

Alta performance de filtração dos particulados de cimento com uso de microfibras em não tecidos de poliéster**High performance of filtering of cement particulates using microfibers in non-polyester tissues**

Recebimento dos originais: 20/03/2019

Aceitação para publicação: 30/04/2019

Luciano Peske Ceron

Doutor em Engenharia e Tecnologia de Materiais pela PUCRS

Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Politécnica, Engenharia Química

Endereço: Av. Ipiranga 6681 – Laboratório de Processos Ambientais (LAPA) – 90610-970 – Porto Alegre – RS

E-mail: luciano.ceron@pucrs.br

Camilla Ferro Callil Nascimento

Graduanda em Engenharia Química pela PUCRS

Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Politécnica, Engenharia Química

Endereço: Av. Ipiranga 6681 – Laboratório de Processos Ambientais (LAPA) – 90610-970 – Porto Alegre – RS

E-mail: camilla.callil@gmail.com

Harumi Suwa Bressan

Graduanda em Engenharia Química pela PUCRS

Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Politécnica, Engenharia Química

Endereço: Av. Ipiranga 6681 – Laboratório de Processos Ambientais (LAPA) – 90610-970 – Porto Alegre – RS

E-mail: harubres@gmail.com

Mariana Giacobbo Lang

Graduanda em Engenharia Química pela PUCRS

Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Politécnica, Engenharia Química

Endereço: Av. Ipiranga 6681 – Laboratório de Processos Ambientais (LAPA) – 90610-970 – Porto Alegre – RS

E-mail: marianalang03@gmail.com

Thiago Rospide Kaercher

Graduando em Engenharia Química pela PUCRS

Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola Politécnica, Engenharia Química

Endereço: Av. Ipiranga 6681 – Laboratório de Processos Ambientais (LAPA) – 90610-970 – Porto Alegre – RS

E-mail: thiago@kaercher.com.br

RESUMO

Neste artigo foram avaliados cinco tipos de não tecidos de poliéster fabricados com diferentes filamentos de fibras. Variou-se o dtex na construção do material com microfibras para aplicação como elemento filtrante na filtração de particulados de até 1µm. Avaliou-se o efeito do número de filamentos nas propriedades de não tecidos com gramatura de 550 g/m², em função da espessura, permeabilidade, tração, alongamento e taxa de emissão de particulados. Os resultados experimentais revelaram que a diminuição do número de dtex na construção de não tecidos, conseqüentemente diminui a espessura e permeabilidade do material. Pelo contraste, ocorre o aumento da tração e alongamento, pois o número de filamentos na secção transversal dos fios de enchimento aumenta. A taxa de emissão de pó diminui consideravelmente, pois o uso de microfibras na construção do não tecido aumenta a retenção de pó.

Palavras-chave:Filtração. Microfibras. Não tecido. Poliéster. Particulados.

ABSTRACT

In this paper, five types of polyester nonwoven fabrics manufactured with different fiber filaments were evaluated. The dtex was used in the construction of the microfibre material for application as a filter element in the filtration of particulates up to 1µm. The effect of the number of filaments on the properties of nonwoven weighing 550 g/m², as a function of the thickness, permeability, traction, elongation and emission rate of particulates was evaluated. The experimental results revealed that the decrease in the number of dtex in the nonwoven construction, consequently decreases the thickness and permeability of the material. By contrast, tensile increase and elongation occur because the number of filaments in the cross section of the filler yarns increases. The rate of dust emission decreases considerably, as the use of microfibers in the construction of the nonwoven increases the retention of dust.

Keywords:Filtration. Microfibres. Non woven. Polyester. Particulates.

1 INTRODUÇÃO

Um filtro fibroso é fabricado por muitas fibras finas, de vários tamanhos, posicionado mais ou menos perpendicular à direção do fluxo do fluido. Os filtros fibrosos podem ser feitos de vários tipos de fibras e microfibras (LEE & RAMAMURTHI *apud* FEITOSA, 2009). O fluido passa através das regiões entre as fibras e as partículas que estão suspensas no fluido são removidas por sua colisão e aderência à superfície da fibra, conhecido por filtração em profundidade (DUNNETT & CLEMENT, 2006; HUTTEN, 2016).

As fibras dos não tecidos que constituem os meios filtrantes podem ser classificados como fibras e microfibras. As microfibras têm sido muito aplicadas ultimamente na filtração de particulados para a retenção de particulados finos, devido à elevada eficiência de captura e durabilidade nas aplicações industriais em filtros de mangas (YUN *et al.*, 2007; ATTIA *et al.*, 2017). Microfibras são as fibras com finura de 1 dtex. O fio produzido a partir de microfibras apresenta um alongamento menor, devido a menor permanência da frisagem, que é praticamente desfeita antes da

fiação. À medida que o número de filamentos num fio de dada densidade linear aumenta, a área superficial de todas as fibras aumenta e os espaços entre as fibras diminuem (NOVAES, 2013).

Nanopartículas são partículas com uma ou mais dimensões na nanoescala (HANNAH, 2016). De acordo com PAS71 (PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION), nanopartícula são aquelas com dimensões de 100 nm ou menor. Contudo, a definição do tamanho da nanopartícula é diferente para alguns autores. Para Falaguasta (2005), estas partículas são partículas menores que 500 nm. Já para Steffens (2007) a condição de nanopartículas são para aquelas que apresentam diâmetro inferior a 100 nm. Porém, para Englert (2004) denomina que partículas ultrafinas quando apresentam diâmetros menores que 100 nm.

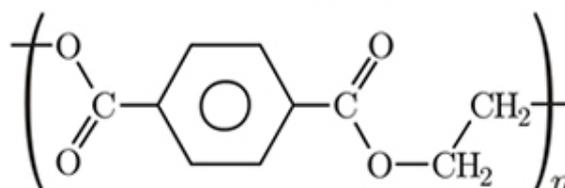
No estado do Rio Grande do Sul o controle das emissões de particulados de cimento segue a diretriz técnica nº 01/20018 da FEPAM, que estabelece as condições e os limites de emissão de poluentes atmosféricos, para fontes fixas e outras providências em indústrias. Estas recomendações estão vinculadas a legislação CONAMA 436/2001, que estabelece o limite máximo até 50 mg/Nm³ de pó de cimento na emissão atmosférica, em qualquer tipo de processo industrial (FEPAM, 2018).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fibra de poliéster possui alta elasticidade e são excelentes pela ótima estabilidade dimensional. São termoplásticas, resistentes à ruptura e ao desgaste. Sua solidez em estado úmido é igual à solidez em estado seco. Apresenta alta resistência às influências da luz e condições climáticas, bem como aos insetos e à formação de bolor. Tem boa resistência aos agentes químicos sintéticos e naturais (SILVEIRA, 2014).

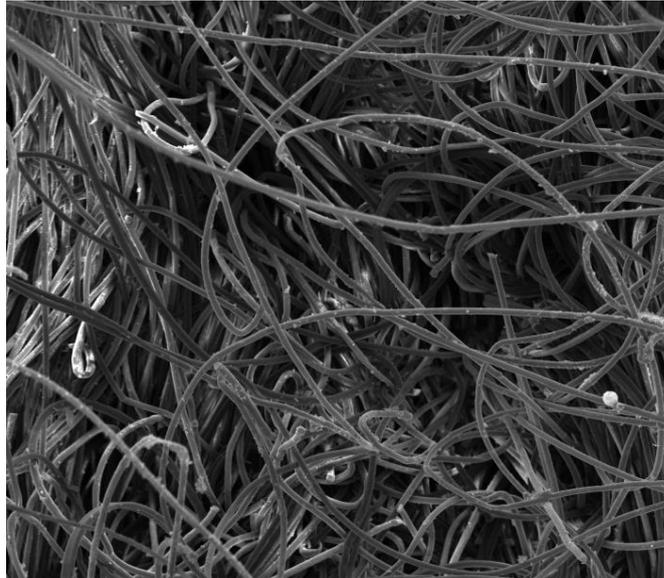
O poliéster é um dos polímeros mais versáteis da atualidade devido à sua vasta gama de aplicações e propriedades, estando presentes como fibras têxteis, não tecidos, plásticos de engenharia, polímeros de alta performance e como filtros em processos de filtração (SKEIST, 1990; JÚNIOR, 2017). A Figura 1 mostra a fórmula molecular do poliéster.

Figura 1 - Estrutura molecular do poliéster.



O meio filtrante mais utilizado para sistemas de filtração é um não tecido de poliéster permeável, também conhecido por feltro, que tem como função reter as partículas sólidas durante a filtração, formando uma torta e deixando passar o fluido filtrado. O não tecido é uma estrutura plana com distribuição aleatória, ou seja, sem um entrelaçamento ordenado e homogêneo das fibras, como mostra na Figura 2 (MORONI *et al.*, 2005; HUTTEN, 2016).

Figura 2 - Estrutura aleatória das fibras em não tecido.



A permeabilidade é uma medida macroscópica que indica a maior ou menor facilidade com que um fluido é submetido a um gradiente de pressão e percola os vazios em um meio poroso. Portanto, uma adequada descrição de permeabilidade deve, combinar aspectos do fluido, da estrutura porosa e do escoamento (NUNES & CERON, 2014). 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, 2012).

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

$$K_1 K_2$$

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 usado, que é refletida na forma de queda de pressão ao longo do meio poroso (ROCHA & CERON, 2018). 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; COURY, 2004).

3 METODOLOGIA E MATERIAIS

Os testes laboratoriais foram realizados na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) e na indústria Renner Têxtil, localizada em Cachoeirinha/RS.

3.1. MEIO FILTRANTE

Neste trabalho foram utilizados cinco tipos de não tecidos de poliéster de 550 g/m² com mesma configuração de tela interna, fornecido pela Renner Têxtil. O material foi fabricado com título do fio em dtex e comprimento de fibras, conforme listados na Tabela 1. O título em dtex é igual ao peso de 10000 metros de fio de qualquer outro material têxtil.

Tabela 1 - Informações do não tecido de poliéster

Amostra	dtex	Comprimento (mm)
A	1,0	60
B	1,4	64
C	3,3	75
D	3,3	80
E	6,1	80

3.2. MATERIAL PARTICULADO

O material particulado de cimento de moagem foi fornecido pela empresa Votorantim. A caracterização foi realizada em equipamento Malvern Mastersizer Microplus MAF 5001, via úmida, com 85% do pó na faixa até 1 µm, 95% até 5 µm e 100% até 18 µm.

3.3 GRAMATURA E ESPESSURA

Para determinar a gramatura foi usada uma Balança Semi-analítica Mettler Toledo, modelo PB 303, seguindo a norma NBR 12984:2009 - Não tecido - Determinação da massa por unidade de área. A espessura foi conferida em Medidor de Espessura Mainard, modelo M-73210-T, conforme a norma NBR 13371:2005 - Não tecido - Determinação da espessura.

3.4 ENSAIO DE PERMEABILIDADE

A determinação da permeabilidade foi realizada em Permeabilímetro Karl Schroder KG, modelo 6940 Weinheim. 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 segundos. 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-Pó, modelo APAC de 700 W, com fluxo invertido, levado por mangueira até o aparelho. A referência foi a norma NBR 13706:1996 - Não tecido - Determinação da permeabilidade ao ar.

3.5 ENSAIO DE TRAÇÃO

Os ensaios mecânicos em não tecidos, tensão até ruptura (daN) e alongamento até ruptura (%), foram realizados no sentido longitudinal em máquina universal de ensaio - dinamômetro Frank 81565 IV (Figura 3). O equipamento possui garra superior e inferior com distância ajustada de 200 mm entre elas. O corpo-de-prova fica preso entre as garras, tão esticado quanto possível, sem aplicação de uma pré-tensão. Aplicou-se uma velocidade de afastamento vertical constante das garras de 100 mm/min, com uma célula de carga de 10 kN, até o rompimento do corpo de prova. A metodologia usada obedeceu às normas: NBR 13041:1993 - Não tecido - Determinação da resistência à tração e alongamento.

Figura 3 - Dinamômetro



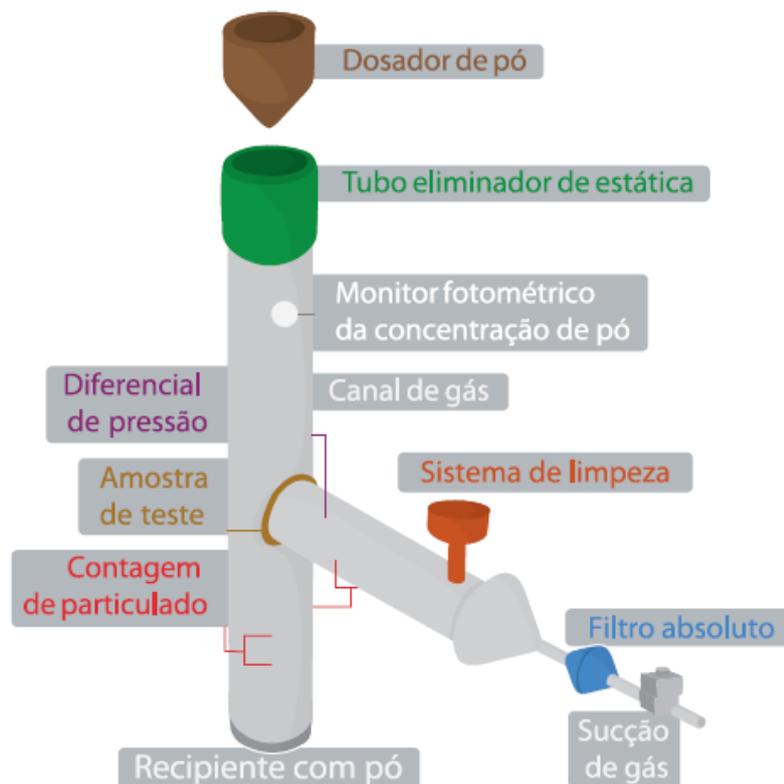
3.6 SIMULADOR DE FILTRAÇÃO

O equipamento Simulador de Filtragem ETS - modelo GmbH (Figura 4), que 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 condições próximas do limite para filtração do poliéster, para medir a influência térmica na filtração dos particulados. Para cada tipo de não tecido foram utilizados três corpos de prova em cada experimento. 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: 12 cm/s;
- Temperatura do gás a frio: $25 \pm 1^\circ\text{C}$;
- Temperatura do gás a quente: $145 \pm 1^\circ\text{C}$.

O ensaio seguiu a norma ASTM D6830-02 - Método padrão para caracterizar a queda de pressão e taxa de filtração 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 4 - Partes do simulador de filtração.



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados laboratoriais de gramatura, espessura, permeabilidade, tensão até ruptura, alongamento até ruptura e taxa de emissão são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados Laboratoriais.

Amostra	Gramatura (g/m ²)	Espessura (mm)	Permeabilidade (L/min.dm ²)	Tensão (daN)	Alongamento até Ruptura(%)	Emissão (mg/Nm ³)
A	552	1,5	58	215	25	0,7
B	551	1,6	70	200	23	2,5
C	554	1,8	140	165	20	15,0
D	550	1,8	145	162	19	18,0
E	550	1,9	150	160	19	22,0

Todos os não tecidos estão com gramaturas muito próximas, portanto, sem impacto nos outros resultados apresentados.

A espessura seguiu a tendência para microfibras utilizadas em não tecidos, pois quanto menor dtex, menor foi o resultado encontrado na espessura do material.

O impacto de menor filamento e dtex afetou significativamente a permeabilidade, pois preenche significativamente os poros do não tecido. Neste sentido a vazão de ar pelo material é restritiva, embora que durante a filtração dos particulados a perda de carga vai ser menor, em função do menor espaço nos poros internos no material, ocupado por microfibras, portanto, menor deposição interna de particulados durante operação de filtração.

Os ensaios mecânicos de tensão e alongamento até a ruptura indicam que não tecidos produzidos com microfibras apresentaram maiores resultados de resistência mecânica de tensão e alongamento. As microfibras tornam o material mais resistente, devido à densa estrutura de fios tramados na composição do não tecido.

A menor taxa de emissão de 0,7 mg/Nm³ foi para não tecido de microfibra 1,0 dtex, que apresentou o resultado mais significativo para filtração de particulados de cimento. Já na aplicação de não tecido convencional com 6,1 dtex, sem microfibras, ocorreu a maior taxa de 22 mg/Nm³ de emissão de pó de cimento.

5 CONCLUSÕES

Para os cinco tipos de não tecidos estudados as melhores condições de filtração e resultados mecânicos, foram obtidos com microfibra de 1,0 dtex. Embora que todos os valores de

emissão estejam abaixo do limite máximo permitido para pó de cimento, que é de 50 mg/Nm³, os não tecidos construídos com microfibras apresentaram performance superior em relação ao não tecido convencional. Portanto, a utilização de microfibras em elementos filtrantes é recomendada para filtração de particulados finos decimento com 1 µm.

Como normalmente a legislação pertinente para indústria de cimento considera valores de taxas de emissão entre 30 a 50 mg/Nm³, dependendo do município e necessidades específicas da aplicação, os resultados foram altamente significativos com baixa taxa de emissão, obtidos para não tecido construídos com microfibras, o que representa uma alternativa viável para filtração de outros tipos de pós finos.

REFERÊNCIAS

ATTIA, N. F.; MOUSSA, M.; SHETA, A. M.; TAHA, R.; GAMAL, H. Effect of different nanoparticles based coating on the performance of textile properties. **Progress in Organic Coatings**, n.104, p.72-80, 2017.

DUNNETT, S. J; CLEMENT, C. F.A numerical study of the effects of loading from diffusive deposition on the efficiency of fibrous filters. **Aerosol Science**, n.37, p.1116-1139, 2006.

ENGLERT, N. Fine particles and human health – a review of epidemiological studies. **Toxicology Letters**, n.149, p.235-242, 2004.

JÚNIOR, Z. J. S. **Fabricação e caracterização de um compósito com matriz de resina poliéster ortoftálica e carga de fibras de agave angustifolia haw.** 2017.p.138. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

HANNAF, L. S. M. **Síntese de nanopartículas de óxido de ferro funcionalizadas para remoção de Pb⁺².**2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Pós-Graduação em Engenharia, UFG, Goiânia, 2016.

HUTTEN, I. M. **Handbook of Nonwoven Filter Medium.**1.ed.UK: Elsevier, 2016, 660p.

FALAGUASTA, M.C.R. **Estudo do desempenho de um precipitador eletrostático operando na captura de partículas submicrométricas e nanométricas.** 2005.p.305. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

FEITOSA N. R. **Desempenho de meios filtrantes na remoção de partículas nanométricas de aerossóis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

FEPAM. Diretriz Técnica Nº 01/2018.

INNOCENTINI, M. D. M. **Filtration of gases at high pressures: Permeation behaviour of fiber based media used for natural gas cleaning**. Chemical Engineering Science, Ribeirão Preto, v.74, p.38-48, 2012.

INNOCENTINI, M. D. M.; RODRIGUES, V. P.; ROMANO, R. C.; PILEGGI, R. G.; SILVA, G. M.; COURY J. R. Permeability optimization and performance evaluation of hot aerosol filters made using foam incorporated alumina suspension. **Journal of Hazardous Materials**, v. 162, p. 212-221, 2009.

MOREIRA, E. A.; COURY, J. R. The influence of structural parameters on the permeability of ceramic foams. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v, 21, p. 23-33, 2004.

MORONI, L. G.; FILHO, W. T. P.; SAITO, J.; LIMA, C. G. **Manual de não tecidos: classificação, identificação e aplicações**. n.3, São Paulo: ABINT, 2005.

NOVAES, J. F. P. **Desempenho de linhas de costura com alma e avaliação do desempenho da costura**. p.231. Tese (Doutorado em Engenharia Têxtil) – Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2013.

[NUNES, D. M.](#); CERON, L. P. **Determinação da porosidade em torta de particulados fosfáticos na filtração em meios filtrantes**. Química Têxtil. , v.116, p.26-42, 2014.

PAS71 – Publicly Available Specification. Disponível em: <www.bsi-global.com/en/>. Acesso em: 24 dez 2017.

ROCHA, R. G.; CERON, L. P. **Avaliação dos filtros manga em indústria de tintas**. Meio Filtrante, v.91, p.38-49, 2018.

SILVEIRA, S. **Manual de Matérias Primas Têxteis**. Centro de Formação Profissional para Indústria de Lanifícios. 2014. 104 p.

SKEIST, I. **Handbook of adhesives**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990, p. 478-498.

STEFFENS, J. **Desempenho de filtros fibrosos operando na remoção de partículas nanométricas de aerossóis**. p.206. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2007.

YUN, K. M.; HOGAN, C. J. Jr; MATSUBAYASHI, Y.; KAWABE, M.; ISKANDAR, F.; OKUYAMA, K. Nanoparticle Filtration by Electrospun Polymer Fibers. **Chem.Eng. Sci.**, 62, 4751,2007.