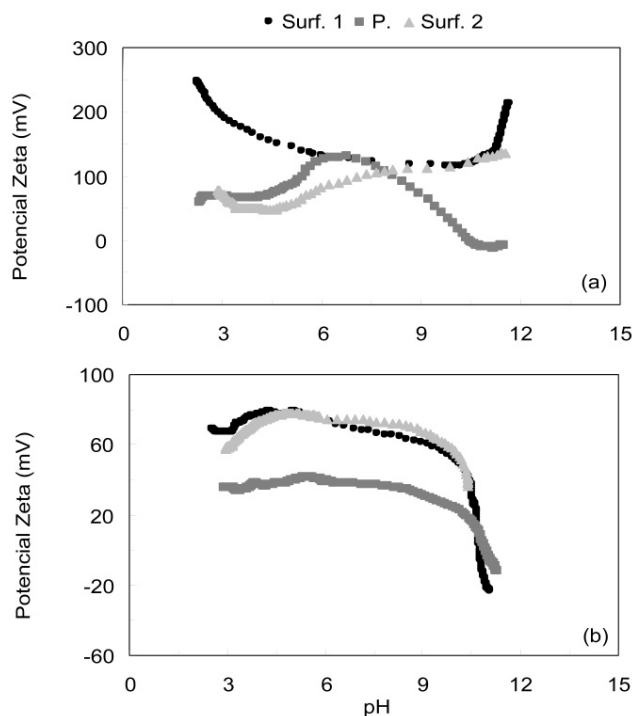


Figura 3: Potencial zeta em função do pH de suspensões de PVC (a) e amido (b) (2 vol%) usando teores ótimos dos aditivos surfactante 1 (Surf. 1), Policação (P) e surfactante 2 (Surf. 2).

[Figure 3: Zeta potential measurements of PVC (a) and starch (b) suspensions (2 vol.%) as a function of pH using the optimum content of additives: surfactant (Surf. 1), polycation (P) and surfactant (Surf. 2).]

preparadas com Surf. 2, sendo que nestes dois casos as partículas de amido apresentaram maiores valores de carga, quando comparado as suspensões preparadas com o policação P. Como no caso do PVC, observou-se que as suspensões preparadas com Surf. 1 apresentaram maior estabilidade que as preparadas com P. e Surf. 2, e desta forma o Surf. 1 também mostrou-se mais adequado para promover a heterocoagulação com amido.

Após obter as condições ótimas para ocorrer a heterocoagulação, mediu-se a variação da carga superficial das partículas dos materiais estudados em função do pH do meio. A determinação do comportamento da carga superficial com o pH foi importante na detecção do melhor valor de pH para promover a máxima diferenciação entre as cargas superficiais nas suspensões Al_2O_3 -DAC e PVC-Surf. 1 ou amido-Surf. 1. Essa avaliação foi realizada por meio de medidas de potencial zeta em função do pH. Os resultados obtidos são apresentados na Fig. 4. Nessa figura, observa-se que na faixa de pH entre 5 e 10 as partículas orgânicas (PVC ou amido) apresentam carga de sinal oposto às partículas de alumina, indicando condições propícias para que a heterocoagulação ocorra. Além disso, a diferença entre os valores de carga superficial é máxima nessa região de pH, não sendo necessário nenhum ajuste do pH.

Também foi medido o pH das suspensões de Al_2O_3 (0,3 mg/m² DAC), PVC (40 mg/m² de Surf. 1) e de amido (9 mg/m² de Surf. 1) separadamente, obtendo-se os valores médios

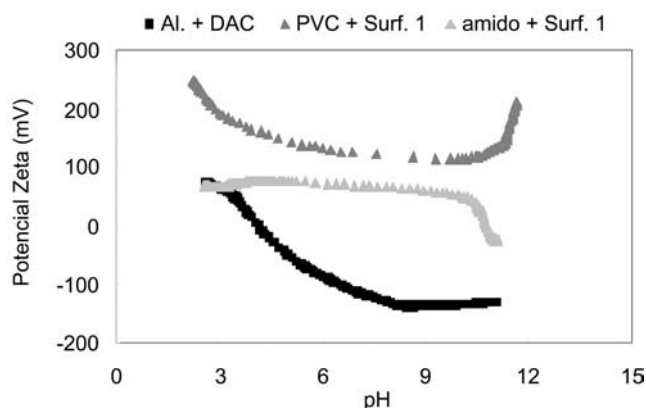


Figura 4: Potencial zeta em função do pH para suspensões (2 vol%) de alumina-DAC e de PVC ou amido usando (40 e 9 mg/m², respectivamente) de surf. 1 como dispersante.

[Figure 4: Zeta potential measurements as a function of pH for alumina-DAC, PVC or starch suspensions (2 vol.%) containing 40 and 9 mg/m² of Surf. 1, respectively.]

de 8,8, 7,8 e 5,4, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa onde a diferença entre as cargas superficiais é máxima.

Avaliação das cerâmicas obtidas via heterocoagulação

Determinadas as condições ótimas para a ocorrência do processo de heterocoagulação, preparou-se corpos cerâmicos com 80%-vol. de sólidos variando-se a proporção entre alumina e incorporador de poros entre 30%:70%, 50%:50% e 70%:30%.

Os resultados dos ensaios de porosidade obtidos para as amostras com os diferentes teores de PVC ou amido, após queima a 1100 °C e 1500 °C são apresentados nas Figs. 5a e 5b, respectivamente. Para as amostras com 30% de incorporador de poros observou-se que a porosidade obtida com PVC foi superior à das amostras com amido, para ambas as temperaturas. Naquelas amostras com 50% de incorporador de poros ela foi praticamente à mesma para ambos; já para 70%, não foi possível comparar os incorporadores de poros, pois os corpos preparados com amido apresentaram trincas generalizadas após a queima, impossibilitando a realização das medidas de porosidade e de resistência mecânica.

Tanto nas amostras com PVC quanto nas com amido, o aumento da quantidade de incorporadores de poros proporcionou o aumento da porosidade e diminuição da resistência mecânica (Fig. 6). Entretanto a resistência mecânica dos corpos preparados com PVC foi superior quando comparada aos valores obtidos para aqueles contendo amido. Apesar da maior porosidade ter sido obtida para as amostras com a fração volumétrica de 70% de PVC, esses corpos apresentaram resistência mecânica insatisfatória (menor 1 MPa).

Com relação à distribuição do tamanho de poros, os resultados de porosimetria de mercúrio mostrados na Fig. 7, indicaram que as amostras preparadas com 50% e 70% de PVC e com 50% de amido apresentaram uma distribuição de tamanhos de poros mais uniforme quando comparada com as

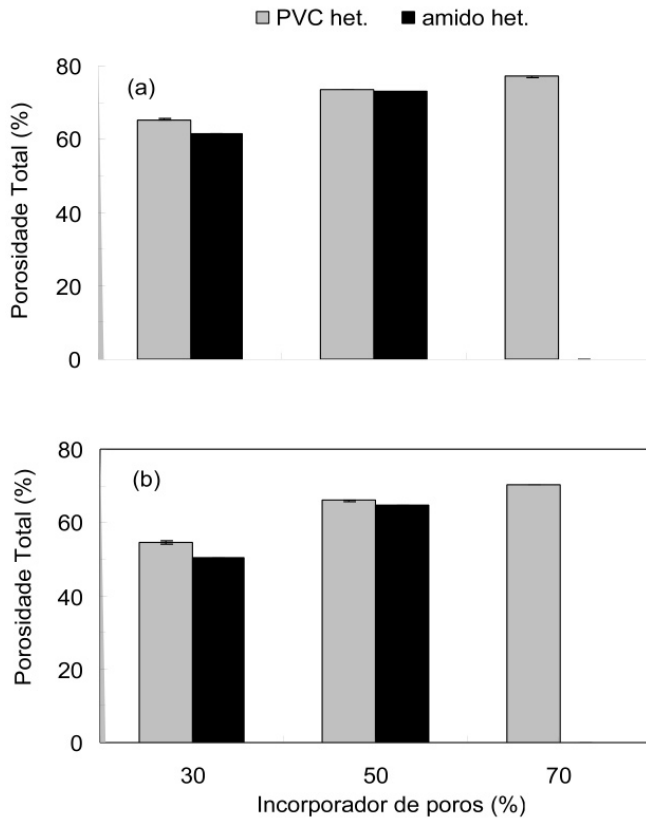


Figura 5: Porosidade total das amostras preparadas com diferentes teores de PVC ou amido, queimadas a 1100 °C (a) e 1500 °C (b) por 5h. [Figure 5: Total porosity for samples prepared with different content of PVC or starch fired at (a) 1100 and (b) 1500 °C (during 5 h).]

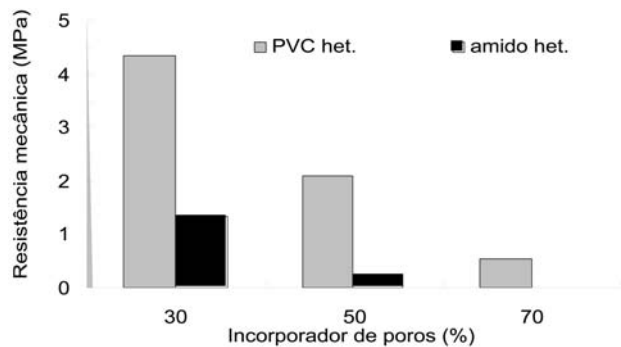


Figura 6: Resistência mecânica das amostras de alumina preparadas com diferentes teores de PVC ou amido e queimadas a 1500 °C por 5h. [Figure 6: Mechanical strength of the alumina samples with different content of PVC or starch fired at 1500 °C (during 5 h).]

curvas obtidas para aquelas com 30%. Tal característica pode ser um indicativo de que o processo de heterocoagulação tenha sido mais eficiente nas amostras com 50% e 70% de incorporador de poros, já que a aglomeração de partículas orgânicas pode levar a menor uniformidade na distribuição de tamanho de poros.

Como a viscosidade das suspensões apresenta uma estreita relação com as interações existentes entre as partículas [9], mediu-se a variação de viscosidade das

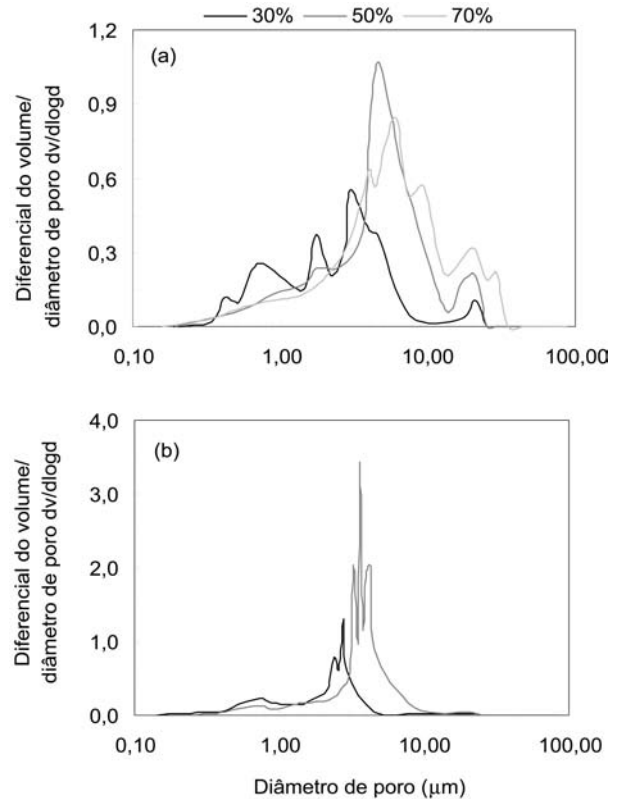


Figura 7: Distribuição de tamanho de poros das amostras preparadas com diferentes teores de (a) PVC ou (b) amido queimadas a 1500 °C por 5h. [Figure 7: Pore size distribution of samples with different contents of PVC (a) and starch (b) fired at 1500 °C during 5 h.]

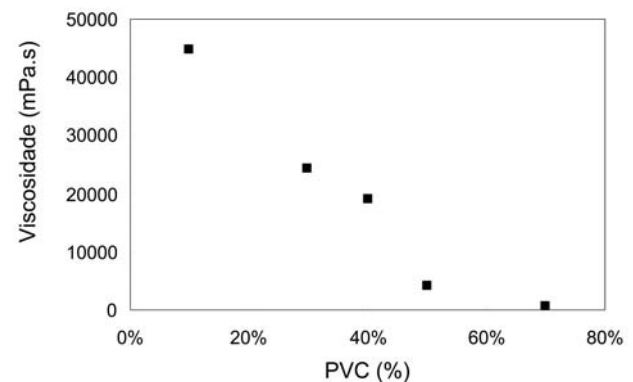


Figura 8: Viscosidade das suspensões preparadas com diferentes teores de PVC. [Figure 8: Viscosity of the suspensions prepared with different content of PVC.]

suspensões heterocoaguladas em função do teor do incorporador de poros, com o objetivo de verificar a hipótese levantada no parágrafo anterior. Em um sistema onde o processo de heterocoagulação ocorra de forma eficiente, todas as partículas orgânicas devem estar recobertas com partículas de alumina, resultando em uma suspensão heterocoagulada com baixa viscosidade devido o predomínio das cargas negativas da alumina. Os valores de viscosidade

obtidos para os diferentes teores de PVC são mostrados na Fig. 8. Observa-se que as misturas contendo 50% e 70% de PVC apresentam os menores valores de viscosidade. Estes resultados estão de acordo com a distribuição do tamanho dos poros, indicando que com esses teores de PVC o processo de heterocoagulação ocorreu de forma mais eficiente. Um comportamento semelhante foi observado para as misturas com diferentes teores de amido.

Comparação entre os resultados da caracterização dos corpos cerâmicos produzidos com e sem heterocoagulação

Como forma de avaliar se o processo de heterocoagulação possibilita a obtenção de corpos cerâmicos com propriedades superiores, foram medidas a porosidade e a resistência mecânica de amostras preparadas apenas com a mistura do incorporador de poros à suspensão cerâmica. Os resultados obtidos foram comparados àqueles discutidos na seção anterior.

Os resultados de porosidade são mostrados na Fig. 9. Nessa figura não se observa uma diferença significativa nos valores de porosidade nem entre as amostras obtidas com e sem o processo de heterocoagulação, nem considerando os dois tipos de incorporadores de poros. Esse resultado é coerente, já que a relação volumétrica porcentual de aditivos não variou para estas medidas. É importante mencionar que para os corpos contendo 50% de PVC, moldados sem o processo de heterocoagulação, não foi possível medir a resistência mecânica devido a um grande número de trincas observadas após a queima.

As medidas de resistência mecânica são mostradas na Fig. 10. Ao contrário dos valores de porosidade, a análise dessa figura deixa claro que os corpos produzidos por meio do processo de heterocoagulação apresentam resistência mecânica pelo menos duas vezes maior que os corpos obtidos pelo método convencional. Além disso, pode-se observar que os corpos produzidos com PVC têm resistência mecânica

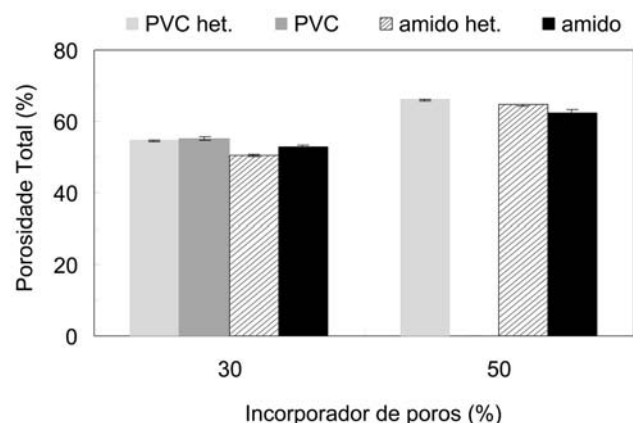


Figura 9: Porosidade total das amostras, preparadas com diferentes teores de PVC ou amido, queimadas a 1500 °C por 5h.
[Figure 9: Total porosity of samples with different content of PVC or starch fired at 1500 °C during 5 h.]

superior que aqueles com amido. Esse comportamento não foi completamente explorado e estudos complementares estão sendo realizados.

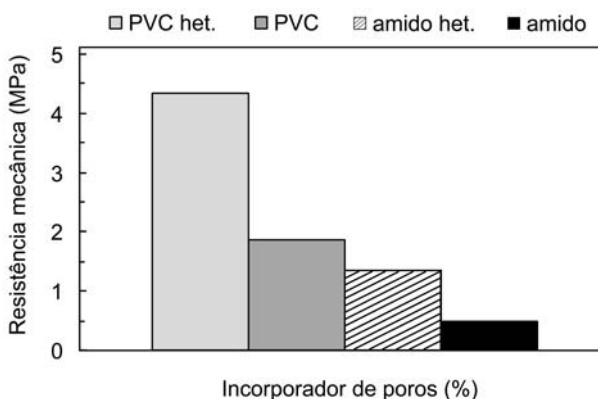


Figura 10: Resistência mecânica das amostras preparadas com 30 vol% de PVC ou amido e queimadas a 1500 °C por 5h.
[Figure 10: Mechanical strength of samples containing PVC or starch (30 vol.%) fired at 1500°C during 5 h.]

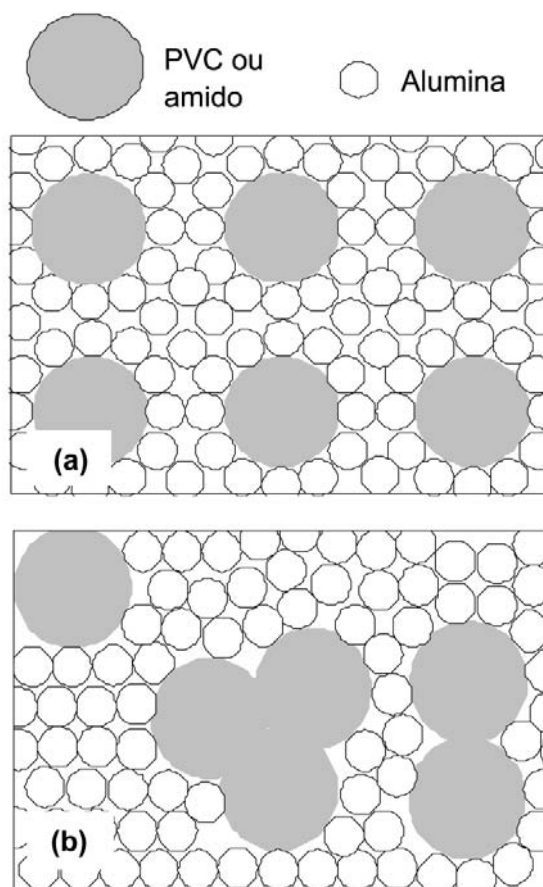


Figura 11: Representação esquemática da microestrutura das cerâmicas porosas com (a) e sem (b) heterocoagulação.
[Figure 11: Schematic representation of porous ceramics microstructure with (a) and without (b) heterocoagulation.]

Essa diferença apresentada para os valores de resistência mecânica entre as amostras com e sem heterocoagulação pode ser entendida considerando-se o grande número de trincas observadas nos corpos cerâmicos obtidos sem a adição do aditivo catiônico, após a queima. A presença dessas trincas pode ser atribuída ao inadequado recobrimento das partículas orgânicas pelas inorgânicas, o que resulta em uma menor uniformidade na microestrutura, que conseqüentemente diminui a resistência mecânica.

Essa falta de uniformidade na microestrutura ocorre quando os componentes são simplesmente misturados. Nesse caso, as partículas orgânicas não ficam individualizadas, mas formam aglomerados. Dessa maneira, apesar da quantidade de incorporador de poros permanecer constante, o diâmetro médio dos poros obtido após a queima, torna-se maior, como mostrado na Fig. 11. Como resultado, a porosidade medida permanece constante enquanto a resistência mecânica diminui.

Esses resultados, além de demonstrar que a resistência mecânica das amostras obtidas utilizando-se o processo de heterocoagulação foi superior às obtidas sem esse processo, são mais um indicativo de que a heterocoagulação ocorreu de maneira satisfatória.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse trabalho demonstraram a possibilidade de adaptar o conceito de heterocoagulação a um processo de obtenção de cerâmicas porosas para produção de peças com formato complexo e com grandes dimensões. A condição ótima para a obtenção do processo de heterocoagulação foi obtida ao dispersar os aditivos orgânicos com um surfactante catiônico do tipo quaternário de amônio com cadeia alquílica linear.

Os melhores resultados de porosidade e distribuição de tamanho de poros aliados à obtenção de amostras sem defeitos aparentes foram obtidos com a adição de 50% de material orgânico. Com relação às propriedades avaliadas, ambos os incorporadores de poros apresentaram valores similares de viscosidade da suspensão, de porosidade e

de distribuição de tamanho de poros, porém, as amostras produzidas com amido proporcionaram valores inferiores de resistência mecânica.

A comparação entre as propriedades das amostras preparadas com e sem o processo de heterocoagulação permitiu constatar que esse método pode fornecer corpos cerâmicos com resistência mecânica superior, para um mesmo valor de porosidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Almatix pelo fornecimento das matérias-primas e a FAPESP pelo suporte financeiro a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Dhara, P. Bhargava, *J. Am. Ceram. Soc.* **86**, 10 (2003) 1645.
- [2] W. D. Kingery, H. K. Bowen, D. R. Uhlmann, *Introduction to Ceramics*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York (1975) 627.
- [3] V. R. Salvini, M. D. M. Innocentini, V. C. Pandolfelli, *Am. Ceram. Soc. Bull.* **79**, 5 (2000) 49.
- [4] F. S. Ortega, P. A. S. Inostroza, V. C. Pandolfelli, *Cerâmica* **46**, 300 (2000) 225.
- [5] O. Lyckfeld, J. M. F. Ferreira, *J. Eur. Ceram. Soc.* **18** (1998) 131.
- [6] I. Thijs, J. Luyten, S. Mullens, *J. Am. Ceram. Soc.* **87**, 1 (2003) 170.
- [7] F. Tang, H. Fudouzi, Y. Sakka, *J. Am. Ceram. Soc.* **86**, 12 (2003) 2050.
- [8] F. Tang, H. Fudouzi, T. Uchikoshi, Y. Sakka, *J. Eur. Ceram. Soc.* **24** (2004) 341.
- [9] A. R. Studart, V. C. Pandolfelli, E. Tervoort, et. al. *J. Am. Ceram. Soc.* **85**, 11 (2002) 2711.
- [10] I. R. de Oliveira, A. R. Studart, R. G. Pileggi, V. C. Pandolfelli, *Dispersão e empacotamento de partículas - princípios e aplicações em processamento cerâmico*, Fazendo Arte Editorial, S. Paulo (2000) 23, 123.
(*Rec. 01/07/2005, Ac. 01/07/2005*)