

Hardware and Software Optimizations for Accelerating Deep Neural Networks: Survey of Current Trends, Challenges, and the Road Ahead

*Original*

Hardware and Software Optimizations for Accelerating Deep Neural Networks: Survey of Current Trends, Challenges, and the Road Ahead / Capra, M.; Bussolino, B.; Marchisio, A.; Masera, G.; Martina, M.; Shafique, M.. - In: IEEE ACCESS. - ISSN 2169-3536. - ELETTRONICO. - 8:(2020), pp. 225134-225180. [10.1109/ACCESS.2020.3039858]

*Availability:*

This version is available at: 11583/2859026 since: 2020-12-25T19:22:35Z

*Publisher:*

Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

*Published*

DOI:10.1109/ACCESS.2020.3039858

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

IEEE postprint/Author's Accepted Manuscript

©2020 IEEE. Personal use of this material is permitted. Permission from IEEE must be obtained for all other uses, in any current or future media, including reprinting/republishing this material for advertising or promotional purposes, creating new collecting works, for resale or lists, or reuse of any copyrighted component of this work in other works.

(Article begins on next page)

# MEIO FILTRANTE

Especializada em Filtração - Separação - Tratamento de Água - Meio Ambiente

Ano XIV - N° 78 - Janeiro/Febrero de 2016



Monitoramento de  
óleo hidráulico

Filtros residenciais propõem  
estilo de vida mais moderno  
e seguro em relação à água

Cenário conturbado,  
boas oportunidades

**Filtros nos motores  
a diesel e biodiesel:  
bom para o veículo e  
para o meio ambiente**



# ACREDITAMOS QUE A PUREZA DA ÁGUA É VITAL PARA SUA FAMÍLIA.

VAMOS FALAR SOBRE ISSO?

[www.europa.com.br](http://www.europa.com.br)

Grande São Paulo (11) 3017.8400

Demais Localidades 0800 13 14 13



20 milhões  
de brasileiros usam



Produtos que  
eliminam impurezas,  
vírus e bactérias



Qualidade certificada

O mundo  
precisa de mais  
pureza.

**EUROPA<sup>®</sup>**



**10**

**Filtros nos motores a diesel e biodiesel: bom para o veículo e para o meio ambiente**

**30**

**Cenário conturbado, boas oportunidades**



**16 FILTRAÇÃO DO AR**

Caracterização e desempenho de filtros com nanofibras e HEPA utilizando nanopartículas

**24 EVENTOS**

Projeto Fornecedor Tecfil homenageia os melhores do ano de 2015

**32 FILTROS AUTOMOTIVOS**

Exposição contínua ao ar condicionado requer cuidados. Saiba quais são eles

**48 ABRAFILTROS**

Economista destaca como a gestão ajuda em tempo de crise

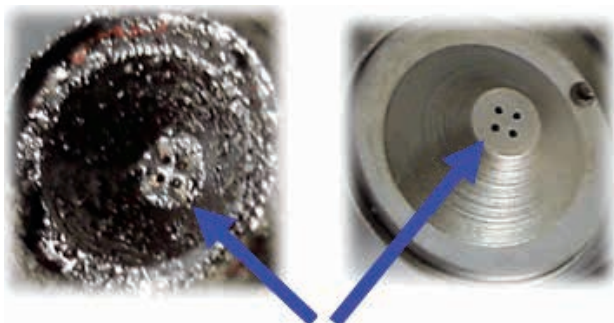
**06 FILTRADO - O que acontece no mercado de filtros**

**08 MERCADO - Confira as novidades no mercado industrial**

**50 VISÃO EMPRESARIAL**

**34**

Com o avanço tecnológico, folgas menores nos sistemas tornam imprescindível o monitoramento de óleo hidráulico



**42**

Filtros de entrada e de uso residenciais propõem estilo de vida mais moderno e seguro em relação à água



**Diretora - Editora**  
Rogéria Sene Cortez Moura  
editora@meiofiltrante.com.br

**Redação/Reportagem**  
Anderson V. da Silva, Cristiane  
Rubim e Suzana Sakai  
jornalismo@meiofiltrante.com.br

**Comunicação**  
Loiana Cortez Moura  
comunicação@meiofiltrante.com.br

**Criação, Editoração e Web**  
Anderson Vicente da Silva,  
Loiana Cortez Moura e Paula Zampoli

**Publicidade**  
Yara Sangiacomo  
publicidade@meiofiltrante.com.br

**Assinaturas, Circulação e  
Atendimento ao Cliente:**  
Tel.: +55 11 4475-5679  
atendimento@meiofiltrante.com.br

#### Conselho Editorial:

Adriano de Paula Bonazio; Alex Alencar; Alice Maria de Melo Ribeiro; André Luis Moura; Atsushi Gomi; Caio Guilherme Barbosa; Carlos Mourão; Cláudio Chaves; Francisco Gomes Neto; Genaro Pascale Neto; Geraldo Reple Sobrinho; Helmut Zschieschang; Hermann Queiser; Jeffrey John Hanson; João Moura; José Luis Tejon Megido; Julio Trujillo; Laíssa Cortez Moura; Lucas Cortez; Luciano Peske Ceron; Marcia Brunini Truite Hanson; Mauro Urbinati; Marco Antônio Simon; Paulo Roberto Antunes; Patrick Galvin; Paula Rorato; Pedro Verpa; Plínio Centoamore; Ricardo Saad; Robert Scarlett; Tércia Rita Davoglio; Tarcisio Costa; Valter Medina; Valdir Montagnoli; Vinicius Stoco Patricio e Walter Luiz Polônio.

#### Colaboraram nesta edição:

Antonio Carlos Camargo, Sueli Curti e Manuella Curti de Souza (Grupo Europa); Edgard Luiz Cortez e Lucas Cortez Moura (Iteb); Renata Pirollo e Daniel G. de la Fuente (InbraTextil); Thiago Lima (Saati); André Luis Moura e Valdir Montagnoli (Laffi Filtration); Robinson Zuntini, Patrícia Gozzi e Andreas Scheurell (Calgon Carbon); Paul Gaston Cleveland e Sergio Sato (Camfil); Eduardo Gomes Ferreira e Natã Teodoro de Lima (Sigma Lean); Abrafiltros (Diretoria); Simone Minhoto Queiroz, Ricardo Brandão, Flávio M. Boni e Márcio André (Tecfil); Renato Bruno (Unifilter); (Pollutec); Juliano Frizzo (Filtros Planeta Água); Patrick Mendes (Yanpai Do Brasil); Claudio Chaves, Anderson Alves Oliveira e Thais Mazzucatto (Pentair); David Siqueira de Andrade e Gabriela Oppermann (Supply Service); Paulo Roberto Nascimento, Celso Stupiglia e Angélica Oliveira (Parker); (All for Filters); Rodolfo Cafer (Mahle Metal Leve); Laine Craco (Baldwin Filters); André Gonçalves (Mann+Hummel); Thiago Prestes (Cummins); Ana Isabela Pianowski Salussoglia, Prof<sup>a</sup> Dra Vádila Guerra Béttega e Prof<sup>a</sup> Dra Mônica Lopes Aguiar (UFSCar); Prof. Dr Paolo Maria Tronville (Torino - TO, Itália); Marcelo Prado (3M Purification do Brasil); Dra. Silvia Rodrigues (Alta Excelência Diagnóstica); Alex Peixoto Alencar (Hydac); Carlos Eduardo Sousa (Whirlpool); Amauri Nóbrega; Prof. Dr. Roberto Dumas Damas; Vinicius Pinho e Luis Artur Nogueira.

#### Assessoria Jurídica

Candido, Rozatti e Spinussi Adv. Associados  
Tel.: +55 11 4438-8173 - www.crsaa.com.br

A Revista **MEIO FILTRANTE** é uma publicação da **L3ppm** - L Três publicidade, propaganda e marketing Ltda.  
Rua Aracanga, 330 - Pq. Jaçatuba  
CEP 09290-480 - Santo André - SP  
Tel.: +55 11 4475-5679  
www.meiofiltrante.com.br

#### Impressão e Acabamento

Gráfica **IPSI** - www.ipsi.com.br

[facebook.com/meiofiltrante](https://www.facebook.com/meiofiltrante)

Siga-nos no [twitter](https://www.twitter.com/meiofiltrante) @meiofiltrante

Os artigos e matérias não refletem a opinião desta revista, assim como declarações emitidas por entrevistados e através de anúncios, sendo de única e exclusiva responsabilidade de seus autores e anunciantes. A reprodução total ou parcial das matérias só é permitida mediante autorização prévia da Revista Meio Filtrante, e desde que citada a fonte.

## Promessas e realizações

Quando você estiver lendo este editorial, 2015 já fará parte do passado. Promessas, brindes e planos terão sido feitos, sempre na esperança de um ano mais promissor. O país atravessa uma situação complicada no cenário político, econômico e social, mas isso não impede que haja resultados diferentes sobre o mesmo período – para muitos, um ano terrível; mas certamente, há aqueles que mesmo em meio a tanta instabilidade, prosperaram, cresceram e tornaram as promessas feitas na passagem do ano anterior em realidade.

Qual será a diferença prática nesses cenários? Talvez o principal ponto seja a perseverança, planejamento e a capacidade de adaptação, enquanto outros se referem ao fator sorte – estar no lugar certo, na hora certa. Uma frase atribuída a Thomas Edison, o inventor da lâmpada, diz: “Boa sorte é o que acontece quando a oportunidade encontra o planejamento.”

Na vida, há sempre diferentes lados – os que esperam a chuva passar, os que fazem planos para quando o sol voltar a brilhar e os que agem, mesmo durante as tempestades. Certamente, todos lidamos com uma dose de acontecimentos imponderáveis. Mas dentro do nosso raio de ação, independente dos fatores internos e externos, a tomada de posição pode ser a diferença entre um ano memorável ou um ano para esquecer. E no final das contas, todos buscamos resultados positivos, em linha com nossas esperanças de um novo ano repleto de realizações. Por isso, planeje seus objetivos com metas passíveis de serem alcançadas, para que no próximo ano, possa chegar a patamares ainda maiores. Entre as matérias desta edição: filtros aplicados em motores diesel; filtros residenciais e principais aplicações; monitoramento de óleo hidráulico, contaminação e consequência; perspectivas e crescimento do mercado de filtros em 2016; os premiados no Projeto Fornecedor Tecfil; os cuidados na exposição contínua ao ar condicionado; caracterização e desempenho de filtros com nanofibras e HEPA utilizando nanopartículas e a gestão como suporte em tempos de crise, na visão do economista prof. Dr. Roberto Dumas Damas.

Boa leitura e um ótimo 2016 a todos!

**Rogéria Sene Cortez Moura**  
Editora

# EDITORIAL

# Caracterização e desempenho de filtros com nanofibras e HEPA utilizando nanopartículas

**P**ouco se sabe sobre desempenho de filtros utilizando nanopartículas em filtros fibrosos e com nanofibras.

Filtros fibrosos são amplamente conhecidos por apresentarem baixa queda de pressão e alta eficiência de coleta de partículas. Sabe-se que o filtro HEPA possui grande gama de diâmetros de fibras e esta característica propicia melhor eficiência de coleta de partículas. Bortolassi et al. (2015) constataram que em filtros fibrosos as fibras menores capturam maiores quantidades de nanopartículas para a faixa de 7,4 - 289 nm. Segundo Yun et al. (2007) as nanofibras estão sendo aplicadas na filtração porque diminuem o peso do meio filtrante, aumenta a permeabilidade, o tamanho do poro e a eficiência de coleta.

Os filtros com nanofibras possuem dupla camada. A camada de nanofibra é depositada, geralmente pelo método de *electrospinning*, sobre o substrato. Dentre os vários tipos de substratos os mais comuns são de fibras de vidro, nylon, poliéster e celulose.

Em estudo realizado por Schaefer et al., apud Grafe e Graham (2002) filtros com nanofibras depositadas em substratos de microfibras foram expostos à solução de cloreto de sódio, com partículas de tamanhos de 10 a 500 nm. As nanofibras foram cobertas com as partículas de sal, enquanto que o substrato recolheu pouquíssimas partículas. Existe grande dificuldade na caracterização de meios filtrante contendo nanofibras, devido à pequena dimensão de suas fibras.

É necessária a utilização de microscópios potentes para que seja possível observar sua estrutura tratamento computacional das imagens para obterem dados.

Bortolassi et al. (2015) desenvolveu método para medir o diâmetro médio de fibras baseados em imagens de microscopia eletrônica de varredura. Outros parâmetros como eficiência de coleta e permeabilidade podem ser medidos através de ensaios usuais, sem que haja necessidade de tecnologia tão rebuscada. A eficiência de coleta relaciona a concentração de partículas anterior e posterior à passagem pelo filtro e é calculada através da equação: 1.

$$E = \frac{C_0 - C_E}{C_0}$$

na qual E representa a eficiência de coleta,  $C_0$  a concentração de partículas antes e  $C_E$  é a concentração de partículas após a passagem pelo filtro.

A permeabilidade, outro importante parâmetro, determina a resistência do fluido ao percorrer o meio filtrante. E pode ser calculada através da equação de Darcy, que pode ser vista na equação: 2.

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu \cdot v_s}{k_1}$$

em que  $\Delta P$  é queda de pressão, L a espessura do meio filtrante,  $\mu$  representa a viscosidade do fluido,  $v_s$  a velocidade superficial do fluido e  $k_1$  é a constante de permeabilidade do meio filtrante.

Ana Isabela Pianowski Salussoglia, Prof<sup>a</sup> Dra Vádila Guerra Béttega, Prof Dr Paolo Maria Tronville e Prof<sup>a</sup> Dra Mônica Lopes Aguiar

## Materiais e Métodos

### Meio filtrante

Neste trabalho, foram utilizados filtros HEPA (fibra de vidro) e dois meios filtrantes compostos de uma camada de nanofibras (polimérica) sobre o substrato de microfibras (celulose). Para caracterizar os filtros foram determinados o diâmetro médio de suas fibras e a permeabilidade dos meios filtrantes. Também foram realizados ensaios de filtração para determinar a eficiência de coleta de nanopartículas desses meios filtrantes.

### Instalação experimental

A figura 1 mostra a instalação experimental utilizada para os testes de permeabilidade e de eficiência de coleta.

O ar ambiente entra na instalação experimental com auxílio de um compressor. Após a passa-

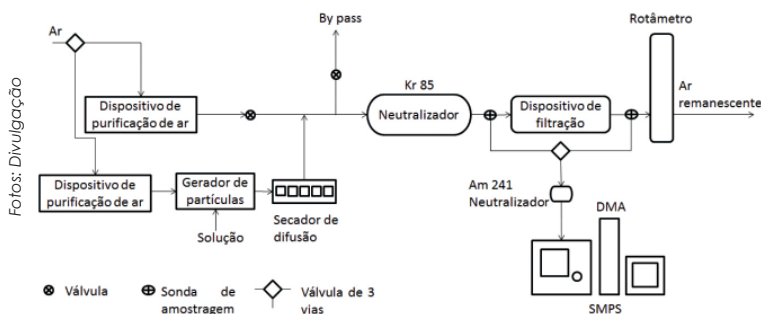


Figura 1: Instalação experimental

gem por uma válvula de três vias esse se divide. As correntes de ar passam por dispositivos de purificação de ar, que foram utilizados para remover as impurezas contidas nas correntes de ar. Após a passagem de parte do ar pelo dispositivo de purificação, este segue para a linha principal como ar de arraste. A outra porção de ar, após passar por outro dispositivo de purificação, foi empregada na geração de partículas de NaCl. Depois de geradas as partículas, a corrente de ar secundária segue para um secador de

## SEGMENTOS DE ATUAÇÃO:



AR LIMPO É UM DIREITO DO SER HUMANO

Siga-nos: [f/camfilbrasil](https://www.facebook.com/camfilbrasil) [/camfilb](https://www.instagram.com/camfilb)  
[in/camfilbrasil](https://www.linkedin.com/company/camfilbrasil)

SOLUÇÕES EM AR LIMPO  
(19) 3847-8810 | [sac@camfil.com](mailto:sac@camfil.com) | [www.camfil.com.br](http://www.camfil.com.br)

**camfil**  
LATINOAMÉRICA

difusão, que tem por objetivo diminuir a umidade na corrente de ar. Na sequência, as correntes voltam a se integrar. E seguem para um neutralizador de Criptônio 85. O neutralizador é utilizado para estabilizar as cargas eletrostáticas das partículas. Após a passagem pelo neutralizador a corrente de ar segue para o dispositivo de filtração, que tem como finalidade dar sustentação ao meio filtrante. Em seguida, encontra-se o rotâmetro que mede a vazão de ar que circula na linha. Em paralelo, por meio de válvulas, o neutralizador de Amerício 241 foi ligado ao dispositivo de filtração, que também é responsável por neutralizar as cargas das partículas. Estas já neutralizadas seguem ao analisador de partículas a mobilidade elétrica (SMPS). O SMPS fornece a concentração de partículas por faixa de diâmetros de partículas. O SMPS foi utilizado no modo scan, com tempo de contagem de partículas de 300 s.

### Caracterização meio filtrante

Para obtenção do diâmetro médio de fibras foi utilizada Microscopia Eletrônica Varredura (Modelos Philips XL-30 FEG e Magellan 400L). As imagens foram analisadas usando o software Image-Pro Plus 7.0. E o diâmetro médio foi determinado pelo método proposto por Bortolassi et al. (2015).

A permeabilidade foi obtida medindo-se a queda de pressão em oito pontos pré-estabelecidos de velocidade superficial do fluido que variaram de 1 a 16 cm/s. A queda de pressão foi medida em cada um dos oito pontos utilizando manômetro digital (Modelo 9555-P, TSI). A área de filtração foi de 5,3 cm<sup>2</sup>. E a viscosidade superficial do fluido foi considerada 1,74\*10<sup>-7</sup> Pa\*s. Os dados foram corrigidos para temperatura e pressão ambientes. Para cada filtro foi feita a média dos valores e com cada um desses valores foi gerado um gráfico. Através da linha de tendência linear do gráfico e a equação 2 foi possível encontrar a permeabilidade para cada meio filtrante.

### Eficiência de coleta

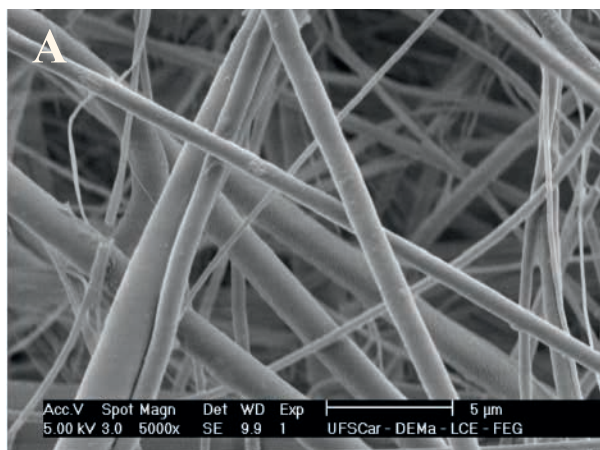
A eficiência de coleta foi determinada através do analisador de partículas a mobilidade elétrica (SMPS). Este foi utilizado para determinar a concentração de partículas antes e depois do filtro, logo após ser exposto por uma hora a geração de partículas constante. Um inalador comercial NS (Modelo R-205) foi usado para gerar nanopartículas. As nanopartículas foram geradas a partir de uma solução de 5 g/l de NaCl (Chemis) com pressão de 2,5 psi. A velocidade de filtração foi mantida em 5 cm/s durante todo o experimento. A área de filtração foi de 5,3 cm<sup>2</sup>. Foi feita a média dos valores de concentração antes e após a passagem pelo filtro. Utilizando a equação 1 foi possível calcular a eficiência de coleta para cada filtro. Os testes de permeabilidade de eficiência de coleta foram realizados em triplicata.

### Resultados e discussões

#### Caracterização meio filtrante

A figura 2 mostra as imagens dos filtros obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). É possível observar que a quantidade de fibras decresce significativamente do filtro HEPA até nanofibra 1. Considerando que para os filtros com nanofibras foram levados em consideração somente a camada de nanofibras. Já que o substrato captura pouquíssima quantidade de partículas.

Através do software Image-Pro Plus 7.0 foi



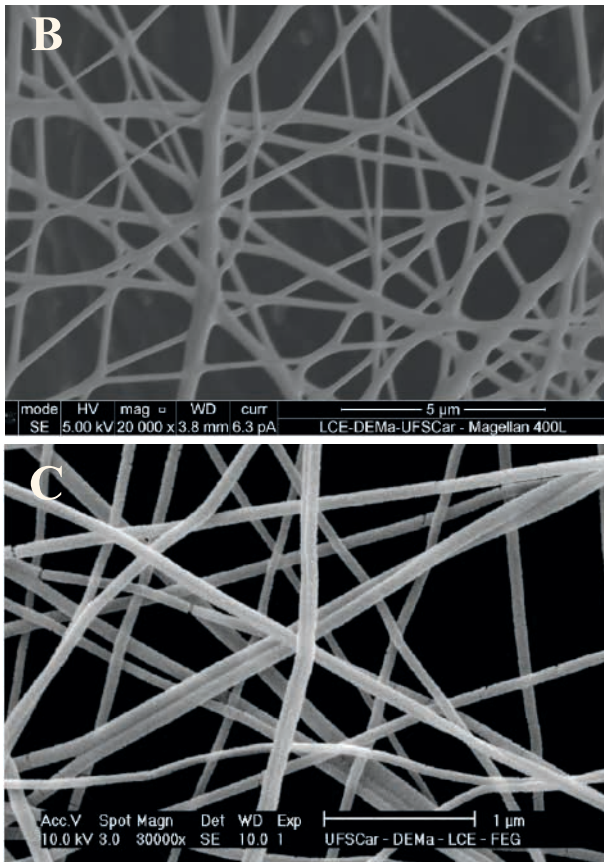


Figura 2: Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura para os filtros (A) HEPA, (B) nanofibra 1 e (C) nanofibra 2

possível obter os valores de diâmetros de fibras. A tabela 1 mostra a média dos diâmetros de fibras, o desvio padrão e a quantidade de diâmetros medidos para cada meio filtrante.

Meio filtrante	HEPA	Nanofibra 1	Nanofibra 2
Diâmetro médio (μm)	0,82	0,24	0,09
Desvio padrão	0,41	0,10	0,03
Número de diâmetros	167	426	324

Tabela 1: Média dos diâmetros de fibras para os filtros HEPA e de nanofibras

Os filtros de nanofibras apresentaram os menores diâmetros médios de fibras comparando com o filtro HEPA. Os diâmetros médios de fibras são 0,82, 0,24 e 0,09 μm para os filtros HEPA, nanofibra 1 e nanofibra 2, respectivamente. O filtro HEPA teve um grande valor de desvio padrão de 0,41 devido à grande gama de diâmetros de fibras que variaram de 1,80 a 0,11 μm. A permeabilidade foi obtida através da equa-

ção de Darcy, medindo-se a queda de pressão em pontos pré-estabelecidos de velocidade superficial do fluido que variaram de 1 a 16 cm/s. A área de filtração foi de 5,3 cm<sup>2</sup>. E a viscosidade superficial do fluido foi considerada 1,74\*10<sup>-7</sup> Pa\*s.

A tabela 2 mostra as médias de queda de pressão para cada meio filtrante.

Média de queda de pressão (Pa)			
Velocidade (cm/s)	HEPA	Nanofibra 1	Nanofibra 2
1	57,70	12,23	8,93
2	88,35	19,53	13,73
3	180,35	39,27	27,73
5	276,9	60,57	41,23
6	372,45	81,63	55,83
9	541,3	115,47	80,57
13	753,25	161,03	112,07
16	933,85	207,37	140,83

Tabela 2: Média das quedas de pressão para os filtros HEPA e de nanofibras

O filtro HEPA apresentou as maiores quedas de pressão seguido pelo filtro de nanofibra 1 e nanofibra 2. A queda de pressão é um parâmetro importante, pois maiores valores de queda de pressão acarretam custos mais elevados

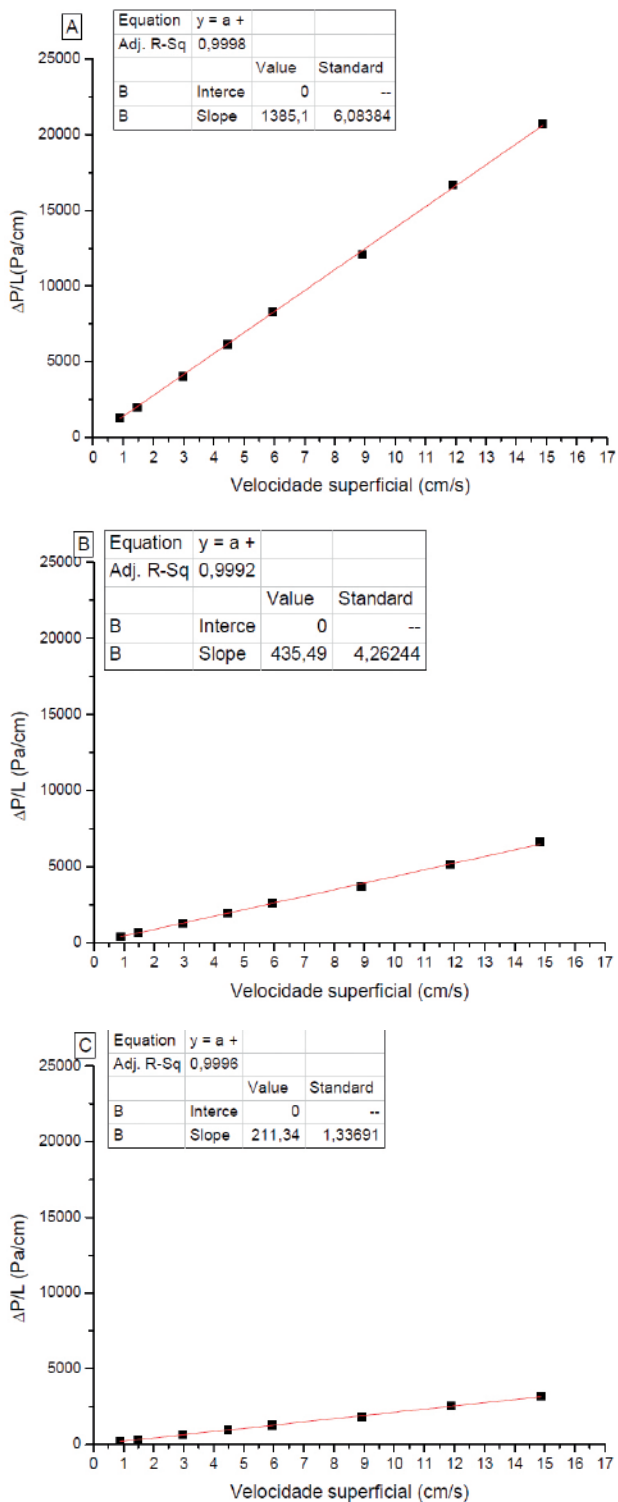


Figura 3: Média de  $\Delta P/L$  em função da velocidade superficial do fluido para os filtros (A) HEPA, (B) nanofibra 1 e (C) nanofibra 2

(Wang et al., 2007). O valor da queda de pressão para o filtro HEPA são maiores do que os filtros de nanofibra. Logo, o filtro HEPA exige custos de operação mais elevados.

As curvas de queda de pressão por espessura ( $\Delta P/L$ ) em função da velocidade superficial do fluido para todos os filtros são mostradas na figura 3.

A tabela 3 contém os valores da permeabilidade média dos filtros e  $R^2$ .

	HEPA	Nanofibra 1	Nanofibra 2
Média de permeabilidade (cm <sup>2</sup> )	1,26*10 <sup>-08</sup>	3,99*10 <sup>-08</sup>	8,23*10 <sup>-08</sup>
R <sup>2</sup>	0,9998	0,9992	0,9996

Tabela 3: Média das permeabilidades e  $R^2$  para os filtros HEPA e de nanofibra 1 e nanofibra 2

É possível observar que todas as curvas se ajustaram a uma reta pois apresentaram valores de  $R^2$  superiores a 0,99. O filtro HEPA apresentou menor permeabilidade sendo 3,17 vezes menor que o filtro de nanofibra 1 e 6,53 vezes maior que o nanofibra 2.

### Eficiência de coleta

A caracterização das partículas foi feita utilizando o analisador de partículas a mobilidade elétrica (SMPS). As partículas foram geradas através de uma solução de 5 g/l de NaCl (Chemis) com pressão de 2,5 psi. A velocidade de filtração foi mantida em 5 cm/s durante todo o experimento e a área de filtração foi de 5,3 cm<sup>2</sup>. A figura 4 mostra a concentração de partícula para cada diâmetro. Os diâmetros das partículas geradas para avaliação da eficiência de coleta dos meios filtrantes variaram entre 10,6 e 495,8 nm.

Pode-se observar na Figura 4 que a maior concentração das partículas nanométricas geradas encontram-se em torno de 45 nm.

A eficiência de coleta, que relaciona a concentração de partículas anterior e posterior à passagem pelo filtro, foi determinada através do analisador de partículas a mobilidade elétrica (SMPS).

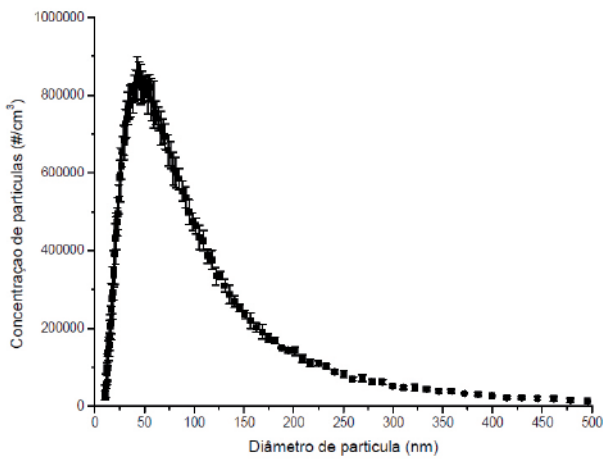


Figura 4: Caracterização das nanopartículas

A eficiência de coleta do filtro HEPA pode ser vista na Figura 5. É possível observar que nanopartículas com dimensões menores que 250 nm de diâmetros atravessaram o meio filtrante, principalmente partículas em torno de 150 nm, conforme figura 5 (B). A eficiência de coleta para o filtro HEPA foi superior a 99,99%.

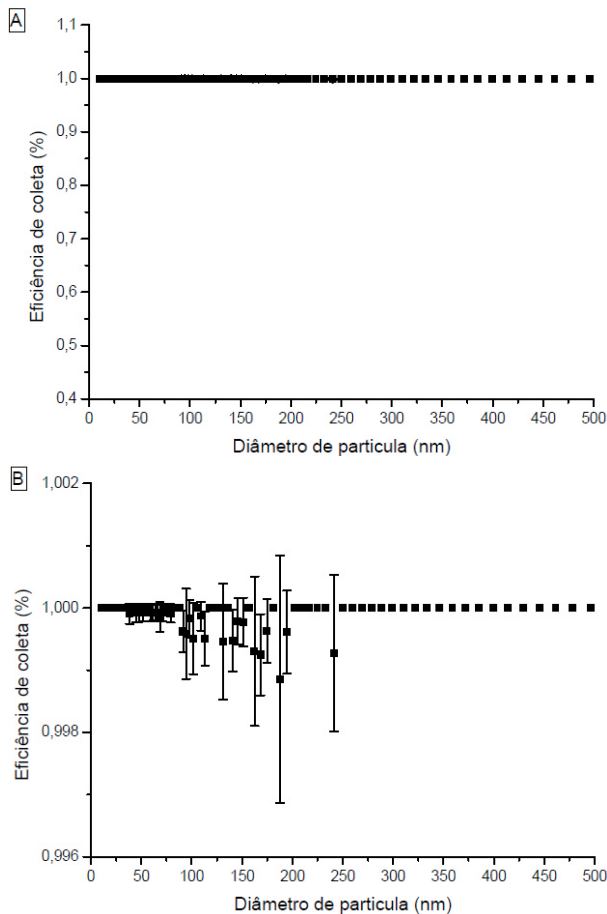


Figura 5: (A) Média de eficiência de coleta do filtro HEPA e (B) ampliado

A figura 6 mostra a eficiência de coleta para o filtro de nanofibra 1. A eficiência de coleta foi de 73,50%.

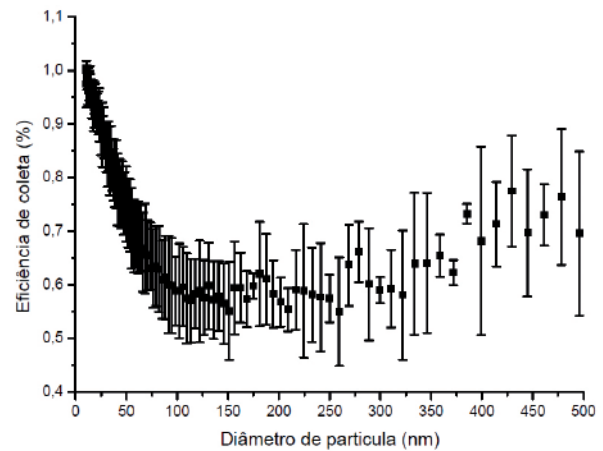


Figura 6: Média de eficiência de coleta do filtro de nanofibra 1

A eficiência de coleta foi de 86,20% para o filtro de nanofibra 2 mostrado na figura 7.

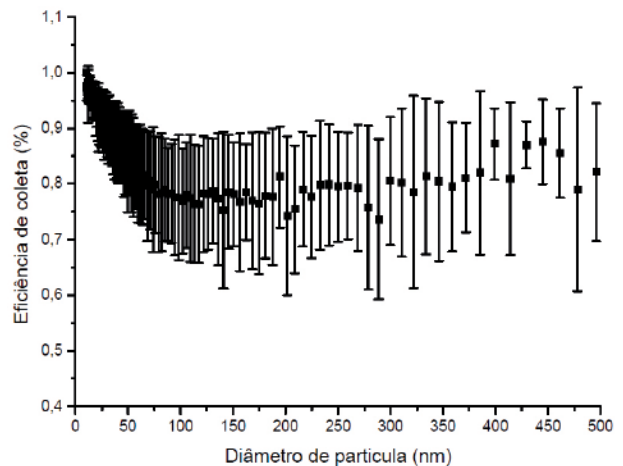


Figura 7: Média de eficiência de coleta do filtro de nanofibra 2

O comportamento de coleta de partículas para os filtros de nanofibras foram semelhantes. Tendo maiores capturas para as partículas menores. Para as partículas com dimensão de 10,6 nm a captura foi em torno de 98,00%. Os valores de eficiência de coleta foram decaindo até 98 e 80 nm para os filtros nanofibra 1 e nanofibra 2, respectivamente. Voltando a aumentar. Sambaer et al. (2012) fizeram um experimento aderindo múltiplas camadas de nanofibras. O meio filtrante que obteve menor eficiência de coleta foi de  $88,5 \pm 1,40\%$ . O comportamento

da curva de diâmetro de partícula versus eficiência de coleta foi semelhante à letra “u” com o maior valor de penetração de partículas em 70 nm. Este comportamento pode ser comparado aos dados obtidos neste trabalho, tal que o filtro de nanofibra 2 apresentou comportamento similar a esse, considerando o desvio padrão e que o maior valor de penetração de partículas foi em torno de 80 nm. Para o filtro nanofibra 1 a forma da curva eficiência de coleta versus diâmetros de partículas também foi semelhante divergindo apenas na sua parte final que não voltou a aumentar tão acentuadamente e ainda que o maior valor de penetração foi em torno de 98 nm.

Comparando os três filtros, o filtro HEPA apresentou a maior eficiência de coleta superior a 99,99%. A não homogeneidade do filtro HEPA caracteriza a alta eficiência de coleta (Steffens J., 2007). Quanto aos filtros de nanofibras é importante ressaltar que as nanofibras capturam partículas sobre a superfície do filtro e a camada de pó é facilmente removida, assegurando elevada eficiência de filtração e vida útil longa comparado ao mesmo meio filtrante sem a camada de nanofibra (Wang et al., 2007). Então, dependendo da aplicação a utilização do filtro com nanofibras pode ser interessante.

Payen et al. (2015) utilizaram diâmetro da fibra unimodal que variaram entre 28,2 e 10,9  $\mu\text{m}$ . Os testes confirmaram que a diminuição dos diâmetros das fibras melhoram a eficiência de filtração em detrimento da permeabilidade das partículas. Wang et al. (2007) perceberam que o aumento na quantidade de nanofibras acarreta no aumento da eficiência de coleta e queda de pressão.

O filtro de nanofibra 2 obteve 86,20% de eficiência de coleta enquanto que no filtro nanofibra 1 foi de 73,50%. É importante destacar que a permeabilidade do nanofibra 2 foi maior que a do nanofibra 1, sugerindo que ele deveria ser menos eficiente que o nanofibra 1. No entanto, o diâmetro médio de fibras do nanofibra 2 foi

menor do que o nanofibra 1. E análises mais detalhadas mostraram que a quantidade de fibras depositadas no nanofibra 2 são maiores. Logo, a divergência quanto à permeabilidade pode estar sendo compensada pelas diferenças nos diâmetros médios de fibras, pela quantidade de fibras e pela diferença nos substratos dos meios filtrantes.

Comparando o filtro HEPA aos filtros de nanofibras. O filtro HEPA apresentou menor permeabilidade, maiores quantidade de fibras, diâmetro médio de fibras e eficiência de coleta. Segundo Payen et al. (2015) a diminuição dos diâmetros das fibras melhoram a eficiência de filtração em detrimento da permeabilidade das partículas. No entanto, a heterogeneidade de diâmetro de fibras e grande quantidade de fibras observada nesse meio filtrante promoveram a sua maior eficiência de coleta quando comparado aos meios filtrantes com nanofibras.

## Conclusões

A maior eficiência de coleta foi obtida para o filtro HEPA, que apresentou maior diâmetro médio de fibra e o menor valor de média de permeabilidade. O filtro de nanofibra 2 comparando com o filtro de nanofibra 1 teve maior eficiência de coleta e permeabilidade. Enquanto que diâmetro de fibra do filtro de nanofibra 1 foi maior que do nanofibra 2. O comportamento de coleta de partículas para os filtros de nanofibra foram semelhantes. Apesar dos diâmetros médios de fibra dos filtros de nanofibras serem menores que a do filtro HEPA. O filtro HEPA mostrou-se mais eficiente. Isto se deve a baixa permeabilidade e a grande quantidade e variedade de diâmetros de fibras. MF

**Ver referências bibliográficas em nosso site:**  
[www.meiofiltrante.com.br](http://www.meiofiltrante.com.br)

Ana Isabela Pianowski Salussoglia, Prof<sup>a</sup> Dra Vádila Guerra Béttega e Prof<sup>a</sup> Dra Mônica Lopes Aguiar  
Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química  
Prof Dr Paolo Maria Tronville  
Politécnico di Torino, Dipartimento Energia - Torino - TO, Itália