

# Nível de PM<sub>10</sub> vs descargas de *dumpers* em explorações a céu aberto

## PM<sub>10</sub> level versus dumpers discharges in open pit mines

**Branco, J. Castelo<sup>a</sup>; Diogo, M. Tato<sup>b</sup>, Baptista, J. Santos<sup>a</sup>;**

<sup>a</sup> CIGAR/FEUP

Endereço

[jcb@fe.up.pt](mailto:jcb@fe.up.pt); [jsbap@fe.up.pt](mailto:jsbap@fe.up.pt)

<sup>b</sup> CIAGEB/UEFP

Endereço

[mtatod@uefp.edu.pt](mailto:mtatod@uefp.edu.pt)

### RESUMO

O trabalho aqui apresentado procura dar um primeiro contributo sistemático na procura e definição de relações entre as variáveis ocupacionais e as condicionantes do processo produtivo. A perspectiva foi a de encontrar relações causa/efeito entre as condições do ambiente ocupacional, nomeadamente as PM<sub>10</sub> e os procedimentos envolvidos na operação do sistema torva/primário em explorações a céu aberto. Foram efectuadas medições durante todo o período de trabalho em três explorações a céu aberto durante vários dias, dentro e fora da cabine do operador. Simultaneamente foram ainda anotados os tempos das ocorrências dos elementos considerados críticos do processo produtivo como as descargas dos *dumpers* na torva ou os encravamentos do primário. Da análise dos resultados, foram encontradas relações directas e indirectas entre as variáveis medidas. Como conclusão mais relevante foi confirmada uma forte relação entre as PM<sub>10</sub> e o ciclo de alimentação da torva. Nos registos efectuados, a velocidade de dissipação das PM<sub>10</sub> é muito superior ao esperado.

*Palavras-chave:* pedreira, primário, PM<sub>10</sub>, *riscos*, *segurança*.

### ABSTRACT

The present paper seeks a first systematic contribution to find and define relations between occupational variables and the productive process restraints. The scope was the need to find cause-effect relations between the occupational environment conditions, namely PM<sub>10</sub> and the procedures involved in the primary/discharge bin system in open pit mining. Data collection during the entire working schedule took place in three aggregate companies, for several days, in and outside the system operator's booth. Simultaneously, occurrence time of elements of the productive process, considered critical, such as *dumpers* discharges or the primary crusher jamming, were noted down. From the results analysis, direct and indirect relations, between the registered variables were found. As a main conclusion, a strong relation between the PM<sub>10</sub> and the *dumpers* discharge cycles was confirmed. However, according to the registers, these cycles exhibit a dissipation velocity higher than the one expected.

*Keywords:* Open pit, crusher, PM<sub>10</sub>, risk, safety

## 1. INTRODUÇÃO

Em matéria a gestão da prevenção de riscos ocupacionais, o exercício da actividade profissional na indústria extractiva é classificado como sendo de risco elevado pelo disposto no artigo 79.º da Lei n.º 102/2009 de 10 de Setembro. Este risco está intimamente associado à utilização de explosivos bem como ao facto dos trabalhos de pedreira decorrerem, na sua maioria, no exterior e sob a influência de diversos factores tais como, movimentação de equipamentos, ruído, poeiras, condições climáticas adversas, projecções, entre outros.

Essa característica pode ainda ser agravada se for considerado o carácter cumulativo entre os diferentes factores de risco. Neste sentido, o trabalho aqui apresentado procura dar um primeiro contributo sistemático na procura e definição de relações entre as variáveis ocupacionais e as actividades do processo produtivo.

Na indústria extractiva o trabalho é feito frequentemente em situações limite. No entanto, efectuadas as medições dos respectivos parâmetros, verificou-se, que as empresas têm a preocupação de que os valores de todos os parâmetros com valores limite de exposição (VLE) definidos legalmente, estejam dentro dos limites impostos.

No que diz respeito às  $PM_{10}$ , consideram-se como factores de análise para efeitos de avaliação, unicamente os valores limite exposição definidos na legislação. Não são considerados eventuais efeitos sinérgicos da exposição conjunta com outros parâmetros, como por exemplo o ruído ou o ambiente térmico que também são avaliados de forma independente. Neste contexto, estão também por analisar outras vertentes como as características do local, a disposição dos equipamentos, os métodos de produção, a relação entre as próprias variáveis de risco, para que a avaliação das condições de trabalho tenha uma profundidade adequada ao risco da actividade.

Neste trabalho, a perspectiva foi a de encontrar relações causa/efeito entre as condições do ambiente ocupacional, nomeadamente as  $PM_{10}$  e os procedimentos envolvidos na operação do sistema torva/primário em explorações a céu aberto. Neste contexto, os objectivos principais deste trabalho foram os seguintes:

- i) caracterizar o parâmetro  $PM_{10}$  junto do sistema torva/primário;
- ii) verificar da existência, ou não, de uma relação com parâmetros operacionais.

## 2. METODOLOGIA E RECOLHA DE DADOS

Foram recolhidos dados em três empresas com exploração a céu aberto:

i) Exploração A: Quartzo, Feldspato e Granito (<100 ton/dia)

Neste local a recolha de dados processou-se entre 18 de Março e 15 de Junho de 2008, mediante condições atmosféricas idênticas e típicas de dias de primavera amenos. A recolha foi feita no exterior, num acesso lateral ao sistema torva/primário ficando os equipamentos de medição, por questões de espaço e de segurança, colocados a aproximadamente 3 metros de distância da cabine do operador. As medições foram realizadas de manhã e de tarde, de forma a abranger a variação das condições verificadas num dia normal de trabalho (8 horas de trabalho diárias).

ii) Explorações B e C: Granito (<400ton/dia)

A recolha de dados foi efectuada no interior e no exterior das cabines de comando. Para a exploração B foi efectuada entre os dias 18 de Março e 21 de Abril de 2009, mediante condições atmosféricas idênticas e típicas de dias de primavera amenos. Na exploração C a recolha de dados realizou-se entre os dias 5 e 26 de Maio de 2009, mediante condições atmosféricas típicas de um dia de verão quente. Em ambos os casos as medições foram realizadas durante todo o dia de trabalho.

Todos os registos foram efectuadas com intervalos de 100 segundos, dentro e fora da cabine do operador. Simultaneamente foram ainda anotadas as horas das ocorrências dos elementos considerados críticos do processo produtivo como as descargas dos dumpers na torva ou os encravamentos do primário.

Todos os registos foram efectuados em dias de céu limpo e após um número suficiente de dias sem pluviosidade de modo a garantir a secagem dos materiais oriundos da pedra.

A colheita de dados foi efectuada nas zonas de trabalho onde a formação de poeiras era mais evidente, com o aparelho colocado à altura aproximada das vias respiratórias do trabalhador, tendo as amostragens, em cada situação, ocorrido durante o tempo normal de trabalho. Os resultados são apresentados em gráficos onde se encontra expressa a evolução da relação entre a concentração (C [ $mg/m^3$ ]) e o valor limite de exposição (VLE [ $2 mg/m^3$  – valor limite legal adoptado]) ao longo do tempo. Nos gráficos encontram-se ainda assinalados, com um ponto, os momentos das descargas dos dumpers na torva.

O material descarregado pelos dumpers é constituído por uma mistura, com uma percentagem variável terra e blocos de pedra que podem pesar, cada um, várias centenas de quilos.

## 3. ANÁLISE E DISCUSSÃO RESULTADOS

### 3.1. Análise fenomenológica – factores intrínsecos ao processo

Da análise global dos dados apresentados nos gráficos das figuras seguintes, cruzados com os elementos do processo produtivo recolhidos em simultâneo nos diferentes locais, é possível efectuar uma análise fenomenológica da evolução dos valores apresentados nesses mesmos gráficos.

Tomando como exemplo os gráficos da figura 1 e da figura 2, é possível, numa primeira análise, observar que, na generalidade dos momentos de descarga dos dumpers, as emissões de partículas se encontravam em fase descendente e que após essa descarga o seu valor sobe, atinge um pico e volta a descer. Pode-se ainda constatar que entre duas descargas (dois pontos do gráfico, cujo intervalo corresponde a um ciclo produtivo) são encontrados um ou mais picos de produção de  $PM_{10}$ .

Analisando as operações do sistema torva/primário, no sentido dos materiais, dentro de um ciclo do processo produtivo, para tentar compreender a causa dessas oscilações, verifica-se o seguinte:

1. O tempo que decorre entre duas descargas é variável, ou seja, a duração dos ciclos produtivos não é constante;
2. O volume descarregado pelo dumper, no início de cada ciclo produtivo é variável, tal como a respectiva granulometria;

3. O volume pré-existente na torva antes de cada descarga é variável, bem como a sua distribuição granulométrica;
4. Devido a fenómenos de classificação natural, há a tendência, dentro de cada ciclo produtivo, na torva, de uma maneira geral, que as partículas de menor dimensão abandonem o sistema mais cedo;
5. O alimentador do britador primário não funciona em regime contínuo, ou seja, tratando-se de alimentadores vibratórios, o seu nível de agitação varia para manter a câmara de fragmentação do britador primário com o volume de alimentação adequado ao seu funcionamento;
6. A produção instantânea do britador primário varia, de acordo com as dimensões e características físicas das partículas da própria alimentação.

Para além de todos estes factores intrínsecos ao processo é necessário ainda considerar os factores climáticos, cujos aspectos preponderantes na produção e controlo das poeiras são, respectivamente o vento e a pluviosidade.

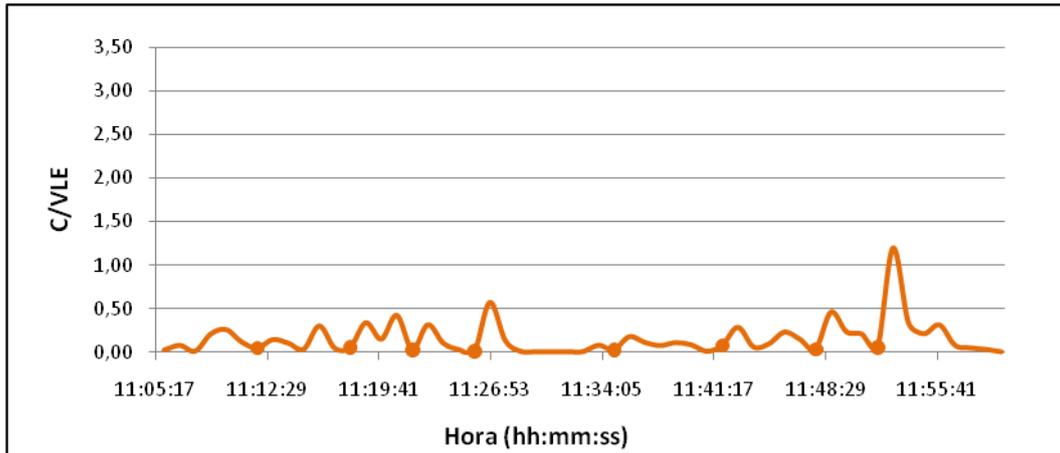


Figura 1 - Evolução da relação C/VLE ao longo do tempo para a Exploração A - dia 18 de Junho de 2008 da parte da manhã.

Numa primeira análise aos factores potencialmente produtores de  $PM_{10}$ , é possível constatar que cada um deles tem o seu ciclo de variação de produção destas partículas. Da síntese de todos eles resulta o ciclo de apresentado nos gráficos.

Retirado o factor vento, que apenas condiciona o tempo de permanência de partículas no local devido à sua intensidade e direcção, restam os factores inerentes ao processo. Destes, surgem como determinantes a descarga dos dumpers, o transporte das partículas pelo alimentador e a operação de fragmentação do britador. De todos, este último factor é o que apresenta uma produção mais constante de  $PM_{10}$  ao longo do tempo e é também o mais controlado em termos industriais. Dado que é normal fazer-se a aspersão com água na boca do britador, é, portanto o que, potencialmente, menos contribui para a oscilação dos valores registados das  $PM_{10}$ . Restam assim, os outros dois: descarga dos dumpers e o transporte de partículas pelo alimentador.

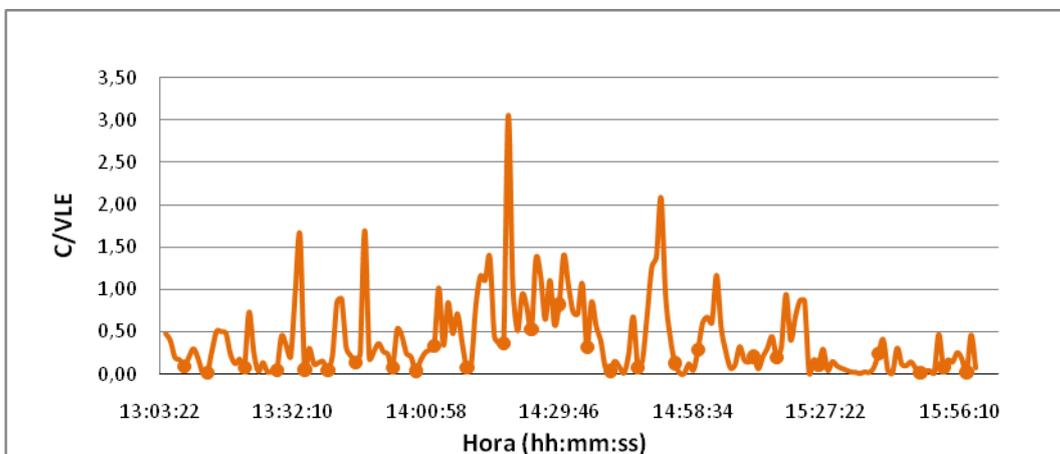


Figura 2 - Evolução da relação C/VLE ao longo do tempo para a Exploração A - dia 18 de Junho de 2008 da parte da tarde

Atendendo a que a descarga dos dumpers apenas pode justificar o primeiro pico, é, necessariamente, a variação da frequência de vibração do alimentador que, conjugada com as características dos produtos existentes na torva, vão ser responsáveis pela generalidade das oscilações da concentração de  $PM_{10}$  em torno do sistema torva/primário.

### 3.2. Análise fenomenológica – Temperatura e humidade

Um outro aspecto observado foi a variação da produção de  $PM_{10}$  ao longo do dia. Os valores das concentrações são sistematicamente mais elevados no período da tarde do que no período da manhã. Considera-se que durante toda a manhã o material tem tendência a secar de alguma humidade absorvida ao longo da noite e que, chegado ao período da tarde, já se encontra completamente seco e, por isso, seja mais fácil a formação de poeiras. Comparando o gráfico da figura 1 com o da figura 2 é possível constatar este fenómeno que, de acordo com os dados disponíveis, é generalizável às restantes explorações. Este factor deve ser confirmado em próximos trabalhos

### 3.3. Análise fenomenológica – velocidade do ar

Outros factores que poderão ser significativos para avaliação desta variável são a velocidade do ar e a direcção do vento, verificadas em algumas situações pontuais nas medições, e que pela observação durante os períodos de medição e confirmado nos valores registados, se considerou fundamental. No entanto não foi possível confirmar esta suspeita por falta de equipamento que medisse a direcção do vento. Este factor terá de ser considerado em futuros trabalhos.

### 3.4. Valor limite de exposição (VLE)

Um outro aspecto importante para a análise das condições de trabalho é a análise do tempo de exposição dos trabalhadores a concentrações de  $PM_{10}$  superiores ao VLE legalmente fixado. Voltando à análise dos gráficos da figura 1 e da figura 2, é possível observar que apenas pontualmente a concentração de  $PM_{10}$  ultrapassa o VLE ( $C/VLE > 1$ ). A rigor, o VLE apenas é ultrapassado por breves momentos uma única vez no período da manhã e, no período da tarde, é ultrapassado durante cerca de 30 minutos após as 14h10 como resultado de 4 descargas consecutivas em que não foi dado tempo ao sistema para recuperar. Cabe aqui assinalar que os valores aqui apresentados correspondem às concentrações de  $PM_{10}$  mais elevadas do conjunto de registos efectuados. No gráfico da figura 3 pode ser observado o registo das medições efectuadas no dia 21 de Maio na exploração C. Neste registo nenhum dos picos ultrapassa os 50% do VLE.

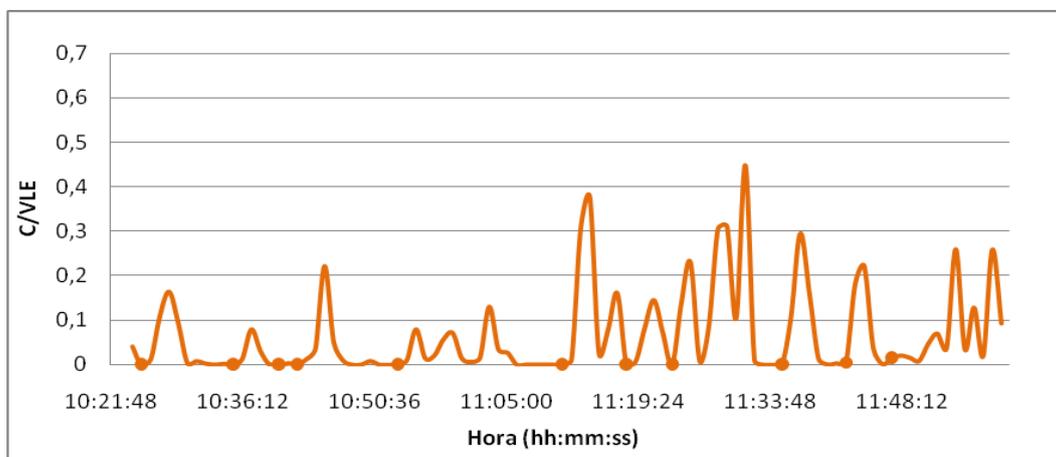


Figura 3 - Evolução da relação C/VLE ao longo do tempo para a Exploração C- dia 21 de Maio de 2009

### 3.5. Análise fenomenológica – recuperação do sistema

Um dos aspectos mais inesperados de todo o conjunto de registos efectuados foi a capacidade de recuperação das condições de trabalho apresentada pelo sistema torva/primário.

Voltando à análise dos gráficos da figura 1 e da figura 2, é possível verificar as rápidas oscilações que ocorrem no valor da concentração das  $PM_{10}$  não só dentro de cada ciclo produtivo, como também ao longo de todo o dia de trabalho. Constata-se que o tempo de recuperação total do sistema oscilava entre um e quatro minutos, de acordo com o valor da concentração atingido. Na generalidade das vezes esse valor rondava os dois minutos.

### 3.6. Análise fenomenológica – Interior da cabine do operador

Com excepção da Exploração A, em que por razões inerentes ao funcionamento do sistema torva/primário, o operador era obrigado a passar a maior parte do tempo de trabalho fora da cabine, nas restantes explorações, esse tempo era passado no interior da mesma. Para analisar as condições de exposição às

PM<sub>10</sub> no interior das cabines foram efectuadas medições também ao longo de todo o dia de trabalho. Aqui, os resultados obtidos apontam para valores de concentração que não representam qualquer risco. Sobrepondo os valores medidos com os registos das ocorrências durante o período de trabalho, constata-se que os registos mais elevados, facilmente identificáveis na figura 4, correspondem à abertura da porta para entrada ou saída dos operadores do sistema. Mais uma vez se observa a elevada capacidade de recuperação do sistema.

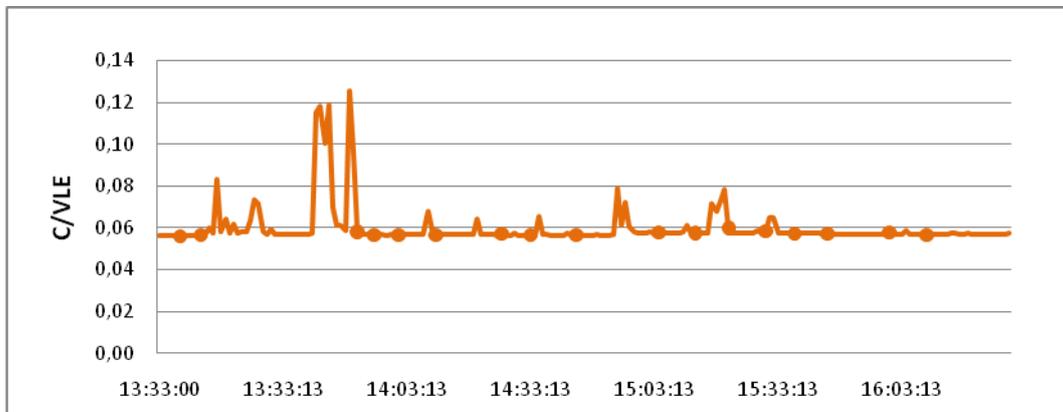


Figura 4 - Evolução da relação C/VLE ao longo do tempo a Exploração B - dia 20 de Abril de 2009 da parte da tarde

#### 4. CONCLUSÕES

Os objectivos principais deste trabalho passavam pela caracterização do parâmetro PM<sub>10</sub>, junto do sistema torva/primário, em três explorações a céu aberto e estabelecer a possível relação entre este aspecto e eventuais relações com os aspectos operacionais.

Relativamente à concentração de PM<sub>10</sub> junto ao sistema torva/primário, verificou-se que sofre grandes oscilações ao longo do dia. Os valores superiores das oscilações registadas nas três explorações são consequência, na sua maioria, das descargas dos dumpers e das fases mais activas da actividade do alimentador. Uma outra variável que se mostrou significativa, foi o intervalo de tempo entre essas descargas. Apesar de os tempos de recuperação das condições ideais de trabalho ser relativamente curto, ronda, em média, os dois minutos, verifica-se que, quando aumenta a frequência das descargas, o valor da concentração das PM<sub>10</sub>, tende a ultrapassar o VLE devido à sobrecarga do sistema em termos desse tipo de partículas.

Nestas condições surge uma solução óbvia para o controlo da concentração de partículas em suspensão e que consiste simplesmente em instalar um sistema de monitorização que controle o ritmo das descargas na torva. Este sistema poderá ter um funcionamento complementar com os sistemas existentes, os quais, usualmente apenas têm em atenção o nível de enchimento da torva para obviar o seu transbordo

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. D.Taeger, M.Kappler, S.Buchte, T.Bruning, & B.Pesch. (2008). *Assessment of exposure in epidemiological studies: the example of silica dust*. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 18 (5): 452-461 SEP.
2. Darlington, T. L. (1995). *Analysis of PM<sub>10</sub> trends in the united states from 1988 through 1995*. Air & Waste Manage Association.
3. HSE. (2009). *Control of exposure to silica dust in potteries*. Obtido em 30 de Junho de 2009, de <http://www.hse.gov.uk/pubns/ceis2.pdf>
4. Jacqueline,C.B.(2009).*Estudo Integrado de Variáveis Ocupacionais na Indústria Extractiva*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais, FEUP.
5. Mantovani, P. D., & Lopes, K. (2004). *Um estudo da poeira respirável de basalto, na produção de brita, e sua influência para o sistema respiratório do trabalhador*. XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção.
6. Meeker, J. (2009). *Engineering Control Technologies to Reduce Occupational Silica Exposures in Masonry Cutting and Tuckpointing*. Public Health Reports.
7. The European Network on Silica. (2006). *Good Practice Guide*. Obtido em 22 de Junho de 2009, de NEPSI -The European Network on Silica: [www.nepsi.eu](http://www.nepsi.eu)