

Recibido: 25 / 05 / 2009, aceptado en versión final: 10 / 06 / 2009

Metodología innovadora para la determinación de material particulado en suspensión y sus aplicaciones en la industria minera

Innovation methodology for determination of particulate material in suspension and it's application in the mining industry

Fernando Cezar Scandoleira¹, José Renato B. Lima², Pilar Hidalgo Falla³

RESUMEN

Debido a que las metodologías existentes para la determinación de la cantidad de partículas sólidas suspendidas en el aire son poco precisas en la industria minera, en este trabajo fue mejorado el sistema de medición clásico, con adaptaciones que lo tomaría más preciso. La metodología innovada se muestra de gran potencial también para la industria de fertilizantes.

La innovación de este equipo consiste en un recipiente de dimensiones calculadas, que es usado para transportar los materiales que serán evaluados, provocando desprendimiento y suspensión de material particulado. Estas partículas sólidas son colectadas a través de un sistema de filtro con soporte y una bomba de vacuo constante, a cual colecta separadamente una muestra representativa de las partículas en suspensión durante un período determinado. Después de la colecta, este sistema es pesado y comparado con el peso inicial, dando parámetros para definiciones de tratamientos de control de emisiones de los sólidos suspendidos. Se trata de un equipo portátil, con buena reproducibilidad y bajo costo, que lleva en cuenta las más diversas variaciones y etapas de una evaluación de atmósferas poluidas por partículas sólidas.

El trabajo fue direccionado para un sector del área minera y el sector de fertilizantes, área de gran estrategia económica en Brasil. Con la metodología propuesta fueron evaluados diversos tipos de aditivos conocidos como anti polvo (**anti dust**). Los resultados de las evaluaciones hechas cuando fueron comparados entre sí, mostraron variaciones notables para algunos tipos de **anti dust** con relación al blanco (muestra sin aditivo), así el nuevo método puede ser considerado de buena precisión, y de un gran potencial para el sector minero y la área de fertilizantes.

Palabras clave: Anti polvo, suspensión, metodología, colector, medición.

ABSTRACT

The existents methodologies available for the proposal of determination of quantity of solids in the air, have low precision in the mining industry, this work presents an adaptation in a already and classic existent system, what transform it in a more precise one. This innovated methodology presents a big potential also in the fertilizer industry.

The innovation of this equipment consists in a recipient with calculated dimensions that is used to "throw" the material that is going to be evaluated, causing the loose or a suspension of the dust; this material is collected through a system of filter, with a support and a special constant vacuum pump. This system is able to collect a representative quantity of particles separated, during a determinated period of time. After this, the system is weighted and the weigh is compared with the initial weigh, giving parameters for the definitions of the dust controls and treatments. It is a portable equipment, with good reproducibility and low cost, that takes in account the all the various and steps of an evaluation of the polluted atmosphere from solids particles.

1 Alumno de Maestría del Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica/ USP -Brazil. E-mail: fcscandoleira@terra.com.br

2 Profesor Asociado del Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica/ USP -Brazil. E-mail: irblima@usp.com

3 Doctora-Investigadora del Departamento de Engenharia de Materiais e Sistemas Eletrônicos, Escola Politécnica/ USP-Brazil. E-mail: drapilar@gmail.com
Dirección para correspondencia: Dra. Pilar Hidalgo. Departamento de Sistemas Eletrônicos, Escola Politécnica da USP: Av. Prof. Luciano Gualberto trav 3, N°158, CEP 05508-900, São Paulo SP.

This paper was focused in a sector of the mining industry, the fertilizer sector, a very important economic area in Brazil. Using the proposed methodology, some different anti dusts were evaluated. The results of the evaluations done when compared between themselves, showed notables variations for some kind of anti dust when compared with the fertilizers without additives, then the precision of the new method can be considered good and it has a big potencial in the mining sector and in the fertilizer industry.

Keywords: Anti dust, suspension, methodology, collector, measurement.

I. INTRODUCCIÓN

La emisión de particulados es un problema serio en las áreas de industriales y de manera particular en el sector minero. Estas emisiones son producidas desde la extracción hasta el transporte, pasando por las etapas de preparación de las muestras, procesos y manoseo. El material particulado es un potencial peligro a la salud humana, medio ambiente, condiciones de trabajo, en fin, a la productividad de una mina. (Department of environment, Australian Government 2005; Husar, 2001; Petavratzi, 2005). De acuerdo con el Departamento de Energía de los EE.UU., la emisión de partículas de las minas es un tema de alta prioridad para la industria, y las mejoras en los métodos pasivos y activos son necesarias para el control de estas emisiones (US Department of Energy, 2000).

Conforme la visión de las autoridades de Planeamiento de Minerales del Reino Unido, en la evaluación de las posibles fuentes y emisiones de material particulado en las minas la dimensión del problema varía considerablemente de acuerdo con el tipo y composición del mineral. (Arup environmental, 2005).

Así se hace necesario el desarrollo de agentes aditivos de tipo anti polvos (*anti dust*). Estos pueden ser empleados en diversos sectores de la industria. Específicamente en la minería, puede aplicarse en:

- Carreteras,
- Montes de minerías,
- Recubrimientos de rochas
- Recubrimiento de gránulos de fertilizantes,
- Transportes e estoque de minerías, etc.

En el presente trabajo este aditivo *anti dust* se adiciona para recubrir los gránulos de fertilizantes fosfatados, específicamente el Súper Fosfato Simple (SSP).

Esta aplicación está hecha con equipos especiales, con bombas y boquillas definidas para cada unidad industrial. El efecto del aditivo (*anti dust*) es definido considerándose varios aspectos de la unidad de producción y aspectos físicos de los gránulos. El mecanismo de actuación es la formación de una especie de capa hidrofóbica alrededor del gránulo, lo que impide el desprendimiento del polvo.

La información técnica y las referencias bibliográficas respecto del área de mediciones de cantidades de partículas suspendidas en la industria minera son muy pocas.

Existe un equipo moderno, rápido y eficiente que lee la cantidad de partículas suspendidas a través de la absorción, y está ligado a una computadora, que a través de uno programa calcula la cantidad y la velocidad de deposición de las partículas en forma de polvo. Este equipo tiene un costo elevado, lo que inviabiliza su adquisición por gran parte de los posibles usuarios.

En 1988, el Instituto de Florida de Investigación en Fosfatos (*Florida Institute of Phosphate Research – Florida University*) desarrolló una metodología (LUNDGREN *et al.* 1988). En este sistema, el polvo generado por la caída del material es captado por uno ducto aspirador, y luego es colectado en un filtro externo al recipiente; de esta manera, el número de elementos que puede inducir a errores es mayor. También el tamaño del equipamiento es de grandes dimensiones, lo que lo torna poco práctico para ser manipulado en una planta industrial y hasta en el mismo laboratorio.

Basados en esta metodología desarrollada por Lundgren *et al.* (1988), nosotros proponemos algunas variaciones que inducen a un sistema más eficiente y de bajo costo para cuantificar la cantidad de particulados en suspensión y su aplicación en escala laboratorial e industrial. Este sistema también puede ser aplicado en el desarrollo de productos y aditivos (*anti dust*) para esta finalidad, así como también de manera general para el monitoreo de la cantidad de emisiones de particulados suspendidos en la atmósfera. El sistema reproduce con fidelidad y precisión las más diversas condiciones de medición de las partículas en suspensión, con un costo apropiado y accesible a la mayoría de las empresas que actúan en esta área.

En el sector de la minería como en otras industrias, los volúmenes manipulados tanto de materias primas como de productos, sub-productos y poluentes son grandes y cualquier porcentaje de estos volúmenes significan cifras importantes, justificándose así, el interés y la inversión de las empresas en estas tecnologías de control de material particulado. De esta manera, hay una gran demanda de las empresas productoras de estos materiales, éstas a su vez, comprometidas con la

protección de sus funcionarios y con el medio ambiente, pasa a controlar la emisión de particulados originados de la manipulación de minerales, en este caso para la producción de fertilizantes y sus materias primas, durante los procesos productivos y su almacenamiento.

En estos últimos años, algunas empresas productoras de fertilizantes en Brasil y otras partes del mundo están desarrollando trabajos en conjunto con diversos centros de investigación para mejorar las propiedades de los aditivos *anti dust*. Uno de éstos es obtenido partir de un derivado de petróleo: un aceite BPF (bajo punto de fusión) de la Petrobras. Algunos otros aditivos aparecieron pero no fueron bien aceptados por el precio. Después de años de estudios, algunas opciones de tratamientos y productos menos agresivos a la naturaleza llegarán al mercado, estos productos derivados de aceites vegetales (*tall oil*) son biodegradables y no perjudiciales para el medio ambiente.

Para el desarrollo experimental, se realizaron varios ensayos y adaptaciones usando estos aditivos (*anti dust*) y fue posible la definición de una metodología experimental bastante representativa. Con ella se puede medir con precisión y bajo costo la cantidad de materiales particulados suspendidos totales y respirables.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema desarrollado se presenta en la Figura N.º 1, con los componentes señalizados.

Los aditivos que serán evaluados por este sistema son los *anti dust*: FlotigamLSMy FlotigamVMO (de Clariant); Liovac RAGS y Liovac RAGTO (de Miracema-Nuodex), que son incorporados a los fertilizantes a través de una capa que recubre la superficie del material de prueba, y una muestra referencial como blanco (sin aditivo). Esta capa es aplicada en un tambor rotativo con una carga y velocidad de rotación preestablecidas, y con uno equipo llamado aerógrafo, que produce un “*spray*”

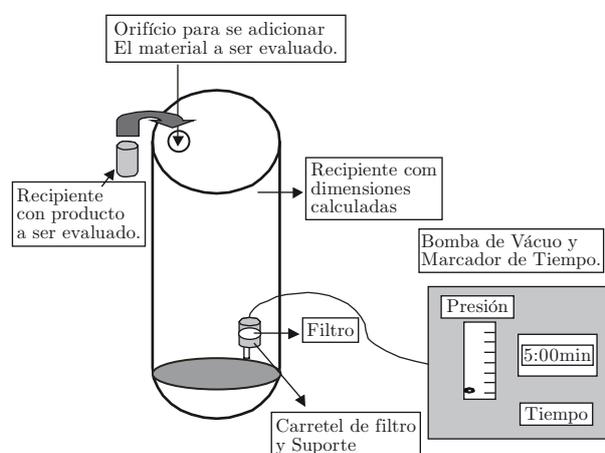


Figura N.º 1. Esquema del sistema propuesto para la determinación de partículas suspendidas.

de producto extremadamente nebulizado, lo que produce una mayor dispersión del producto sobre la superficie del material a ser testado y confiere a la aplicación una mayor precisión.

Un volumen determinado de “material teste” es transportado por un orificio abierto en el topo de este recipiente, que genera una turbulencia que desprende el polvo y en función de una atmósfera prácticamente inerte lo mantiene en suspensión por uno período también determinado (dependiendo de la densidad del material), y este es captado por el sistema de adsorción de las partículas.

El sistema de filtro debe estar previamente limpio y por la diferencia del peso antes y después de captado el polvo, se obtiene la cantidad precisa de material recogido. Este procedimiento puede ser adoptado en los filtros, separadamente, o en el conjunto del filtro y soportes de coleta, siendo que este último conduce a una operación más ágil y menos susceptible a errores, pues elimina la manipulación de los filtros (lo que puede generar pérdida de material colectado).

El filtro o el conjunto debe estar completamente seco (si es necesario se coloca en una estufa a 41 °C por 20 minutos y después en el desecador por 15 minutos), y tarado en balanza analítica con precisión de 0,1 mg, debidamente instalada y aferida previamente a la captación del polvo. Las cantidades captadas son pequeñas y todo el cuidado debe ser tomado para obtenerse resultados reproducibles.

Las muestras que presentan trazos de material particulado y cuyos resultados no son mensurables por la metodología descrita, fueron evaluados usando la técnica de padrón interno, que consiste en adicionar a una masa de un determinado fertilizante una cantidad definida de material particulado y comparado con el “blanco” (fertilizante sin la adición de polvo), utilizando el mismo sistema descrito arriba (Figura N.º 1).

Caracterización del material particulado colectado

Los estudios de caracterización morfológica del mineral colectado de origen superfosfato simples (SSP) de la empresa Copebras - Unidad Cubatão; São Paulo-Brasil, fue realizado en un microscopio electrónico de barrido Philips XL-30 acoplado a una microsonda EDX para análisis espectrométrica de rayos X con detector de elementos leves, tal como se presenta en las micrografías de las Figuras N.ºs 2, 3. Además de esto, usando la metodología infrarroja con transformada de Fourier y técnica de Reflectancia Difusa (DRIFT) fueron evidenciadas las ligazones químicas existentes en este material SPP (Figura N.º 4).

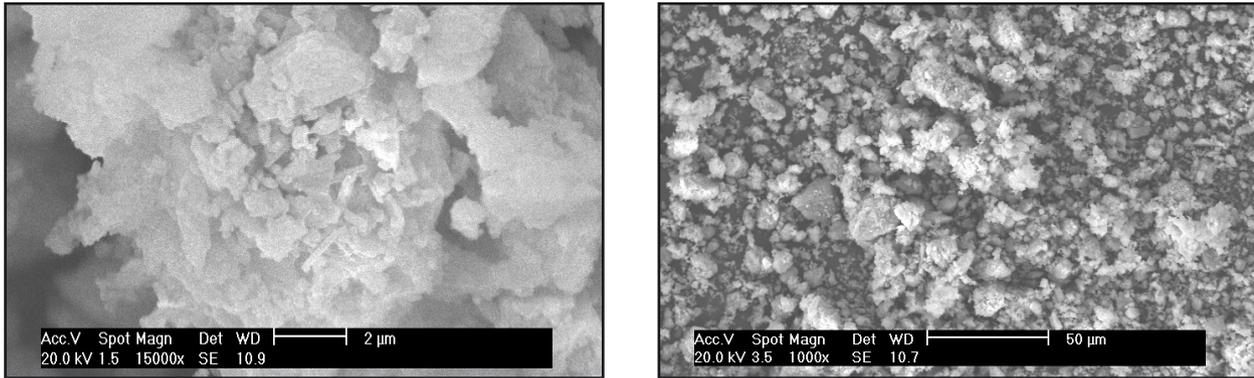


Figura N.º 2: Micrografías del material particulado SSP obtenidas en el equipo MEV Philips XL -30. **Figura N.º 2-A.** Alta magnificación y **Figura N.º 2-B.** Menor magnificación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En las micrografías del material particulado SSP en la Figura N.º 2, fue observada característica bastante porosa de este material (Figura N.º 2-B). Evidenciase también que estas partículas presentan formas y tamaños diferentes que tienden a aglomerarse fácilmente (Figura 2-A).

En la Figura N.º 3 se observa que la composición del material SPP, además de fosfato, presenta algunas impurezas como sales de carbonato y sulfato, probablemente a base de Ca.

El análisis DRIFT (Infrarrojo con Transformada de Fourier y Reflectancia Difusa) permitió verificar las ligaciones químicas del material colectado, tal como lo exhibido en el espectro de la Figura 4. Fue observada una banda amplia en la faja de 3400 cm^{-1} y 1627 cm^{-1} característica de la presencia de agua. Otra banda interesante a 954 cm^{-1} corresponde a ligación P-O; la presencia de sulfato ($\text{SO}_4^{=}$) es evidenciada en la banda a 1137 cm^{-1} a cual también puede indicar la superposición de la banda de fosfato (PO_4^{-3}) (Barbosa, 2007). Las otras bandas observadas: 2325 , 1426 , 1363 , 875 e 754 cm^{-1} probablemente indican la presencia de material orgánico con bandas típicas de C-O y C-H debido a la contaminación durante la preparación de la muestra.

En la Figura N.º 5, usándose la metodología propuesta, son representados los resultados de los cuatro diferentes productos, denominados 1, 2, 3 e 4, correlacionados con los resultados obtenidos (% de polvo generado).

Con los resultados extraídos de la Figura N.º 5, se observó que la metodología es capaz de evaluar las cantidades de polvo mismo en muestras con pequeñas diferencias de concentración. Con relación al blanco (muestra de fertilizante sin recubrimiento), para esta aplicación, los productos [3] y [4] mostraron ser más eficientes que los productos [1] y [2]. Esto se explica por variables que pueden interferir en el

resultado de los ensayos, por ejemplo, la temperatura, la cantidad excesiva de aditivo que puede provocar la penetración de éste dentro del material SPP, fragilizando su superficie con posible variación en la composición del material, lo que conduce a que la cantidad de material particulado sea mayor que la del propio padrón (muestra sin recubrimiento). Otra explicación está en la composición química de los aditivos, que pueden tener cadena carbónica incompatible con los materiales aplicados. Un buen parámetro para controlar este problema sería evaluar los índices de acidez libre de la superficie del material a ser recubierto.

Fueron evaluados también con la metodología y sistema descritos otros materiales como por ejemplo, el coque de petróleo, procedente de la Petrocoque (Empresa filiada al Petrobras) y los resultados fueron bastante interesantes y precisos.

4. CONCLUSIONES

La metodología y el sistema presentados en este artículo, se mostraron bastante eficientes, simples y accesibles para ser aplicados en las empresas mineras y potencialmente interesantes para el área agroquímica en la industria de fertilizantes. Este sistema puede ser también adaptado en los laboratorios de investiga-

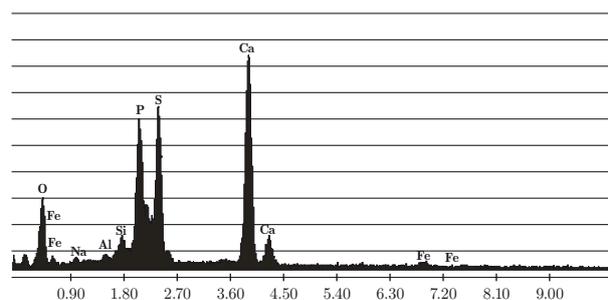


Figura N.º 3. Análisis elemental usando equipo MEV Philips XL- 30 y Microsonda EDX.

ción y desarrollos de otras industrias y universidades para control de emisiones de material particulado en suspensión.

Todos las pruebas experimentales realizadas con la metodología y sistema propuestos en este trabajo fueron ejecutadas en las condiciones descritas, por lo que se obtuvo un número coherentes de datos y resultados bastante precisos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Arup Environmental (1995). *The environmental effects of dust from surface mineral workings*. London, HMSO, PECD 7/1/468.
- [2] Barbosa, LC. (2007). *Espectroscopia en ele Infravermelho en la caracterización de los compuestos orgánicos*. Ed UFV, Viçosa, Brasil. pp.137-138.
- [3] Department of environment. Australian government 2005. Sustainable Minerals-Dust Control. Department of Environment. <http://www.deh.gov.au> (Acceso en: 7.3.2005).
- [4] Husar, RB., et al. (2001). Asian dust events of April 1998. *Journal of Geophysical Research* 106 (D16), pp. 18317–18330.
- [5] Lundgren, D., Rangaraj, NC. (1988). *Fugitive dust control for p pg. 12-14.fertilizer*. Institute of Phosphate Research, University of Florida. Florida. (Publication N° 01-015-069). pp. 12-14.
- [6] Petavratzi, E., Kingman, S., Lowndes, I. (2005). Particulates from mining operations: A review of sources, effects and regulations. *Minerals Engineering* 18. pp. 1183-1199.
- [7] US Department of energy (2000). *Mining industry of the future: Mineral processing technology roadmap*. Office of industrial technologies. <http://www.eere.energy.gov> (Acceso en 1.5.2005).

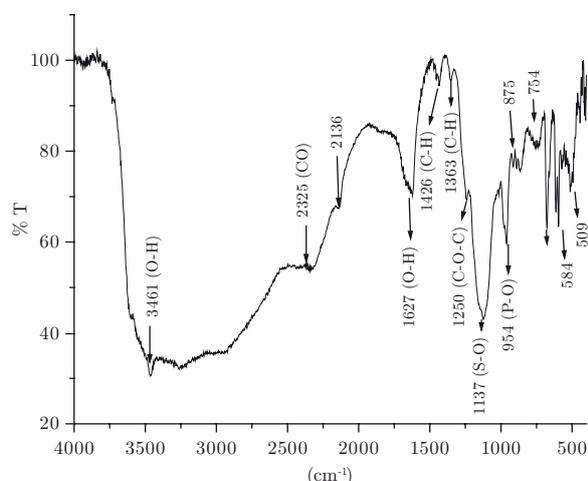


Figura N.º 4 : Espectro infrarrojo con técnica DRIFT del Superfosfato SSP.

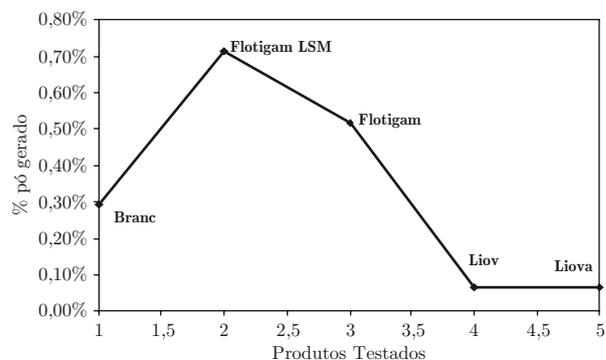


Figura N.º 5. Resultados de colecta de polvo con los productos aplicados: [1] Flotigam LSM; [2] Flotigam VMO; [3] Liovac RAGS; [4] Liovac RAGTO.