

## Aproveitamento do resíduo de serragem de granito para fabricação de membranas cerâmicas de baixo custo

R. C. O. Lima\*, H. L. Lira, G. A. Neves, M. C. Silva, C. D. Silva

Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande

Avenida Aprígio Veloso, 882, CEP 58109-970, Campina Grande - Paraíba

(Recebido em 08/06/2011; revisado em 26/08/2011; aceito em 29/11/2011)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

### Resumo:

Membranas são estruturas delgadas que permitem a separação de fases de uma substância através do transporte de determinadas espécies químicas. As membranas cerâmicas apresentam diversas vantagens em relação às de outros materiais, destacando-se maior vida útil, maior facilidade de limpeza, estabilidade química e biológica e resistência a altas temperaturas e pressões, seu uso se limita, porém, pelo elevado custo de fabricação. A busca por matérias-primas mais viáveis economicamente é, portanto, necessária. Aliando as demandas de mercado às preocupações ambientais, este trabalho teve por objetivo o aproveitamento do resíduo de granito (RG) para obtenção de membranas cerâmicas tubulares de baixo custo. Inicialmente o resíduo granítico foi caracterizado através de análise granulométrica, análise química por fluorescência de raios X, e difração de raios X. As membranas produzidas com argila bentonita (35%), quartzo (35%) e resíduo de granito (30%) foram sinterizadas a temperaturas de 750, 800, 850 e 900°C e caracterizadas por micrografia eletrônica de varredura, porosimetria por intrusão de mercúrio e análise de fluxo tangencial com água deionizada. Os resultados mostraram que o resíduo de granito apresentou média distribuição de tamanho de partículas, com diâmetro médio dos grãos de 18,46 µm e elevados teores de sílica e alumina. As membranas apresentaram diâmetro médio dos poros na faixa entre micro e ultrafiltração e fluxo tangencial entre 10,0 e 20,0 L/h . m<sup>2</sup>.

**Palavras-chave:** Resíduo de granito; membranas cerâmicas; baixo custo.

### Abstract:

A prominent application of bentonites clays is to obtain organoclays for use in polymer nanocomposites. In Brazil, there are Membranes are thin structures that allow the phase separation of a substance through the transport of certain chemical species. Ceramic membranes present several advantages in relation to others materials, including longer lifetime, better clean facility, chemical and biological stability and high temperature and pressure resistance, its use is limited, however, by the high cost of fabrication. The search for raw materials of low cost is necessary. Combining the demands of the market with environmental concerns, the aim of this work is to make use of granite sawing residue to prepare tubular ceramic membranes of low cost. Firstly the granite residue was characterized by particle size distribution, chemical analysis by X-ray fluorescence and X-ray diffraction. The membranes were prepared with bentonite clay (35%), quartz (35%) and granite residue (30%) and sintering at temperatures of 750, 800, 850 and 900°C and characterized by scanning electron microscopy, mercury porosimetry and permeate water flux. The results showed that the granite residue present average particle size of 18.46µm and high content of silica and alumina. The membranes present average pore size between microfiltration and ultrafiltration and permeate water flux from 10.0 to 20.0 L/h.m<sup>2</sup>.

**Keywords:** Granite residue; ceramic membrane; low cost.

### 1. Introdução

O Brasil detém a maior parte das reservas mundiais de granito e ocupa a quinta posição no ranking mundial de extração e comercialização destas rochas ornamentais, a indústria de granito está ampla expansão e representa incrementos significativos na economia nacional [1]. Todavia

não se pode desconsiderar os problemas ambientais decorrentes desta atividade, em especial a geração de quantidades expressivas de resíduos os quais, em sua maior parte, são descartados de forma inadequada, levando a contaminação dos corpos hídricos e do solo, poluição atmosférica, desfiguração da paisagem e prejuízos à saúde. É necessário, portanto, buscar o gerenciamento adequado destes

\*Email: [rosacolima@yahoo.com.br](mailto:rosacolima@yahoo.com.br) (R. C. O. Lima)

resíduos, priorizando o uso de novas tecnologias de reutilização e reciclagem [2].

Os resíduos do beneficiamento de granito são basicamente de dois tipos: pedaços de pedras desperdiçadas por possuírem menor qualidade ou pouco valor comercial e o resíduo de granito (RG) também chamado lama granítica que se caracteriza como sendo a massa mineral resultante dos processos de serragem, polimento e corte. Esses resíduos não biodegradáveis são classificados de acordo com a norma ABNT NBR 10004/04 como resíduo classe IIIB – inerte e sem toxicidade [3]. Algumas características específicas do RG, como granulometria fina, composição química predefinida e a inexistência de grãos mistos entre os componentes básicos, favorecem seu aproveitamento e reciclagem na produção de materiais cerâmicos como tijolos, telhas, blocos de concreto, etc [4-6]. Não há, porém, registro na literatura de sua aplicação diretamente na fabricação de membranas cerâmicas.

Membranas são barreiras seletivas que permitem a separação de fases presentes numa substância [7]. Os processos de separação por membranas distinguem-se dos processos de separação convencionais pelo consumo relativamente baixo de energia e dispensar a adição de agentes químicos. As membranas têm sido empregadas em diversos setores tanto da indústria química, como na área médica, na indústria alimentícia e farmacêutica e no tratamento de efluentes industriais e municipais. As membranas mais difundidas comercialmente são as poliméricas, todavia nas últimas décadas o uso de membranas cerâmicas tem crescido.

As membranas cerâmicas destacam-se em relação às poliméricas por sua elevada estabilidade química e biológica, resistência a altas temperaturas e pressões, longa vida operacional e facilidade de manutenção e limpeza. Entretanto, como desvantagem apresenta elevado custo de fabricação, especialmente devido às matérias-primas serem importadas e sintéticas, como a alumina, zircônia, óxido de titânio, sílica, etc [8].

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de membranas cerâmicas de baixo custo a partir do aproveitamento do resíduo de serragem de granito.

## 2. Materiais e métodos

Foram empregados na fabricação das membranas cerâmicas tubulares os seguintes materiais, com suas respectivas proporções: argila bentonita, proveniente do município de Cubati-PB (35%); quartzo comercial proveniente de Alhandra-PB(35%) e resíduo de granito, cedido pela empresa Fuji S.A. localizada no distrito industrial de Campina Grande-PB (30%).

O resíduo de granito, após passar pelo filtro prensa foi exposto ao ar em temperatura ambiente para secagem natural. O material seco foi beneficiado em moinho de bolas de Alumina para minérios, tipo Bond, marca Marconi, modelo MA 701/21 e peneirado por via seca em peneira ABNT n° 200 (0,074 mm). O resíduo de granito foi caracterizado física e mineralógica por análise granulométrica (Cilas, 1064LD), análise química por fluorescência de raios X (Shimadzu EDX-

700) e difração de raios X (Shimadzu, XRD 6000). Em seguida a massa cerâmica, com as proporções indicadas foi preparada, homogeneizada e misturada com água (20%) e óleo lubrificante (3%) em misturador planetário, modelo BAM.12, (METVISA – Metalúrgica Visa Ltda).

As membranas cerâmicas foram conformadas em formato tubular em extrusora a vácuo, modelo 051 (Vérdes), e expostas a secagem natural por 5 dias, em seguida levadas a estufa a 65°C por 48h.

As membranas cerâmicas foram sinterizadas em forno elétrico (MAITEC) As taxas de aquecimento foram as seguintes: 5 °C/min, a partir da temperatura ambiente até 400 °C; 2 °C/min, de 400 °C até as temperaturas máximas de 750, 800, 850 e 900°C. Após a queima as membranas cerâmicas tubulares apresentaram as seguintes dimensões: 80 mm de comprimento e 7,3 mm de diâmetro interno e suas bordas foram impermeabilizadas no comprimento de 1,0 cm com resina epox para análise de fluxo (Figura 1).



Figura 1. Membranas cerâmicas tubulares sinterizadas a 750°C, 800°C, 850°C e 900°C

Por fim as membranas cerâmicas tubulares já sinterizadas foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (Shimadzu, modelo X550), porosimetria por intrusão de mercúrio (Micrométrica modelo IV-9500) e análise de fluxo tangencial com água deionizada (pH = 6,3 / Condutividade = 0,9 µMHO/cm). As medidas de fluxo foram realizadas com vazão de alimentação de 340L/h e pressão de 2 Bar.

Para a análise de fluxo tangencial foi montado um sistema de análise de fluxo, conforme esquema da Figura 2, com os seguinte itens:

- reservatório de água com capacidade máxima para 20 litros;
- bomba centrífuga, marca Procon, série 5, 1725 rpm, pressão máxima de 250 psi (17 bar), acionada por motor elétrico monofásico com potência de 1/2 CV,
- um reator de aço inoxidável, com vedações de anéis “o’ring”, para colocação da membrana cerâmica em seu interior;
- dois manômetros, com escalas de 0 a 14 Bar, para medir a pressão do fluxo de água no sistema;

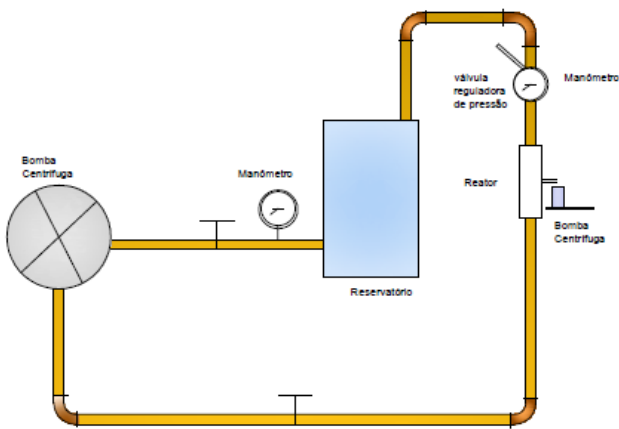


Figura 2: Esquema simplificado do sistema de Fluxo

Os valores de fluxo foram calculados utilizando a equação 1.

$$J = \frac{V}{t \times A} \quad (1)$$

onde:

- J = Fluxo permeado (L / h . m<sup>2</sup>)
- V = Volume permeado (L)
- t = tempo de coleta (h)
- A = área interna da membrana (m<sup>2</sup>)

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta a distribuição granulométrica das partículas do resíduo de granito.

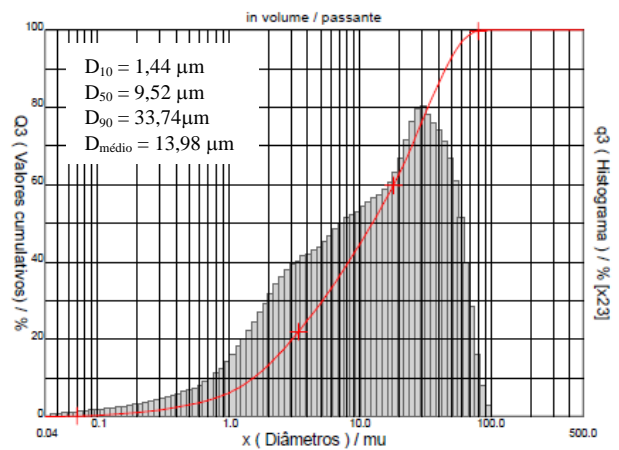


Figura 2. Distribuição granulométrica do resíduo de granito

A curva granulométrica da Figura 3 apresentou comportamento monomodal e média distribuição de tamanho de partículas, com D<sub>10</sub> de 1,44 µm, D<sub>50</sub> de 9,52 µm, D<sub>90</sub> de 33,74 µm e diâmetro médio de partículas de 13,98 µm. Estudos recentes mostraram que a morfologia dos grãos do resíduo de granito é irregular, com algumas superfícies arredondadas e outras com cantos angulosos [10]. A Tabela 1 apresenta a composição química do resíduo de granito, podendo-se perceber que trata-se de um material sílico aluminos. De acordo com a Tabela 1 o resíduo de granito apresentou além de elevados teores de sílica (59,60%) e alumina (15,31%), presença de óxidos de ferro (7,38%) e de cálcio (8,28%). O óxido de ferro e de cálcio encontrados foram provenientes provavelmente da granalha de ferro e da cal moída que são utilizadas nas etapas de corte e polimento de rochas graníticas [9].

A Tabela 1. Composição química do RSG

Composição Química (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Outros Óxidos
	59,60	15,31	3,71	1,37	7,38	8,28	2,44	0,88	1,02

A Figura 3 apresenta o difratograma do resíduo de granito, no qual se verificou a presença das seguintes fases mineralógicas: Ilita, Mica, Feldspato e Quartzo que são minerais predominantes na rocha granítica. Foi verificada também a presença de Paligorsquita, Caulinita e Alumina. Mica, a Ilita, Feldspato e o quartzo são minerais característicos do granito [9], a caulinita é oriunda do óxido de cálcio presente nas etapas de fabricação.

As Figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam as micrografias eletrônicas das seções transversais e longitudinais das membranas cerâmicas.

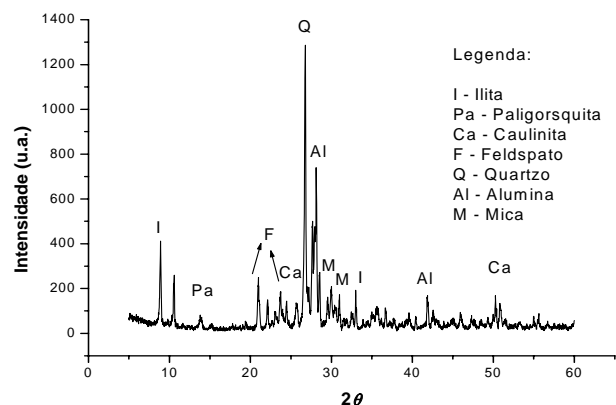


Figura 3. Difratograma de raios-X do resíduo de granito

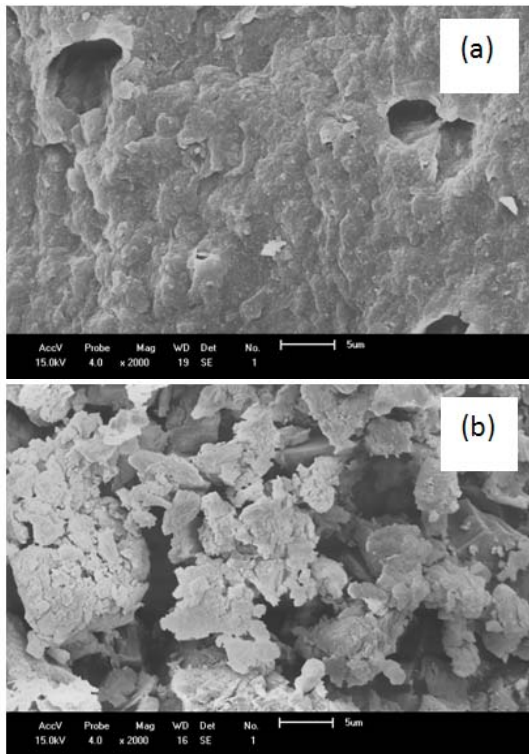


Figura 4. Micrografia eletrônica da seção longitudinal (a) e transversal (b) da membranas cerâmica sinterizada 750°C, com ampliação de 2000 x

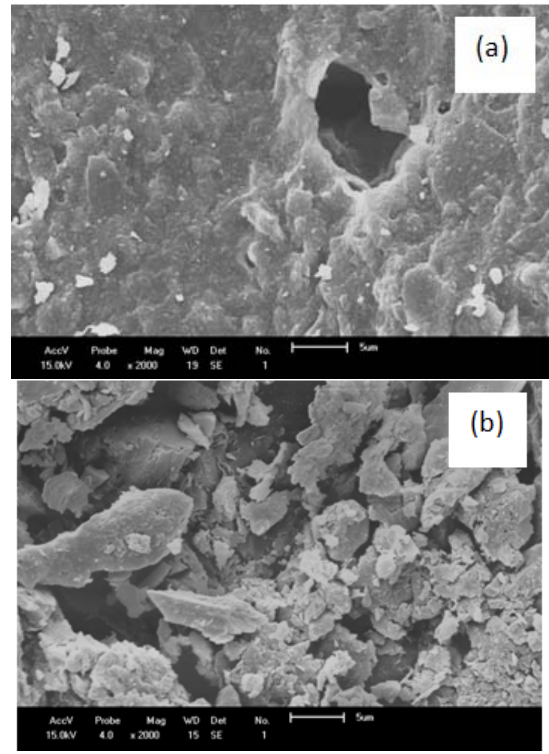


Figura 6. Micrografia eletrônica da seção longitudinal (a) e transversal (b) da membranas cerâmica sinterizada 850°C, com ampliação de 2000 x

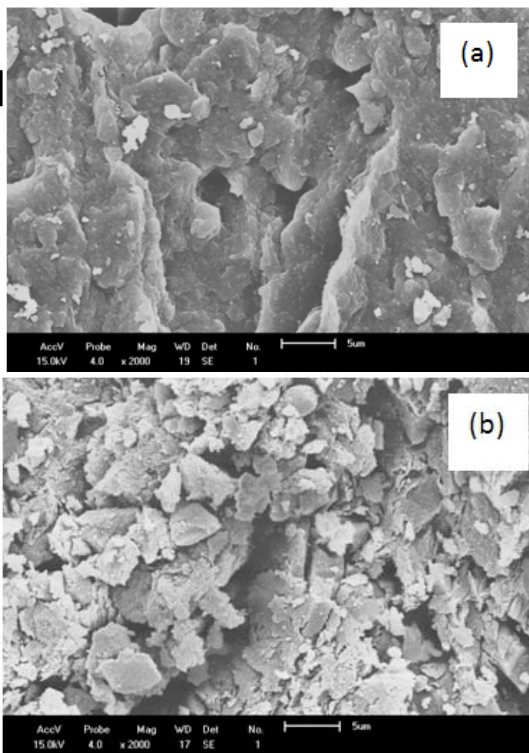


Figura 5. Micrografia eletrônica da seção longitudinal (a) e transversal (b) da membranas cerâmica sinterizada 800°C, com ampliação de 2000 x

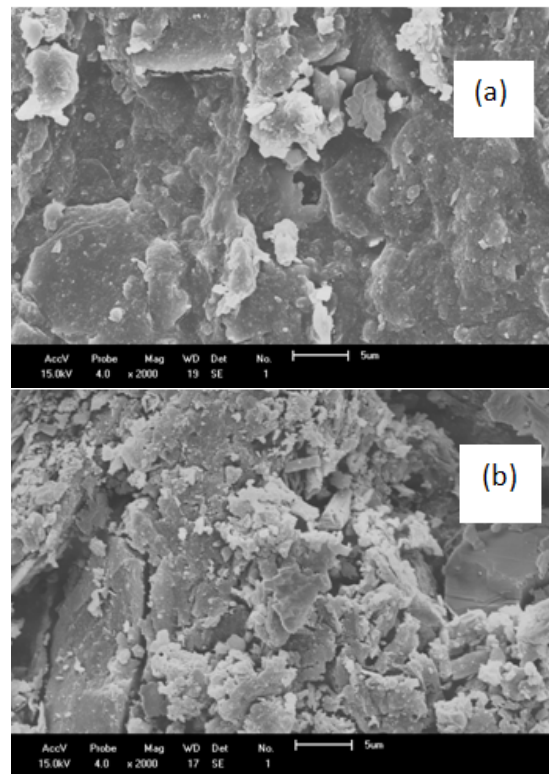


Figura 7. Micrografia eletrônica da seção longitudinal (a) e transversal (b) da membranas cerâmica sinterizada a 900°C, com ampliação de 2000 x

É possível verificar ausência de trincas e defeitos superficiais nas membranas. As imagens mostraram ainda a presença de poros nas seções transversais, todavia as micrografias não permitem, porém, estimar com precisão o tamanho dos poros.

A variação de diâmetro de poros das membranas cerâmicas em função do volume de intrusão de mercúrio acumulado para as quatro temperaturas de sinterização efetuadas, está apresentada na Figura 8 e o diâmetro médio

dos poros e a porosidade das membranas cerâmicas a cada temperatura de sinterização estão indicados na Tabela 2.

Observando a Figura 8 verificou-se que as membranas apresentaram comportamento semelhante em todas as temperaturas de sinterização estudadas, sendo que o volume de intrusão de mercúrio foi maior para as temperaturas mais elevadas. A distribuição de tamanho dos poros não é uniforme, com comportamento bimodal.

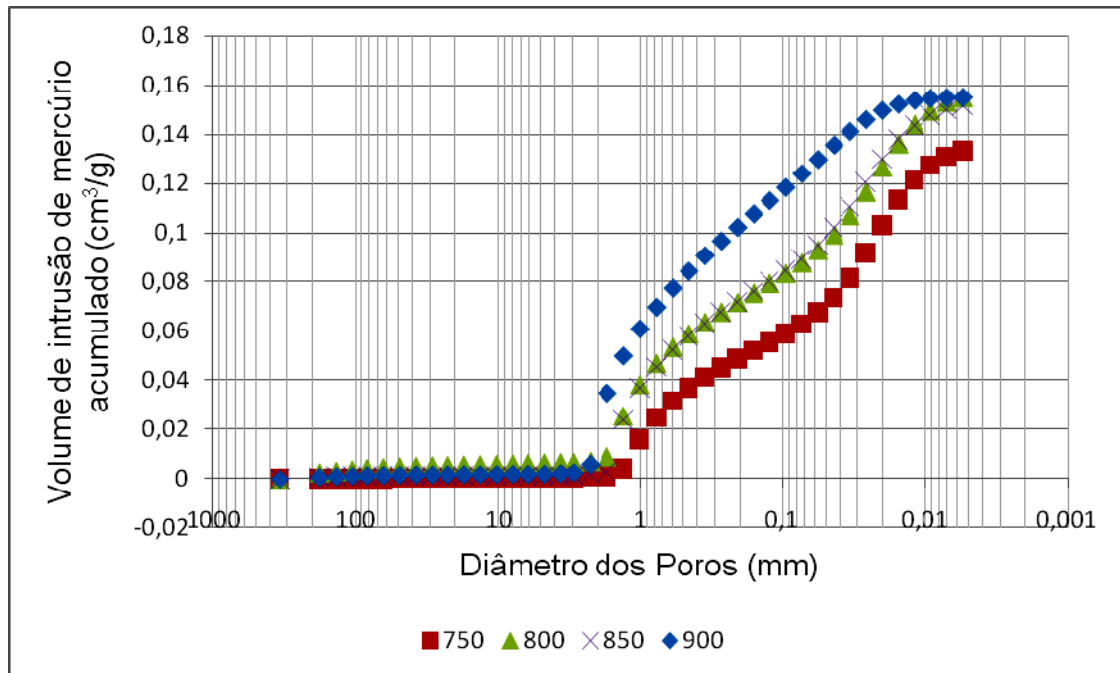


Figura 8. Variação do diâmetro dos poros em função do volume de intrusão de mercúrio acumulado nas membranas

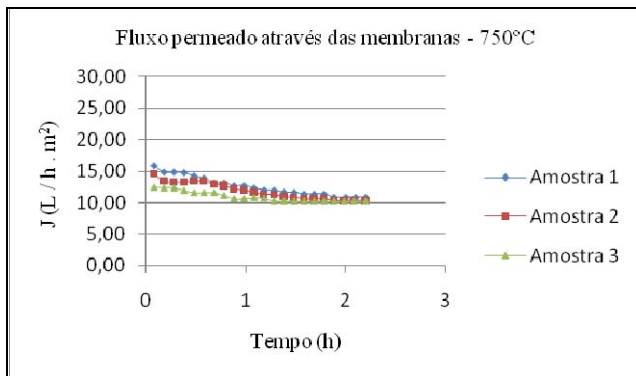
Tabela 2. Diâmetro médio dos poros e porosidade das membranas cerâmicas

Temperatura de Sinterização (°C)	750	800	850	900
Diâmetro médio dos poros ( $\mu\text{m}$ )	0,06	0,14	0,16	0,59
Porosidade (%)	17,76	29,05	28,39	28,87

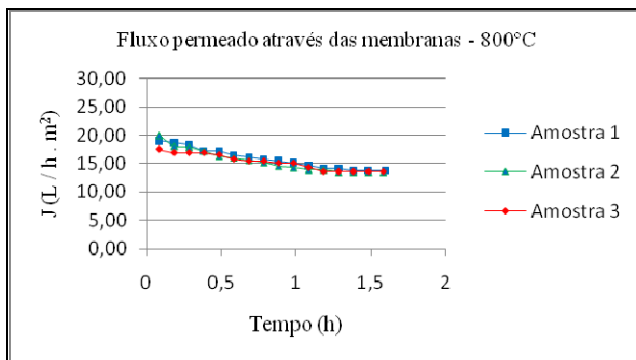
De acordo com a Tabela 3, as membranas apresentaram diâmetro médio de poros na faixa de microfiltração e ultrafiltração, variando de  $0,06\mu\text{m}$  a  $0,59\mu\text{m}$ . Verificou-se ainda que o diâmetro médio dos poros aumentou sensivelmente com o aumento da temperatura de sinterização, devido, provavelmente ao escoamento da fase líquida formada, preenchendo os poros menores e aumentando os poros maiores [11]. A porosidade manteve-se em torno de 28%.

Os resultados das medidas de fluxo tangencial de água deionizada através das membranas estão apresentados na Figura 8.

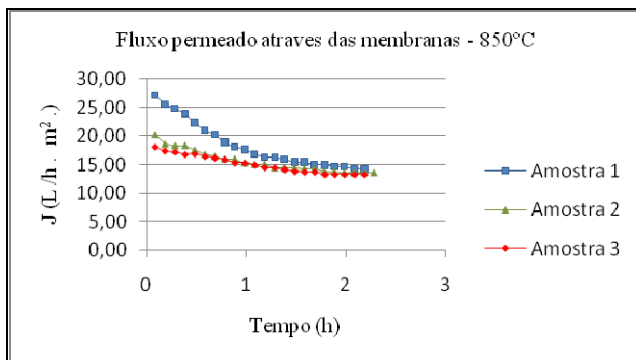
A partir dos gráficos da Figura 9 verificou-se que o fluxo permeado aumentou significativamente com o aumento da temperatura de sinterização, devido o aumento do diâmetro médio dos poros, conforme verificado na Tabela 2. As membranas obtiveram a estabilização do fluxo em tempos que variaram de 1,5 h a 3,0 h, evidenciando que foram obtidas diferentes estruturas nas membranas. Utilizando a pressão de  $2,0\text{ Kgf/cm}^2$  foram obtidos fluxos entre  $10,0\text{ L/h.m}^2$  para as membranas sinterizadas a  $750^\circ\text{C}$  e de  $20,0\text{ L/h.m}^2$  para as membranas sinterizadas a  $900^\circ\text{C}$ .



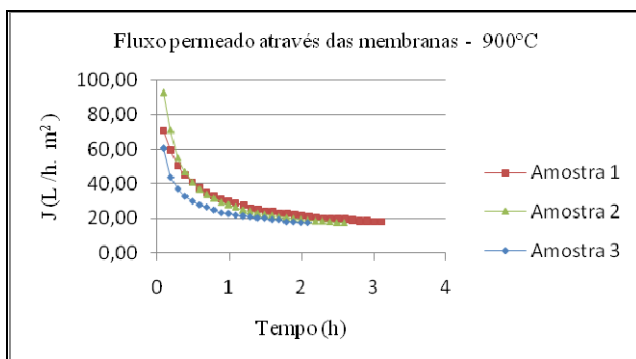
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7. Fluxo de água deionizada permeado através das membranas cerâmicas sinterizadas respectivamente a (a) 750°C, (b) 800°C, (c) 850°C e (d) 900°C

#### 4. Conclusões

A partir do estudo do aproveitamento de resíduo de granito na fabricação de membranas cerâmicas concluiu-se que:

- Através da análise química é possível indicar que o resíduo de granito possui composição sílico-aluminosa;
  - As principais fases mineralógicas presentes no resíduo de granito foram: Ilita, Mica, Feldspato e Quartzo, Paligorsquita, Caulinita e Alumina,
  - As membranas apresentaram diâmetro médio dos poros na faixa de micro e ultrafiltração, variando de 0,06  $\mu\text{m}$  a 0,59  $\mu\text{m}$ .
  - As membranas que apresentaram maior fluxo permeado com água deionizada foram as membranas sinterizadas a 900°C.
  - O diâmetro médio dos poros e o fluxo permeado através das membranas aumentaram com o aumento da temperatura de sinterização,
- As membranas cerâmicas produzidas com resíduo de granito apresentaram potencialidade de uso em processos de micro e ultrafiltração.

#### Referências

- [1] Menezes, R. R., Ferreira, H. S., Neves, G. A., Ferreira, H. C., *Uso do rejeito de granito como matérias-primas cerâmicas*, Cerâmica, vol.48, n.306, 92-101, 2002.
- [2] Prezotti, J. C. S. et al. *Concepção de um sistema de gerenciamento de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais*. In: I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. Guarapari, ES. 2004.
- [3] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004
- [4] Lima, R. C. O., Neves, G. A., Carvalho, J. B. Q., *Aproveitamento do resíduo de serragem de granito em paredes monolíticas de solo-cimento*. In: Simpósio de Engenharia de Produção. Bauru-SP. 2010
- [5] Feitosa, A. O. *Utilização do resíduo de serragem de granito para uso em blocos de concreto sem função estrutural*. Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Paraíba – Campus II. Campina Grande. 2004.
- [6] Lima, R. C. O., Neves, G. A., Carvalho, J. B. Q., *Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito*. REMAP, vol. 5, n. 2, 24-25, 2010.
- [7] Habert, A. C.; Borges C. P.; Nobrega R. *Processos de Separação por Membranas*. Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2006.
- [8] Lima, R. C. O., Lira, H. L., Neves, G. A., Silva, C. D., *Desenvolvimento de Membranas cerâmicas de baixo custo para tratamento de efluentes*. In: 55º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Porto de Galinhas – PE. 2011.
- [9] Mota, J. D., Oliveira, D. F., Lima, R. C. O., *Reciclagem do resíduo proveniente da serragem de granito na confecção de tijolos de solo-cimento*. In: I Congresso Paraibano de Gestão do Lixo. Campina Grande – PB. 2009.

- [10] Menezes, R. R., Almeida, R. R., Santana, L. N. L., Neves, G. A. Neves, Lira, H. L., Ferreira, H. C., Análise da co-utilização do resíduo do beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. *Cerâmica* Vol. 53, 192-199, 2007.
- [11] Silva, F. A., Desenvolvimento de Membranas Cerâmicas Tubulares a Partir de Matérias-Primas Regionais para Processo de Microfiltração. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB. 2009.