

Permeabilidade de não tecidos como medida de eficiência em filtração de particulados

Por Me. Luciano Ceron, Dr^a Sandra Einloft, Dr^a Rosane Ligabue e Dr^a Jandyra Fachel

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de filtração (frio e quente) de três tipos de não tecidos por permeabilidade. As amostras usadas foram de poliimida aromática (PI), poliéster (PES) e poliacrilonitrila copolímero (PAN) que passaram por ensaios de simulação de filtração em aparelho ETS, usando material particulado de polietileno de baixa densidade (PEBD) com tamanho médio de 1,3 μm .

Permeabilidade

A permeabilidade é uma medida macroscópica que indica a maior ou menor facilidade com que um fluido submetido a um gradiente de pressão percola os vazios em um meio poroso. Portanto, uma adequada descrição de permeabilidade deve, combinar aspectos do fluido, da estrutura porosa e do escoamento (FREITAS; MANEIRO; CORY, 2003). O escoamento do fluido gera uma perda de carga de energia, refletida na forma de queda de pressão ao longo do meio poroso. A permeabilidade pode ser determinada na Equação 1, conhecida como equação de Forchheimer para fluidos compressíveis, onde a queda de pressão descreve uma dependência não linear com a velocidade do fluido (INNOCENTINI, 1997).

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu \cdot v}{K_1} + \frac{\rho \cdot v^2}{K_2} \quad (1)$$

Sendo ΔP a variação de pressão absoluta antes e depois do filtro, μ e ρ , a viscosidade e a densidade do fluido, L , a espessura do meio e v a velocidade superficial do gás. Os parâmetros K_1 e K_2 são as permeabilidades darciana e não darciana. O primeiro

termo da Equação (1) representa a contribuição das forças viscosas sobre a queda de pressão, causada pelo atrito entre as moléculas do fluido e pelo atrito entre o fluido e o meio poroso. O segundo termo representa as forças inerciais, causadas pela turbulência do fluido escoante e/ou pela tortuosidade do meio poroso.

A permeabilidade é um dos principais controles em aplicações envolvendo a filtração, pois esta propriedade é reduzida pelo depósito de pó residual. Isso leva a uma variação nos valores entre a permeabilidade do tecido limpo e depois de uso, que é refletida na forma de queda de pressão ao longo do meio poroso (FREITAS et al., 2002). Idealmente, o filtro deveria remover o máximo de impurezas com a mínima resistência ao fluido de arraste. Nas aplicações com não tecidos, baixas permeabilidades implicam em baixas taxas de filtração, o que não é economicamente vantajoso para o processo (INNOCENTINI et al., 2009; MOREIRA; CORY, 2004).

Perda de carga

A queda de pressão ou perda de carga é uma importante variável de projeto, que descreve a resistência que enfrenta o fluxo de gás ao passar pelo filtro. É determinada pela diferença de pressão entre dois pontos do filtro, medido na entrada e na saída, após ser filtrado pelo meio filtrante (LO et al., 2010). O aumento da perda de carga do sistema ocorre à proporção que as partículas são depositadas, determinando a frequência de limpeza no filtro cartucho. Portanto, afeta o tempo de vida do tecido (RODRIGUES, 2006). O tempo de saturação do tecido depende da permeabilidade do têxtil, do

tamanho das partículas e da velocidade de filtração (CALLÉ et al., 2002; SALEEM; KRAMMER, 2007). Nos filtros coletores de pó a perda de carga do tecido limpo apresenta um comportamento não linear com o tempo. Esse comportamento é resultante da compressibilidade da torta e a pressão máxima de operação tende a linearizar após a formação da torta, conforme mostra a Figura 1 (FREITAS, 2003; MELLO, 2007). O aumento da espessura da torta resulta em um acréscimo da perda de carga do sistema, tornando necessária a limpeza periódica do filtro para remover a mesma e manter a perda de carga em níveis adequados de operação (ROCHA, 2010).

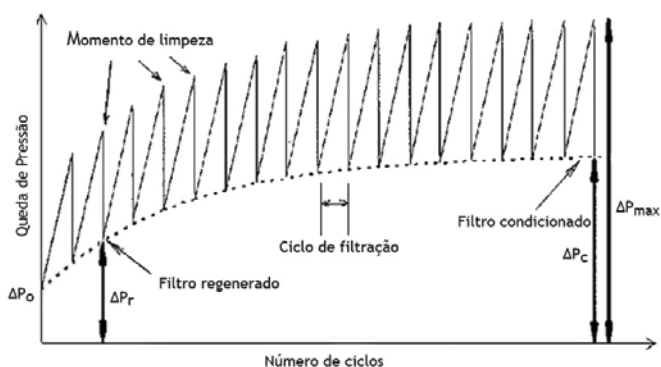


Figura 1 - Perda de carga e ciclos de limpeza

O grau de regeneração nos dá uma ideia do momento em que o processo de filtração/limpeza alcança o estado estacionário. Sendo bastante útil na comparação entre elementos filtrantes distintos (FREITAS, 2003). Para avaliar o grau de regeneração (R) do meio filtrante, quanto as suas características iniciais, reportam a Equação 2.

$$R(\%) = \frac{\Delta P_{\max} - \Delta P_r}{\Delta P_{\max} - \Delta P_o} \times 100 \quad (2)$$

Onde: ΔP_{\max} é a queda de pressão máxima imediatamente antes da limpeza, ΔP_r é a queda de pressão residual e ΔP_o é a queda de pressão do filtro virgem. Existem diferentes equações para descrever a queda de pressão durante a filtração. Uma delas é a aproximação cumulativa, onde se divide a queda de pressão total no filtro em duas partes: a queda de pressão no meio filtrante (ΔP_m) e a queda de pressão devido a torta de filtração formada (ΔP_c). Desta maneira, tem-se a Equação 3.

$$\Delta P_T = \Delta P_m + \Delta P_c \quad (3)$$

A lei de Darcy pode ser usada para descrever a queda de pressão através de um meio filtrante e

da torta de filtração, quando a filtração é conduzida a baixos valores de número de Reynolds. Desta maneira, a Equação 4 é então denominada equação da filtração.

$$\Delta P_T = K_m \cdot v + K_c \cdot v \cdot W \quad (4)$$

Onde:

ΔP_T - pressão total no filtro;

K_m - resistência específica do meio filtrante;

K_c - resistência específica da torta;

v - velocidade superficial do gás;

W - massa de pó depositada por unidade de área.

Metodologia

Microscopia Eletrônica de Varredura

Neste trabalho a morfologia dos materiais é de extrema importância para compreender as propriedades observadas nos ensaios. Utilizou-se a análise por MEV para a caracterização da fibra dos não tecidos. Foi realizado no Centro de Microscopia Eletrônica da PUCRS em um equipamento de microscopia eletrônica de varredura Philips, modelo XL 30, com tensão de aceleração de 20 kV. O preparo inicial dos corpos-de-prova foi realizado em metalizadora Bal-Tec, modelo SCD 005, por metalização com ouro nas amostras de não tecidos. Os parâmetros de construção dos não tecidos, diâmetro das fibras e distância entre fibras, foram analisadas com o auxílio do software Image J, para calcular a média e o desvio padrão.

Simulador de filtração

O equipamento Simulador de Filtragem ETS - modelo GmbH (Figura 2), controla o tempo de filtração, número de ciclos de filtração, pressão residual média, temperatura do gás, massa total retida e massa total passante. O gás utilizado foi ar comprimido normal e aquecido em duas corridas distintas, para medir a influência térmica na filtração dos particulados menores que $2,5 \mu m$. Para cada tipo de não tecido foram utilizados cinco corpos de prova em cada variação da velocidade de limpeza. As variáveis controladas foram:

- Taxa de alimentação de pó: 0,03 g/s;
- Velocidade do pulso de entrada de particulado: 8,3 cm/s;
- Velocidade do pulso de limpeza: 7, 12 e 17 cm/s;
- Temperatura do gás a frio: $25 \pm 1^\circ C$ (para todos os tipos de não tecidos);
- Temperatura do gás a quente: $115 \pm 1^\circ C$ para a PAN, $150 \pm 1^\circ C$ para o PES e $240 \pm 1^\circ C$ para a PI.

O ensaio seguiu a norma ASTM D6830-02 - Método padrão para caracterizar a queda de pressão e desempenho de filtragem em meio filtrante - Filtração Seca. A filtração e as condições de limpeza

foram adaptadas a partir do método alemão VDI/DIN 3926, para simular as condições que prevalecem nas operações reais de filtração.

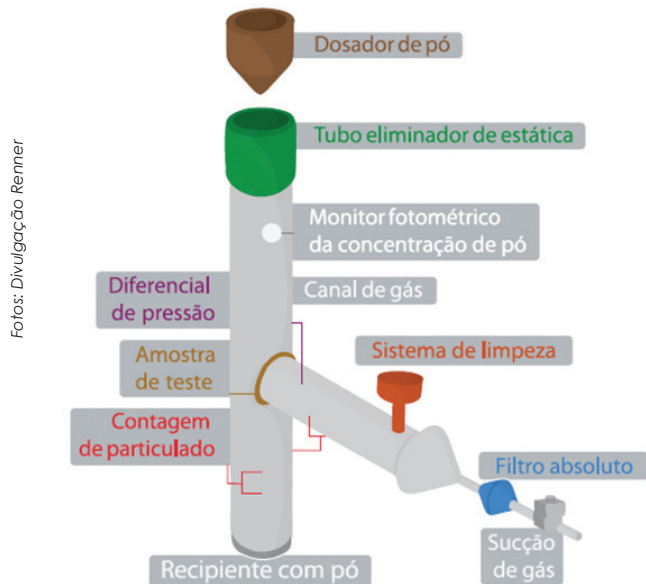


Figura 2 - Partes do simulador de filtração

Ensaio de permeabilidade

A determinação da permeabilidade foi realizada em Permeabilímetro Karl Schroder KG, modelo 6940 Weinheim (Figura 3). O método consiste em colocar amostra no orifício de fluxo do equipamento, ajustar a pressão constante de 20 mm de coluna d'água em aparelho Gauge, modelo DPF-15E e ligar o temporizador digital para análise por 30 segun-



Figura 3 - Permeabilímetro

dos. O resultado da permeabilidade é medida em manômetro pelo fluxo de ar ($L/min.dm^2$) que atravessa o não tecido. O ar é gerado em aspirador Arno Papa-P6, modelo APAC de 700 W, com fluxo invertido, levado por mangueira até o aparelho. Foi usada como referência a norma NBR 13706:1996 - Não tecido - Determinação da permeabilidade ao ar.

Resultados e discussão Caracterização dos materiais

Os resultados da caracterização de construção dos três tipos de não tecidos de PAN, PES e PI, confeccionados com fibras longas, são apresentados na Tabela 1.

Especificação dos Têxteis	PAN	PES	PI
Contextura	Feltro Agulhado		
Identificação	AC 350	PE 350	PI 350
Gramatura (g/m^2)	355 ± 3	348 ± 4	352 ± 3
Espessura (mm)	$2,0 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$
Permeabilidade ($L/min.dm^2$)	345 ± 3	408 ± 5	253 ± 2
Diâmetro médio linear de fibras (μm)	22 ± 3	21 ± 4	16 ± 4
Distância transversal entre fibras (μm)	47 ± 11	45 ± 12	30 ± 9
Distância longitudinal entre fibras (μm)	58 ± 10	61 ± 11	32 ± 11
Formato transversal da fibra	circular	circular	multilobal

Tabela 1 - Resultados de caracterização dos não tecidos

Observa-se pelos dados da Tabela 1 que a confecção do não tecido de PI contém fibras com diâmetros menores e estruturas mais fechadas, portanto, com menor permeabilidade no meio filtrante. Para os não tecidos de PAN e PES construídos com fibras mais abertas no sentido transversal e longitudinal, comparados a PI, contribuem para uma permeabilidade maior nestes materiais que facilita o fluxo de gases entre as fibras.

Permeabilidade

Os resultados de permeabilidade nos ensaios de simulação de filtração em não tecidos de PAN, PES e PI e sua redução percentual em relação ao material limpo são apresentados na Tabela 2 e Figura 4. Os resultados para PI apresentaram a menor variação de permeabilidade em relação ao material limpo, com 3,2% (frio e 17 cm/s) e 4,3% (quente e 17 cm/s), refletindo em baixa perda de carga ao final do ensaio de filtração. Conforme os estudos

Variáveis		PAN		PES		PI	
Temperatura	Limpeza	Permeabilidade					
	cm/s	L/min.dm ²	Red.%	L/min.dm ²	Red.%	L/min.dm ²	Red.%
Frio	7	265 ± 5	23,2	257 ± 7	37,0	228 ± 6	9,8
	12	286 ± 4	17,1	280 ± 4	31,3	236 ± 4	6,7
	17	327 ± 6	5,2	308 ± 6	24,5	245 ± 4	3,2
Quente	7	255 ± 8	26,1	248 ± 7	39,2	224 ± 4	11,5
	12	278 ± 6	19,4	273 ± 6	33,1	230 ± 1	9,1
	17	277 ± 7	19,4	295 ± 8	27,7	242 ± 3	4,3

Frio: 25±1°C para todos não tecidos.
Quente: 115±1°C para PAN, 150±1°C para PES e 240±1°C para PI.

Tabela 2 - Resultados de permeabilidade e redução % após o teste de simulação

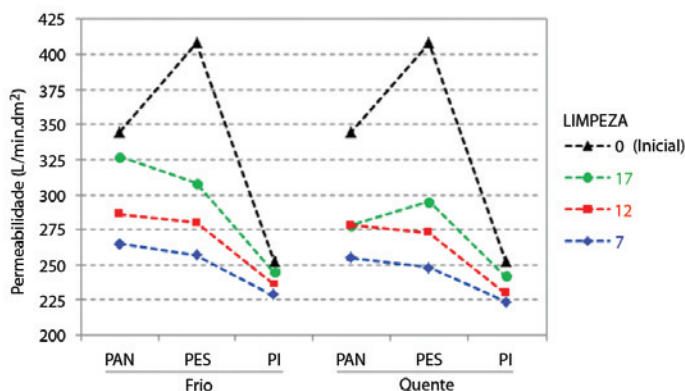


Figura 4 - Variação da permeabilidade ao final da simulação de filtração

de Rud et al. (2007), concluíram que meios filtrantes com menor porosidade superficial alojam um menor número de partículas no seu interior. Esta conclusão foi verificada nas medidas de caracterização dos têxteis, onde a PI têm menores distâncias transversais e longitudinais entre as fibras, portanto, facilitando a deposição e retirada dos particulados quando da limpeza por jato de ar. Outra característica, que contribui favorável para a baixa permeabilidade é o formato multilobal da fibra de PI, com maior área de contato entre fibra/partícula, comparado aos formatos circulares das fibras de PAN e PES.

Os resultados para PAN e PES mostram maior redução percentual em relação à permeabilidade inicial, respectivamente de 26,1% e 39,2% a quente e com velocidade de 7 cm/s. Num primeiro momento poder-se-ia correlacionar esta condição ao maior

acúmulo de particulados sobre os corpos de prova, porém isso não ocorreu. Os dados de retenção de massa de particulados apresentou maior deposição em massa para a PI. Portanto, conclui-se que a maior perda percentual de permeabilidade para a PAN e PES é devida a facilidade de deposição inicial de particulados finos no interior do não tecido, pois a maior distância entre as fibras (poros maiores) facilita o rápido saturamento pela filtração em profundidade, portanto maior perda de carga no sistema. Os estudos de Tognetti (2007) com a PAN e PES também apresentou um período maior de filtração interna, comparado a outros materiais, devido às diferenças de maior porosidade, obtendo maior resistência à permeabilidade ao ar.

Conclusões

Embora os melhores resultados de permeabilidade com não tecidos tenham sido conseguidos a frio (25°C), estes não são representativos, ocorrem somente no começo da filtração, pois a condição a quente é a utilizada em processos industriais para a filtração de particulados de polietileno de baixa densidade. Portanto, a filtração a quente apresentou menor eficiência de filtração para os três tipos de não tecidos estudados.

O efeito da temperatura elevada e pressão elevada, afeta respectivamente a viscosidade dos gases e a permeabilidade do meio filtrante, principalmente para o mecanismo de impactação inercial em não tecidos. Desta forma, os melhores resultados foram obtidos na simulação de filtração com a PI realizada a 240°C, onde a viscosidade dos gases (μ) aumentou e a permeabilidade darciana (K1) diminui, termos vistos na Equação 1, como forças viscosas da equação de Forchheimer. Estas condições conjugadas elevam a variação de pressão do sistema e diminuem a eficiência de filtração com o passar do tempo. **RMF**

Ver referências bibliográficas em nosso site: www.meiofiltrante.com.br



Me. Luciano Peske Ceron

Engenheiro Químico (PUCRS), Doutorado Engenharia de Materiais (PUCRS), Mestre Engenharia de Materiais (polímeros/não tecidos - PUCRS), Especializações em Gestão Ambiental (GAMA FILHÓ) e Gestão Empresarial (UFRGS). Tem experiência nas áreas: petroquímica (polipropileno, polipropileno aditivado, PET, borracha sintética, etil-benzeno), têxtil (fabricação de não tecidos, mangas filtrantes, palmilhas, persianas de não tecidos e plásticas em PVC), calçados, papel e celulose, tratamento de água e efluentes, tecnologia da informação, logística por software e professor.

Tel.: (51) 9972-6534 / Ceron.Luciano@gmail.com