

# ESTUDO DE UM ANALISADOR DE MOBILIDADE ELÉTRICA DE NANOPARTÍCULAS ATRAVÉS DE AEROSSÓIS POLIDISPERSOS

I. B. C. COLICHIO, E. C. M. CAMARGO, F. O. AROUCA, J. J. R. DAMASCENO

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química  
E-mail para contato: icherulli@gmail.com

**RESUMO** – A nanotecnologia possui uma vasta gama de aplicações, alguns exemplos são as indústrias de eletrônicos, farmacêutica e de filtros de ar. Para produção e controle de qualidade de partículas tão pequenas foi desenvolvido o analisador de mobilidade elétrica de nanopartículas (Nano-DMA). O Nano-DMA foi projetado e construído na FEQUI/UFU para estudo da difusão de partículas nanométricas de um aerossol polidisperso, a fim de classificá-las de acordo com sua distribuição de tamanho, produzindo uma corrente monodispersa que apresenta nanopartículas que atendem aos parâmetros de diâmetro desejáveis. O design desse equipamento consiste em dois eletrodos cilíndricos concêntricos. É aplicada uma tensão no cilindro interno, enquanto o cilindro externo é aterrado, estabelecendo um campo elétrico entre eles. Realizando a passagem do aerossol polidisperso por esse campo é possível determinar o número e o diâmetro das partículas que atravessam o equipamento e saem no aerossol monodisperso. Neste trabalho, foi avaliado o desempenho do Nano-DMA utilizando-se duas amostras de aerossol de NaCl em diferentes concentrações. Os resultados obtidos mostraram que a concentração de sal presente na corrente de entrada influencia na concentração de nanopartículas do aerossol monodisperso produzido, ou seja, quanto maior a concentração de NaCl utilizada, maior será a concentração de partículas no aerossol de saída.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o documento PAS71 comissionado pelo Departamento Inglês de Comércio e Indústria (DTI), pode ser considerada uma nanopartícula um corpo que tenha dimensão na ordem de 100 nm ou menor. Por serem tão pequenas, apresentam características que as diferenciam de seu material de origem. Materiais compostos de partículas nanométricas possuem significativas propriedades mecânicas, óticas e magnéticas que são desejáveis em muitas aplicações na engenharia e indústria modernas.

De acordo com Chen *et al.* (1997), o domínio das partículas ultrafinas na indústria de discos rígidos para computador, por exemplo, é primordial, pois a distância entre a cabeça de leitura eletromagnética e os discos em que os dados são gravados (platters) está se aproximando de zero com o objetivo de armazenar maior quantidade de informações em uma área menor do disco. Para que isso seja possível, é fundamental a produção de nanopartículas de alta qualidade. Isso se torna viável através do controle de qualidade dessa produção, realizando análises de tamanho, composição, estrutura e morfologia dessas nanopartículas.

As mesmas características que tornam as nanopartículas tão notáveis podem também representar efeitos nocivos à saúde e ao meio ambiente. Essas partículas são liberadas inadvertidamente no ar e, segundo estudos epidemiológicos realizados por Oberdorster *et al.* (2004) e Pope (1996), podem causar problemas respiratórios, doenças cardiovasculares e, ainda, penetrar no cérebro causando doenças neurológicas.

A síntese de nano-aerossóis (gases com nanopartículas sólidas suspensas) é fundamental para estudo da questão ambiental e de saúde pública, e crescimento e desenvolvimento da área de nanotecnologia. Numa vasta gama de processos de obtenção de material particulado ultrafino, um importante parâmetro de análise é o tamanho da partícula, e um classificador otimizado para a faixa de variação de diâmetro desejado (nano) como pode-se observar nos trabalhos de Chen *et al.* (1997), é fundamental. Dentre todos os instrumentos de classificação de aerossóis, o Nano-DMA se mostra eficiente, oferecendo controle de qualidade das partículas em tempo real.

O objetivo deste projeto é produzir nanopartículas monodispersas em correntes gasosas utilizando-se um equipamento projetado e construído na FEQUI/UFU com o intuito de promover a separação de nanopartículas em aerossóis polidispersos, analisando a interferência da concentração de NaCl nos aerossóis de saída.

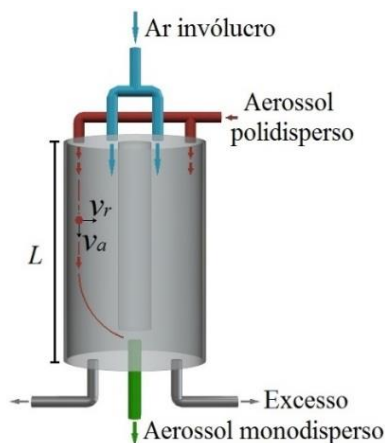
## 2. TEORIA

### 2.1. Funcionamento do Nano-DMA

O Nano-DMA é composto de dois eletrodos cilíndricos concêntricos dispostos verticalmente. Dois fluxos entram na região de classificação do Nano-DMA: um contendo o aerossol polidisperso que apresenta partículas com variadas mobilidades elétricas, e outro ar invólucro isento de partículas. O primeiro é aplicado na região periférica do anel, e o segundo, próximo ao cilindro interno. Aplica-se uma certa tensão no eletrodo de menor diâmetro, enquanto o eletrodo com maior raio é aterrado, criando um campo elétrico radial. As partículas do aerossol polidisperso são, então, arrastadas pelo ar de entrada para a parte inferior da região de classificação e sofrem a ação do campo elétrico presente entre os eletrodos, como mostrado na Figura 1.

Partículas carregadas positivamente são atraídas pelo eletrodo central que se mantém a uma tensão negativa, e as negativas são repelidas. Se a partícula apresenta alta mobilidade elétrica, ela ficará retida em uma região superior do Nano-DMA, enquanto as de baixa mobilidade elétrica (e maiores diâmetros) atravessam mais facilmente para a região inferior. Portanto, as partículas com determinado diâmetro (função da tensão aplicada) que atravessam com sucesso a região de classificação do Nano-DMA são coletadas numa corrente de saída, dando origem ao aerossol monodisperso que contém partículas em uma certa faixa de mobilidade elétrica. Partículas maiores do que o limite superior da faixa desejada constituirão a corrente de excesso.

Figura 1 – Representação do Nano-DMA e trajetória da partícula do aerossol



## 2.2. Cálculo do diâmetro das partículas do aerossol monodisperso

Adotando  $Q$  como a vazão volumétrica na entrada,  $E$  o campo elétrico,  $Z_e$  a mobilidade elétrica e  $r_1$  e  $r_2$  os raios dos cilindros interno e externo respectivamente, considera-se que toda partícula que entra no Nano-DMA possui uma velocidade axial  $v_a$  e uma velocidade radial  $v_r$ , dadas pelas Equações 1 e 2:

$$v_a = \frac{Q}{\pi(r_2^2 - r_1^2)} \quad (1)$$

$$v_r = EZ_e \quad (2)$$

Admite-se que as partículas que chegam à corrente de saída contendo aerossol monodisperso devem percorrer a distância entre os dois eletrodos no mesmo período de tempo que leva para percorrer a distância vertical  $L$ . Ao aplicar esse conceito nas Equações 1 e 2, e integrando-se a Equação 2, é possível obter uma equação para cálculo da mobilidade elétrica em função da tensão aplicada ( $V$ ), representada pela Equação 3.

$$Z_e = \frac{Q \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2VL\pi} \quad (3)$$

Pode-se também definir a mobilidade elétrica como sendo a velocidade da partícula ( $v$ ) por unidade de força do campo aplicado ( $E$ ), como mostrado na Equação 4:

$$Z_e = \frac{v}{E} \quad (4)$$

Tomando a força eletrostática  $F_e$  sobre a partícula e a força de arraste  $F_d$ , definidas pelas Equações 5 e 6, respectivamente, obtém-se, por substituição na Equação 4, a mobilidade elétrica da partícula, dada pela Equação 7.

$$F_e = neE \quad (5)$$

$$F_d = \frac{3\pi\mu D_p v}{C} \quad (6)$$

$$Z_e = \frac{Cne}{3\pi\mu D_p} \quad (7)$$

A Equação 7 fornece a mobilidade elétrica da partícula de diâmetro  $D_p$  que possui  $n$  cargas, sendo  $e$  a carga elementar ( $1,6 \times 10^{-19}$  Coulomb),  $C$  o fator de escorregamento de Cunningham e  $\mu$  a viscosidade do gás.

Igualando a Equação 3 e a Equação 7, é possível determinar a Equação 8 que fornece uma expressão para cálculo do diâmetro das partículas:

$$D_p = \frac{2neCLV}{3Q\mu \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (8)$$

### 3. MATERIAIS

- Rotâmetros: para controle das vazões de escoamento do gás;
- Mini compressor de ar: produz incremento na vazão e pressão nas correntes de entrada;
- Compressor de ar: dilui as partículas dos testes experimentais;
- Atomizador comercial: gera aerossol polidisperso uniforme;
- Filtros de ar de alta eficiência: realiza alta purificação do ar;
- Secador de difusão: através da sílica gel remove o excesso de umidade do aerossol polidisperso;
- Fonte neutralizadora de raio-X: produz íons de ar positivos e negativos;
- Fonte de alta tensão: introduz tensão ajustável no Nano-DMA;
- Nano-DMA: equipamento projetado e construído pela FEQUI-UFU que seleciona partículas produzindo uma corrente monodispersa;
- Contador de Partículas (CPC): classifica partículas e mede suas concentrações.

### 4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Duas soluções com volume de aproximadamente 80 mL preparadas com NaCl e água ultrapura foram utilizadas, uma com concentração de 0,1 g/L de NaCl e outra de 0,5 g/L. Primeiramente, o ar advindo do compressor passava pelos filtros de alta eficiência para remoção de impurezas e era conduzido ao reservatório do atomizador comercial onde estava a solução de NaCl. Aqui, era gerado o aerossol polidisperso que seguia para o secador de difusão, este era formado por dois cilindros concêntricos com o espaçamento entre eles preenchido por sílica-gel com intuito de minimizar a umidade do aerossol de entrada. Posteriormente, o aerossol adentrava o neutralizador de raio-X, produzindo uma corrente de aerossol neutralizado para classificação.

Essa corrente, então, entrava pelo topo do Nano-DMA, que, conectado à fonte de alta tensão, produzia a corrente de saída. Foram aplicadas 22 medidas de tensões entre 20 - 4000V em cada uma das duas soluções. O contador de partículas realizava, então, as medidas de concentração das correntes de entrada, saída e excesso. Para maior precisão de resultados foram realizadas tréplicas do experimento.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seleção da faixa de diâmetro desejada é função da tensão aplicada no eletrodo central, que determina a força do campo elétrico produzido. Portanto, ajustando-se valores de tensões pode-se regular a dimensão das partículas coletadas.

Conforme apresentado por Dalcin (2013), pela distribuição de cargas proposta por Wiedensohler e pela da Equação 7, pode-se concluir que quanto maior a partícula, menor será sua mobilidade elétrica, todavia, quanto maior sua carga, maior será sua capacidade de se movimentar através do campo aplicado.

Nas Figuras 2 e 3 estão representados o comportamento obtido para o aerossol monodisperso e de excesso para as concentrações de NaCl de 0,1 g/L e de 0,5 g/L, após a realização das tréplicas para cada concentração, constando o desvio padrão obtido para cada  $D_p$ . Essas figuras foram geradas pelo software Origin a partir dos dados coletados pelo contador de partículas.

Figura 2 – Composição de concentrações do aerossol monodisperso

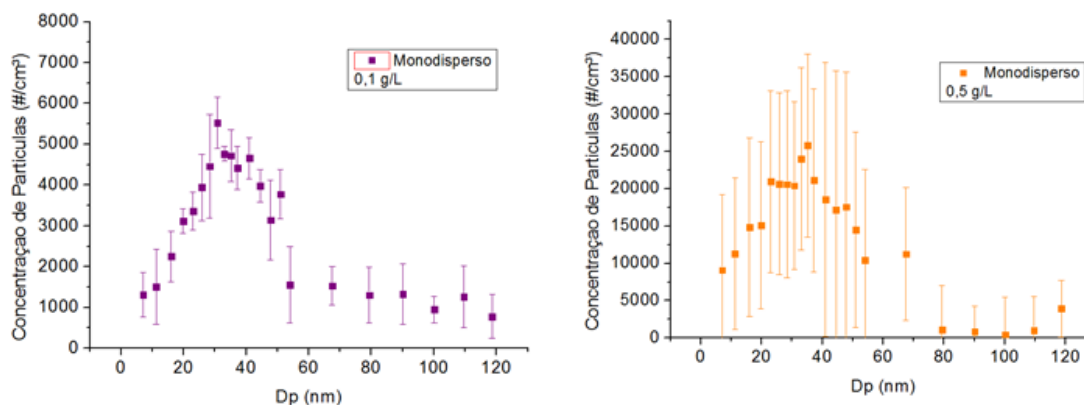
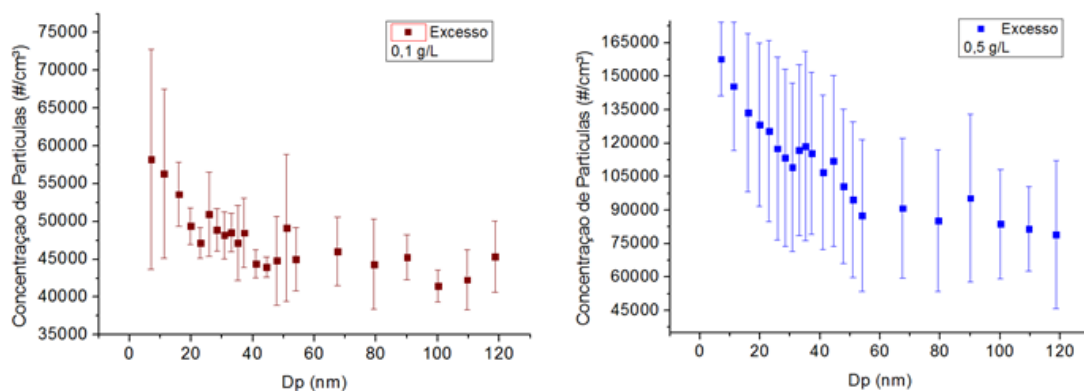


Figura 3 – Composição de concentrações na corrente de excesso



Como pode ser observado pela análise das Figuras 2 e 3, a concentração de nanopartículas presentes nos aerossóis de saída aumenta quanto maior for a concentração de NaCl utilizado. Observa-se que para um mesmo  $D_p$ , há uma maior concentração de partículas na solução de 0,5 g/L NaCl. Os resultados obtidos a partir das duas amostras indicam a capacidade de classificação do equipamento quando se trata de partículas nanométricas, sendo que isto pode ser afirmado pela análise do exposto por Camargo (2015). Testes subsequentes mostram-se necessários, mas os resultados apresentados por esse equipamento foram bastante promissores.

## 5. CONCLUSÕES

Nos testes realizados com o Nano-DMA foi possível produzir nanopartículas monodispersas em correntes gasosas, além de se observar que a concentração de partículas aumenta com o aumento da concentração salina utilizada.

## 7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelos recursos concedidos para a elaboração do projeto.

## 8. REFERÊNCIAS

- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). PAS 71 – Vocabulary for nanoparticles, 2011.
- CAMARGO, E.C.M. Estudo do Desempenho de um Analisador de Mobilidade Elétrica de Nanopartículas. Universidade Federal de Uberlândia, 2013, Brasil. Dissertação de Mestrado.
- CHEN, D. R.; PUI, D. Y. H.; HUMMES, D.; FISSAN, H.; QUANT, F. R.; SEM, G. J. Design and evaluation of a nanometer aerosol differential mobility analyzer (nano-DMA). *J. Aerosol Sci.*, v. 29, p. 497-509, 1998.
- DALCIN, M.G. Geração de nanopartículas monodispersas em correntes gasosas. Universidade Federal de Uberlândia, 2013, Brasil. Tese de Doutorado.
- OBERDÖRSTER, G.; SHARP, Z.; ATUDOREI, V.; ELDER, A.; GELEIN, R.; KREYLING, W.; COX, C. Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation toxicology*, v. 16, p. 437-445, 2004.
- POPE, C. A. Particulate pollution and health: a review of the Utah valley experience. *J. of exposure analysis and environmental epidemiology*, v. 6, p. 23-34, 1995.