

Estudo da formação de poros em estrutura de vidro reciclado e sinterizado pela adição de Cloreto de Sódio (NaCl) possibilitando o desenvolvimento de um meio filtrante

Ramon Soltovski (UTFPR) ramonsoltovski@outlook.com
Willian Mamoru Kawamoto (UTFPR) mamorukawamoto@gmail.com

Resumo:

O trabalho tem como objetivo o estudo da formação de poros em estrutura de vidro sinterizado a partir da adição de Cloreto de Sódio (NaCl) possibilitando o desenvolvimento de um meio filtrante. O processo de sinterização do vidro acontece à temperaturas abaixo da temperatura de fusão do vidro em um fenômeno de superfície. Quando o vidro é moído e passa pelo processo de sinterização este produz um componente poroso porém com poros isolados. A adição de Cloreto de Sódio tem como objetivo a formação de mais poros, isto pode levar a conexão dos mesmos. Para a formação destes poros através do referido sal, é realizada uma mistura entre o Cloreto de Sódio e vidro moído que é levada ao processo de sinterização e posteriormente é realizada a remoção do Cloreto de Sódio pela lavagem do vidro sinterizado. A partir desta lavagem os espaços vazios deixados pelas partículas de sal tornam-se os novos poros. Os poros obtidos por este processo foram observados em microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura (MEV) para constatação da formação dos mesmos. Assim, foi possível desenvolver poros na estrutura sinterizada do vidro possibilitando a formação de uma meio filtrante que foi testado por uma análise de absorção de água.

Palavras chave: Sinterização, Porosimetria, vidro.

Study of pore formation in recycled and sintered glass structure by the addition of Sodium Chloride (NaCl) allowing the development of a filter material

Abstract

This study aims, the formation of pores in sintered glass structures by addition of Sodium Chloride (NaCl), allowing the development filter material. The sintering process of glass occurs at temperatures below the glass melting temperature in a surface phenomenon. When the glass is ground and passes through the sintering process it produces a porous component but with isolated pores. The addition of Sodium Chloride aims at form more pores which can lead to the connection of them. For the formation of these pores through sad salt, a mixture is made with Sodium Chloride and ground glass which is brought to the sintering process and thereafter is made the removal of the salt by washing the sintering glass. From this washing the void left by the salt particles become the new pores. The pores obtained by this process were observed in optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM) to verify the formation of them. Thus, it was possible to developed pores in the sintering structure of the glass allowing the formation of the filter material which was tested by a water absorption analysis.

Key-words: Sintering, Porosimetry, glass.

1. Introdução

Materiais porosos estão presentes no nosso cotidiano em todos os níveis. Desde processos biológicos internos ao nosso corpo e de outros animais, passando por produtos utilizados dentro da rotina comum de uma casa até processos industriais de grande escala. E quando falamos de processos com valor econômico agregado a importância da utilização de materiais porosos de baixo custo e baixo impacto ambiental é cada vez mais importante.

Um material com propriedades porosas é o vidro sinterizado. Este material é feito a partir do processo de sinterização que acontece quando se submete partículas de vidro moído em contato físico a temperaturas menores que o ponto de fusão do vidro, mas suficientemente altas para fundar superficialmente estas partículas. Assim, os espaçamentos entre as partículas se tornam os poros da estrutura final. Porém, os poros desta estrutura tendem a ser fechados e não conectados.

É possível criar mais poros de diferentes tamanhos com adição de cloretos de sódio antes de submeter o pó de vidro ao processo de sinterização. Isto acontece quando após o processo de sinterização remove-se o sal da estrutura através de uma lavagem. Portanto, os espaços que antes eram ocupados pelas partículas de sal tornam-se poros. Estes poros desenvolvidos a partir da adição do sal podem criar conexões entre os poros originais possibilitando transformar a estrutura final em um meio filtrante como as membranas.

A utilização do vidro para este experimento possui uma vantagem, pois pode ser feita com vidro reciclado. Assim, este fato vem de encontro ao fator econômico e ambiental, pois possibilita criar um material poroso de baixo custo e baixo impacto ambiental.

Portanto o presente trabalho tem o objetivo de estudar a formação de poros pela adição de cloreto de sódio (NaCl) ao pó de vidro reciclado com posterior sinterização e remoção deste sal.

2. Métodos

2.1. Produção do pó de vidro

O primeiro passo para o desenvolvimento do experimento é a produção do pó de vidro reciclado. Para isto, foram coletadas garrafas de vidro transparente do tipo sodo-cálcico, as quais são o tipo mais comum de vidro e de fácil acesso tendo sua composição básica, de acordo com a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro (ABIVIDRO), de aproximadamente 60% - 74% de sílica, 12% - 18% de óxido de sódio (Na_2O) e 5% - 12% de óxido de cálcio (CaO), podendo também conter pequenas quantidades de outros componentes como, óxido de magnésio (MgO), potássio (P) e alumínio (Al).

As garrafas de vidro foram lavadas, secas, e então fragmentadas manualmente até um tamanho de partículas suficiente para que sejam processadas num moinho de bolas. Após isso, essas partículas foram transferidas para um moinho de bolas Servitech modelo CT 240/A para fazer a moagem à partículas ainda menores. As bolas utilizadas para esta moagem são compostas de alumina.

Para o melhor aproveitamento do moinho, este trabalhou com um volume de carga de 35%, o qual foi dividido em 20% de bolas de alumina, e 30% de volume em amostra, com uma rotação de 36 rpm. Foi feito também um acompanhamento a cada 2 horas para amostragem do pó.

2.2. Peneiramento

A distribuição do tamanho das partículas de vidro moídas foi feita através de uma mesa vibratória Vibrotech CT-025 na qual foram acopladas peneiras com Mesh de 32, 80, 170, 200 e 270. Após o peneiramento, foram escolhidas as partículas na faixa de tamanho entre 0,090 e 0,075mm retidas na peneira de 200 Mesh. Esta faixa de tamanho foi escolhida devido à maior homogeneização de tamanho das mesmas.

2.3. Adição de Sal

Nesta etapa foi adicionada ao pó de vidro uma fase não sinterizável como agente formador de poros. A fase não sinterizável foi o cloreto de sódio (NaCl) adicionado à uma proporção de 20% relativo ao pó de vidro. O tamanho das partículas de NaCl foi com uma distribuição de tamanho menor que 75µm de diâmetro. Depois de adicionado o sal, uma homogeneização manual em um recipiente é feita para encaminhar à próxima etapa.

2.4. Compactação

Sendo feito o peneiramento e adicionado o cloreto de sódio (NaCl) ao pó de vidro, foram compactadas algumas amostras em uma prensa hidráulica manual Servitech modelo CT 320. Este processo foi feito para se obter amostrar manuseáveis e facilitar o processo de sinterização.

A compactação então foi realizada numa matriz com uma área de compactação de 317 mm² utilizando uma porção de aproximadamente 1,5g da mistura de pó de vidro e NaCl, em 3 diferentes pressões de compactação: 108 MPa, 123 MPa e 139 MPa.

Foram então feitas 5 amostras com cada pressão de compactação.

2.5. Sinterização do pó

Sendo feita a compactação das amostras da mistura de pó de vidro e NaCl, estas foram levadas para o forno tipo mufla Jung modelo 0612. As amostras então foram aquecidas até temperatura de sinterização do vidro, entre 700 e 750 °C, à uma taxa de aquecimento de 10°C/min, mantendo-as por aproximadamente 1h nesta temperatura. Após sinterizadas, as amostras foram resfriadas no próprio forno até a temperatura ambiente.

Antes do processo de remoção do sal da estrutura, foi separada uma amostra produzida com cada pressão de compactação para análise da secção transversal.

2.6. Remoção do sal

As 4 amostras restantes de cada pressão de compactação já sinterizadas e resfriadas, foram fervidas em um volume de água de 250 ml cada amostra, em recipientes separados durante um período de 4 horas. Este período de tempo foi dividido em duas parcelas de 2h, sendo necessária a completa secagem das amostras entre estas duas fervuras. Esse processo tende a remover as partículas de sal pela dissolução do sal na água.

A eficiência da remoção do sal também foi quantificada pela seguinte relação:

$$\varepsilon = \frac{tr}{t} \times 100 \quad (2.1)$$

Em que,

tr = porcentagem média de massa removida depois da fervura

t = porcentagem de massa de sal adicionada relativo à massa de pó de vidro.

As amostras separadas para análise da secção transversal também foram levadas para remoção de sal, porém apenas metade de cada uma foi submetida a esse processo deixando a outra metade com sal em sua estrutura com intuito de comparação das amostras.

2.7. Resumo do processo

A sequência básica para o processo de produção das amostras, esta resumido na imagem abaixo:

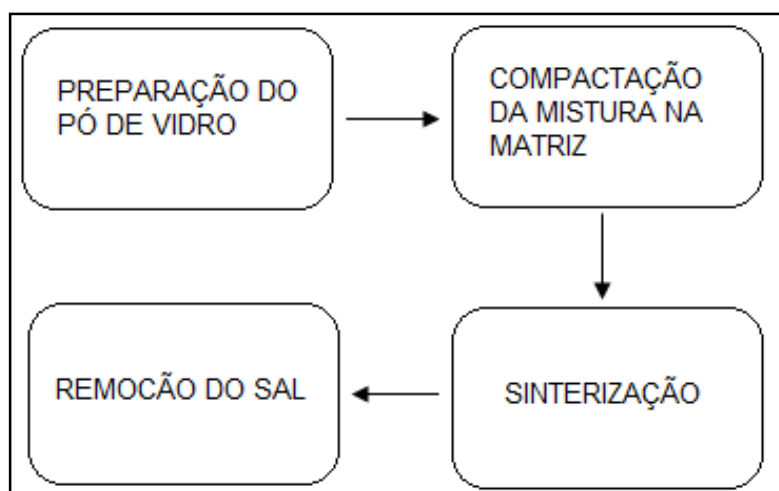


Figura 1 - Resumo do processo

2.7. Análise microscópica

Após o processo de remoção do sal, as amostras seccionadas foram levadas a uma análise em um microscópio ótico Olympus BX 61 e também em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) TESCAN VEGA3. Esta análise tem como intuito, observar morfológicamente a formação dos poros no interior das amostras.

2.8. Análise de absorção de água

As amostras, depois de sinterizadas e sem a presença de sal em sua estrutura, foram levadas para determinação da massa úmida e massa seca. A determinação da massa úmida foi feita deixando a amostra em imersão por 24h para inundar os poros sendo posteriormente seca superficialmente com pano úmido e finalmente medida. A massa seca foi apenas medida com a amostra seca em estufa.

Com estes dados de massa obtidos, foi possível analisar quantitativamente a absorção de água que é definida como o ganho percentual de massa adquirido pela amostra quando absorve o máximo de água. Este fator foi calculado pela seguinte relação:

$$AA = \frac{mu - ms}{ms} \times 100 \quad (2.2)$$

Onde, mu é a massa úmida em gramas, g é a gravidade em m/s^2 e ms é a massa seca em gramas.

3. Resultados

3.1. Processamento do pó de vidro

A distribuição de tamanho de partículas de vidro peneiradas após o processo de moagem e posterior peneiramento é mostrada na Tabela 1

Mesh	Peso do pó (g)	Percentual (%)
32	320,71	27,53
80	373,31	32,05
170	276,00	23,70
200	166,43	14,29
270	24,03	2,06
Fundo	4,24	0,36
Total	1164,72	

Fonte: Autoria própria

Tabela 1 – Distribuição do tamanho de partícula de vidro moído

Como já mencionado, a faixa de tamanho de partículas utilizada foi a entre 0,090 e 0,075mm que ficaram retidas na peneira de 200 mesh. Isto foi devido ao fato de ser uma faixa com boa homogeneidade das partículas.

Quanto ao o número de peneiras e o tamanho de abertura, os seguintes critérios foram escolhidos: uma boa distribuição de partículas, remoção das partículas muito grossas e remoção de partículas muito finas.

3.2. Preparação do pó de vidro

Utilizando-se das partículas retidas na peneira de 200 Mesh, foi adicionado NaCl com partículas menores que 75 μ m à uma quantidade de 20% em massa.

O tamanho de partícula para o NaCl de 75 μ m foi selecionado devido as condições climáticas que mantinham o ar muito úmido, aglomerando as partículas muito pequenas do sal em blocos muito grades, impossibilitando o peneiramento mais fino. Feita a adição do sal ao pó de vidro, a mistura foi homogeneizada manualmente em um recipiente.

3.3. Compactação da mistura de pó de vidro e sal (NaCl)

Foram compactadas 5 amostras para cada pressão de compactação (108 MPa, 123 MPa e 139 MPa). Os dados das amostras logo após esta compactação anterior ao processo de sinterização (amostras à verde) estão dispostos abaixo:

Pressão de compactação (MPa)	Massa (g)	Espessura (mm)
108	1,44	2,90
	1,44	3,00
	1,54	3,10
	1,40	2,90
	1,52	3,10
Média	4,24	3,00
123	1,40	2,78
	1,50	3,14
	1,41	2,86
	1,43	3,00
	1,43	2,90
Média	1,43	3,00

Continua

Pressão de compactação (MPa)	Massa (g)	Espessura (mm)
139	1,47	2,96
	1,51	3,05
	1,43	2,80
	1,40	2,96
	1,55	3,14
Média	1,47	2,98

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 – Dados das amostras à verde.

Pode-se observar que as espessuras das amostras se mantiveram em uma tamanho de aproximadamente a 3mm devido ao fato de se utilizar também quantidade de massa aproximadamente iguais. As pequenas flutuações nestes valores foram devido ao manuseio do material o qual é muito frágil.

3.4. Sinterização das amostras compactadas

O forno foi regulado e a temperatura de sinterização de 700°C foi mantida durante um período previsto de 1h e a taxa de aquecimento em 10°C/min. Logo após a sinterização as amostras foram identificadas e analisadas gerando os seguintes dados:

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa (g)	Espessura (mm)
108	1	1,38	2,52
	2	1,40	2,56
	3	1,52	2,82
	4	1,42	2,62
	5	1,49	2,76
	Média	1,44	2,66
123	1	1,41	2,52
	2	1,38	2,42
	3	1,39	2,56
	4	1,47	2,72
	5	1,41	2,66
	Média	1,41	2,58
139	1	1,49	2,72
	2	1,53	2,86
	3	1,45	2,60
	4	1,40	2,56
	5	1,45	2,70
	Média	1,46	2,69

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 – Dados das amostras sinterizadas.

Pode-se observar que a pressão de compactação não influenciou de forma significativa a espessura das amostras. De forma geral, este fator ocorreu devido à quantidade em massa da mistura de vidro moído e Cloreto de Sódio ser pequena assim seria necessário uma pressão mais expressiva para levar a afetar esta variável.

Vale ressaltar também que, após sinterizadas, uma amostra de cada pressão de compactação foi separada para uma análise da secção transversal das mesmas. Com estas amostras seccionadas foi possível observar os resultados em seu interior.

3.5. Remoção do sal

Após a fervuras das 4 amostras restantes, uma análise foi realizada para se identificar a quantidade de massa removida neste processo. Assim, as medidas das massas das amostras estão dispostas na seguinte tabela:

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa antes da fervura (g)	Massa depois da fervura (g)	Diferença das massa (g)	Porcentagem de massa removida (%)
108	1	1,38	1,12	0,26	18,55
	2	1,40	1,14	0,26	18,44
	3	1,52	1,24	0,28	18,15
	4	1,42	1,15	0,27	18,73
	Média	1,43	1,16	0,26	18,46
123	1	1,41	1,14	0,26	18,72
	2	1,38	1,12	0,26	18,89
	3	1,39	1,12	0,26	18,98
	4	1,47	1,19	0,28	19,27
	Média	1,41	1,14	0,27	18,97
139	1	1,49	1,21	0,28	18,68
	2	1,53	1,24	0,29	18,90
	3	1,45	1,18	0,27	18,45
	4	1,40	1,14	0,26	18,80
	Média	1,47	1,19	0,27	18,71

Fonte: Autoria própria

Tabela 4 – Dados comparativos antes e depois da fervura das amostras sinterizadas.

Utilizando os dados referentes às porcentagens de massa removida e considerando que todas as amostras continham exatamente 20% de cloreto de sódio em suas estruturas, foi calculada a eficiência deste processo de eliminação com período de fervura de 4h. Para isso, utilizamos a relação (2.1) com os valores das médias das massas de cada pressão de compactação destacadas na Tabela 4 acima.

Como todas as amostras tiveram uma porcentagem de massa removida próxima a 20 % é possível prever que a eficiência de remoção terá valores próximos a 90%.

Portanto temos que, as eficiências calculadas foram de 92,3%, 94,85% e 93,56% para as pressões de compactação de 108 MPa, 123 MPa e 139 MPa, respectivamente.

Assim, nota-se que as taxas de remoção de massa de cada pressão de compactação tiveram variações pouco expressivas quando comparadas entre si. Isso indica que a pressão de compactação não influencia na remoção do Cloreto de Sódio.

3.6. Análise microscópica

As amostras destinadas à secção transversal foram levadas para análise em microscopia ótica. As duas metades de cada amostra, tanto as quais ainda possuíam sal em sua estrutura quanto as outras que passaram pelo processo de remoção, foram micrografadas em suas áreas de secção com ampliação de 250 vezes.

Analisando as amostras em microscópio pôde-se notar poros na estrutura das amostras que passaram pelo processo de remoção, e as metades que ainda possuíam sal em sua estrutura mostraram-se fechadas e sem poros.

Os poros encontrados podem ser observados na figura 2 abaixo:

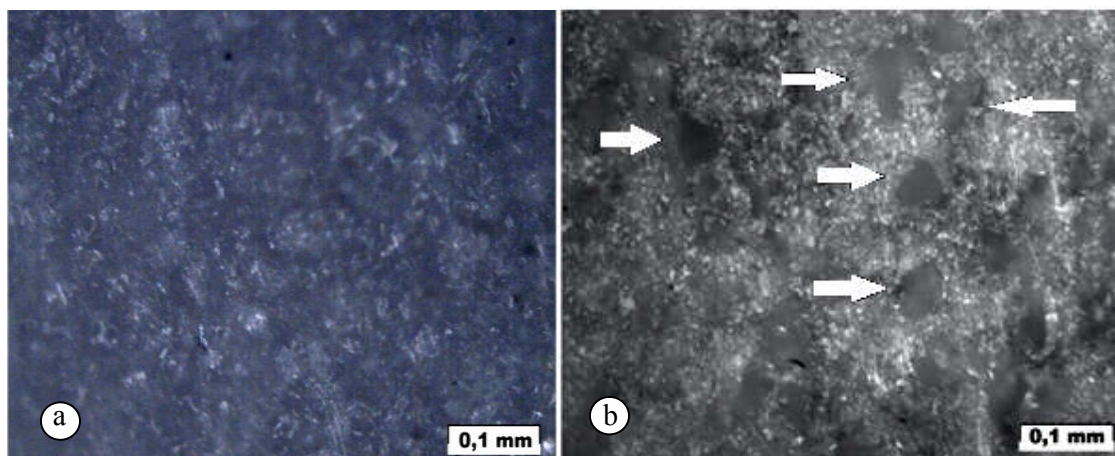


Figura 2 - Micrografias do microscópio ótico para membrana seccionada produzida com pressão de compactação de 139 MPa. Formação de poros depois da remoção do sal: (a) secção antes da remoção do sal; (b) secção depois da remoção do sal com demarcação dos poros.

A formação de poros ocorreu em todas as amostras independentemente da pressão de compactação. Tendo em vista este resultado, as amostras foram levadas para uma análise mais aprofundada em micrografias de varredura pelo MEV como mostrado na Figura 3.

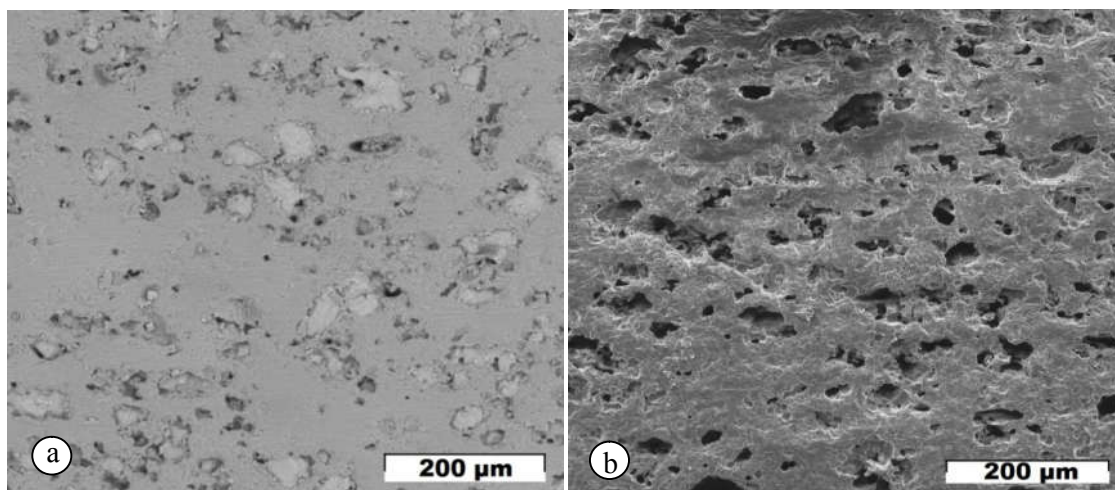


Figura 3 - Micrografias (MEV) para membrana seccionada produzida com pressão de compactação de 108 MPa. Aspectos de remoção de sal: (a) secção antes da remoção do sal; (b) secção após a remoção do sal.

Pode-se observar pela Figura 3 acima a presença de cloreto de sódio envolto pela estrutura formada a partir da sinterização do vidro na Figura 3 (a). Na figura 3 (b) é possível observar a grande quantidade de poros depois do processo de remoção. Estas imagens mostram claramente a formação de poros na estrutura pela remoção do sal. Além disso, foi possível perceber que os poros são conectados.

Um efeito observado nas micrografias de varredura foi o efeito de delaminação do pó compactado. Este fenômeno acontece quando a pressão de compactação de um pó é suficientemente alta para causar lâminas na estruturas. Assim, este caso de delaminação aconteceu principalmente nas amostras que foram produzidas com pressão de compactação de maior magnitude 123 MPa e 139 MPa. As amostras produzidas com pressão de compactação de 108 MPa não apresentaram este efeito.

A delaminação das amostras pode ser melhor observada numa micrografia de varredura comparativa representada pela Figura 4.

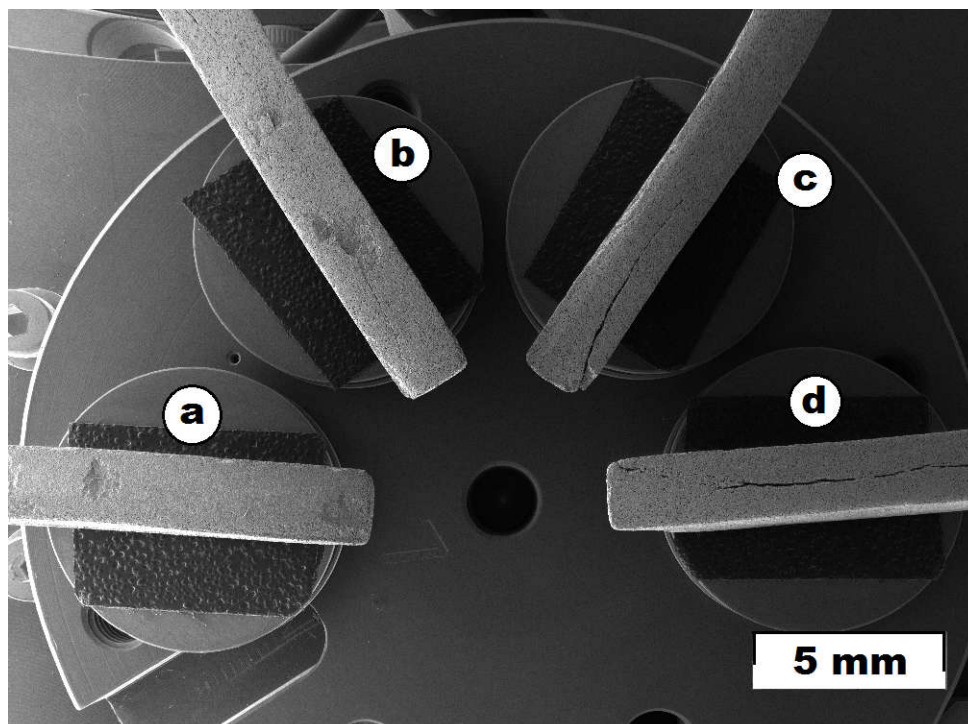


Figura 4 – Imagem obtido pelo MEV. Amostras seccionadas em suporte padrão para análise no MEV: (a) Amostra produzida com 108 MPa de pressão de compactação antes da remoção do sal; (b) Amostra produzida com 108 MPa de pressão de compactação depois da remoção do sal; (c) Amostra produzida com 123 MPa de pressão de compactação depois da remoção do sal; (d) Amostra produzida com 139 MPa de pressão de compactação depois da remoção do sal.

Observa-se então pela figura acima que as amostras produzidas com maior magnitude apresentaram rachaduras devido ao efeito descrito.

3.7. Absorção de água

Os valores obtidos para a massa úmida e massa seca das amostras necessárias para o cálculo da absorção de água juntamente com os resultados para estes cálculos, estão dispostos na Tabela 5.

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa seca (g)	Massa Úmida (g)	Absorção de água (%)
108	1	1,12	0,58	6,89
	2	1,14	0,58	
	3	1,24	0,63	
	4	1,15	0,59	
	Média	1,16	0,60	
123	1	1,14	0,59	7,89
	2	1,12	0,57	
	3	1,12	0,57	
	4	1,19	0,61	
	Média	1,14	0,59	

Continua

Pressão de compactação (MPa)	Identificação	Massa seca (g)	Massa Úmida (g)	Absorção de água (%)
139	1	1,21	0,63	7,56
	2	1,24	0,63	
	3	1,18	0,60	
	4	1,14	0,58	
Média		1,19	0,61	

Fonte: Autoria própria

Tabela 5 – Dados de absorção de água das amostras sinterizadas após a remoção do Core to de Sódio.

Para cada pressão de compactação, o cálculo da absorção de água foi feito utilizando-se a equação 2.1. Os dados utilizados para estes cálculos foram realizados com as médias aritméticas dos valores obtidos para as massas (destacados na Tabela 5).

Estes dados comprovam a conexão dos poros, pois houve a penetração de águas no interior das amostras.

Os resultados destes cálculos também revelam que a absorção de água foi ligeiramente maior nas pressões de compactação com maior magnitude. Entretanto, esperava-se que estes valores diminuíssem à medida que as pressões de compactação fossem aumentando, visto que com este aumento os poros naturais ficariam menores e mais fechados. Estes valores podem ser explicados pelo efeito de delaminação (apresentado no tópico 3.6) que produziu fendas no interior das amostras. Estas fendas podem ter influenciado na quantidade de água penetrante nas amostras, acarretando em aumento dos dados calculados de absorção de água. Como os casos de delaminação aconteceram nas amostras produzidas com as duas pressões de maior magnitude, os valores de absorção de água foram maiores que os valores das amostras produzidas com 108 Mpa.

4. Discussão

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a possibilidade de formação de poros pela adição de Cloreto de Sódio em estrutura de vidro reciclado e sinterizado viabilizando a formação de uma meio filtrante.

Com base nos dados obtidos é possível estabelecer algumas considerações. Primeiramente, as partículas de Cloreto de Sódio realmente atuam como formadores de poros. Este fato pode ser observado claramente nas análises de microscopia eletrônica de varredura.

O processo de remoção de sal por fervura das membranas proposto também foi muito efetivo levando a eficiências de remoção de 92,3, 94,85 e 93,56%.

As pressões de compactação utilizadas neste processo de produção, não influenciaram de forma efetiva na formação de poros e remoção de sal. Porém, as pressões de compactação de maior magnitude geraram o efeito de delaminação das amostras podendo comprometer uma posterior utilização das amostras em processos filtrantes.

Assim, podemos concluir que o processo de produção de poros pelo modelo proposto é praticável. É possível, também, a formação de um meio filtrante através dos experimentos propostos, pois os poros produzidos tratam-se de espaços conectados comprovados pelo teste de absorção de água.

Estes dados abrem espaço para novas pesquisas levando ao estudo da real utilização da estrutura produzida em processos de filtração. Além disso, algumas variáveis podem levar a estudos mais aprofundados como pressão de compactação, tamanho das partículas de sal, tamanho das partículas de vidro e temperatura de sinterização.

Referências

- ALBARO, J.L Amorós.** *A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial: Descrição da Etapa de Prensagem.* Cerâmica Industrial, São Paulo, v. 6, n. 3, p.26-32, jun. 2001.
- ALVES, Oswaldo Luiz; GIMENEZ, Iara de Fátima; MAZALI, Italo Odone.** *Vidros. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola,* Campinas, p.1-24, maio 2001.
- ASSIS, O.B.G.** *O uso de vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração.* Embrapa Instrumentação Agrupercuária. Cerâmica 52, p. 105-113. S.Carlos, SP: 2006.
- CALLISTER, Jr William D.** *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.* Quinta edição. LTC Editora. Rio de Janeiro: 2000.
- CREMASCO, M.A.** *Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos.* São Paulo. Blucher, 2012.
- CUNHA, Lauren da. et al.** *Aplicação de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros.* 2003. 15 f. Curso de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- DEDAVID, Berenice Anina; GOMES, Carmem Isse; MACHADO, Giovanna.** *Microscopia Eletrônica de Varredura: Aplicações e preparação de amostras.* Porto Alegre: Edipucrs, 2007.
- GERMAN, R. M.** *Powder Metallurgy Science.* Metal Powder Industries Federation Princeton, NY, 1984.
- GERMAN, R. M.** *Liquid Phase Sintering.* Rensselaer Polytechnic Institute. Troy, NY, 1985.
- GERMAN, Rendall M.; MESSING, Gary L.; CORNWALL, Robert G. (Ed.).** *Sintering Technology.* New York: Marcel Dekker, Inc, 1996.
- KANG, Suk-joong L.** *Sintering: Densification, Grain Growth & Microstructure.* London: Elsevier, 2005.
- MELO Jr, Priamo Alburquerque (Editor).** *Fronteiras da Engenharia Química I.* Rio de Janeiro: E-papers Serviços editoriais, 2005.
- OLIVEIRA, Renata de Freitas.** *Uma Revisão dos Princípios de Funcionamento e Métodos de Dimensionamento de Moinhos de Bolas.* 2012. 60 f. Monografia - Curso de Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- PAPINI, Claudemir Jose.** *Estudo Comparativo de métodos de Determinação do Tamanho de Partícula.* 2003. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências na Área da Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2003.
- PORTO, Paulo Alves; QUEIROZ, Salete Linhares.** *Química Nova na Escola.* São Paulo: Instituto de Química da Usp, 2016.
- REIS, Raphael MideaCuccovia Vasconcelos.** *Avaliação de Modelos de Sinterização por Fluxo Viscoso e Determinação da Taxa de Crescimento de Cristais e Fração Cristalizada em Vidros.* 2012. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.
- RICHERSON, David W.** *Modern Ceramic Engineering: properties, processing, and use in design. Second Edition .* New York: Marcel Dekker Inc, 1992.
- SIEBERS, F. B., GREIULICH, N., KIEFER, W.** *Manufacture, properties and application of open-pore sintered glasses and open-pore sintered glass-ceramics.* Glstech. Ber. V. 62, n.2, p.63-73, Dezembro, 1988.
- SMITH, William F.; HASHEMI, Javad.** *Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais.* Porto Alegre: Amgh, 2010.
- VIEIRA, Délia do Carmo.** *Fabricação de elementos vítreos porosos para o depósito de polímeros visando a obtenção de membranas com superfícies ativas.* 2002. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.