



## PERDAS DE CARVÃO POR ACÇÃO DO VENTO DURANTE O SEU TRANSPORTE EM VAGÕES: ESTUDO EM TÚNEL AERODINÂMICO

**Almerindo Domingues Ferreira**

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Polo II - 3030 COIMBRA, Portugal, almerindo.ferreira@dem.uc.pt

**Paulo Joaquim Antunes Vaz**

Escola Superior de Tecnologia de Viseu, 3504 VISEU, Portugal, paulovaz@demgi.estv.ipv.pt

***Resumo.** O carvão mineral é um dos recursos energéticos mais usados na produção de energia, através da sua combustão nas centrais térmicas ou termoeléctricas, sendo habitualmente necessário o seu transporte por trem entre o porto marítimo e a central onde é consumido. Dependendo do tipo de vagões utilizados, diferentes quantidades de carvão são libertados por efeito de erosão do vento, o que, apesar da sua constituição química, produz um significativo impacto ambiental nos meios urbanos atravessados.*

*O presente trabalho centra-se na análise das quantidades de carvão libertado com a utilização de dois tipos de coberturas de vagões. Trata-se de um estudo realizado num túnel aerodinâmico, com um modelo de um trem, construído à escala 1:25, compreendendo uma locomotiva e quatro vagões. Os resultados experimentais mostram a eficiência dos dois sistemas de coberturas, avaliada através da taxa de libertação de poeiras de carvão. Analisam-se as perdas em função da localização do vagão na composição, tipo de cobertura do vagão, e nível de carregamento inicial. A generalidade dos ensaios foi efetuada para uma velocidade do escoamento de 13.4 m/s, medida numa zona não perturbada.*

***Palavras-chave:** carvão, poluente sólido, transporte, libertação de partículas, erosão eólica.*

### 1. INTRODUÇÃO

Em muitos dos países industrializados, o carvão constitui um dos recursos energéticos mais usados na produção de energia, através da sua combustão nas centrais térmicas ou termoeléctricas. Em boa parte das situações existentes, grandes quantidades de carvão precisam de ser deslocadas entre um porto marítimo (no caso de o carvão ser transportado por barco) e a central termoeléctrica, sendo o trem (comboio) o meio de transporte geralmente utilizado, apesar de existirem outras formas de transporte (Edgar, 1983).

Dependendo do tipo de vagões utilizados, diferentes quantidades de carvão são libertados por efeito de erosão do vento. Apesar de o carvão, pela sua constituição química, não ser um poluente perigoso, ainda assim a sua libertação ao longo do trajecto constitui uma fonte de poluição das povoações atravessadas pelo trem ou próximas do seu percurso, conforme discutido por Lazo e McClain (1996).

Embora existam alguns trabalhos científicos dedicados à questão da armazenagem do carvão (p.e., Xuan e Robins, 1994, Lee e Park, 2000), são raros os estudos relativos à questão do impacto ambiental criado durante o transporte terrestre de carvão. O objectivo do presente trabalho centra-se na análise de dois tipos de coberturas dos vagões usados pela *Tejo Energia, S.A.*, empresa que consome anualmente 1.5 milhões de toneladas de carvão por ano na sua central térmica situada em

Pego-Abrantes, no centro de Portugal, localizada a cerca de 350 km de distância do porto marítimo onde o carvão é descarregado de barcos.

O presente trabalho surge na sequência de um estudo feito à escala real onde se avaliaram as perdas de carvão durante o transporte ferroviário (Ferreira et al., 2001). Trata-se de um estudo experimental, realizado num túnel aerodinâmico, com um modelo construído à escala 1:25 compreendendo uma locomotiva e quatro vagões. Os ensaios experimentais referem-se à observação da variação temporal do peso de um dado vagão em análise, tendo em vista a caracterização da taxa de libertação de poeiras e determinação da quantidade total de carvão libertado. Diferentes configurações são analisadas, nomeadamente as perdas em função da localização do vagão na composição, tipo de cobertura do vagão, e níveis de carregamento. A generalidade dos ensaios foi efectuada para uma velocidade do escoamento não perturbado no túnel aerodinâmico de 13.4 m/s.

## 2. EQUIPAMENTO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. Modelo Laboratorial

Para o presente estudo construíram-se quatro vagões e uma locomotiva, à escala 1:25, o que significa um comprimento máximo de 3.55m quando se empregam todos os elementos desse modelo. Três dos vagões usados estão equipados com um sistema de "semi-tampas" que, à escala real, deixam uma abertura com 1m de largura em todo o comprimento da parte superior do vagão. O outro vagão, desprovido de qualquer sistema de cobertura, tem uma abertura superior com uma largura de 2.17m em todo o comprimento, conforme se mostra na Fig. 1. Por razões de simplificação de explanação, doravante os vagões equipados com semi-tampas são designados abreviadamente por vagões do tipo "ST", enquanto o vagão com a maior abertura superior será considerado do tipo "A".

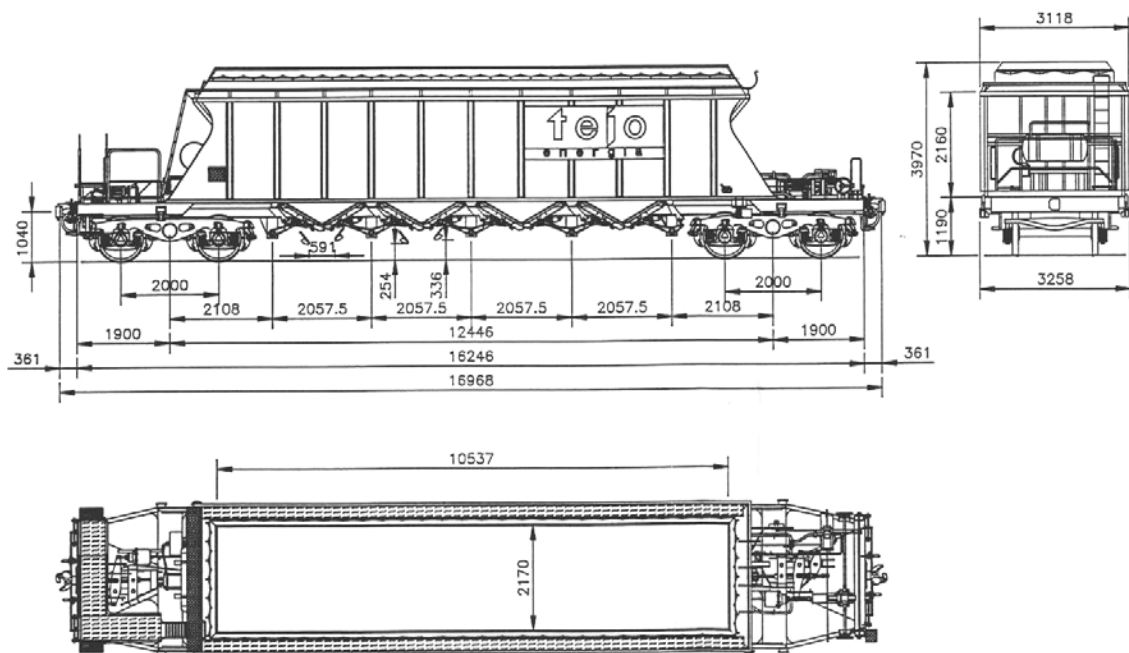


Figura 1. Desenho do vagão aberto com indicação das dimensões à escala real (em mm).

### 2.2. Túnel Aerodinâmico

Os ensaios experimentais deste trabalho foram realizados num túnel aerodinâmico. A secção de trabalho, do tipo aberta, tem 5m de comprimento e 2 de largura, sendo a velocidade máxima do escoamento nessa zona de aproximadamente 25 m/s.

Nos ensaios realizados, para caracterização da taxa de perda de carvão erodido, utilizou-se uma balança electrónica tipo Kern 700, com uma precisão de +/- 0.05g, ligada a um computador que fazia a aquisição do valor instantâneo do peso, com a frequência escolhida. No entanto, devido à turbulência do escoamento e à conseqüente flutuação significativa do peso, a análise que se segue baseia-se sempre no valor médio registado em cada intervalo de 30 segundos, determinado a partir de uma série de valores instantâneos adquiridos à taxa de 1 Hz.

A posição da balança na secção de trabalho do túnel é fixa, distando 2.4m do seu bordo inicial. Embora a posição da composição na câmara do túnel varie de acordo com a simulação pretendida, a localização no túnel do vagão em estudo permanece sempre a mesma. Tal opção justifica-se para garantir que as condições de escoamento na zona do vagão a estudar sejam sempre as mesmas, já que a forma do perfil de velocidade, bem como da intensidade de turbulência, varia ao longo da secção de trabalho. As duas fotos da Fig. 2 mostram o modelo colocado no túnel aerodinâmico e um detalhe do modelo apoiado sobre a balança.



Figura 2. Vista do modelo da composição na secção de trabalho do túnel aerodinâmico (incidência do escoamento paralela ao eixo da composição).

A generalidade dos ensaios foi realizada para uma velocidade de referência do escoamento ( $U_0$ ) de 13.4 m/s, medida numa zona não perturbada do escoamento. A partir de outros testes verificou-se que a velocidade crítica de arrastamento, de partículas é superior a 10.1 m/s, velocidade para a qual se constatou que as perdas eram praticamente desprezáveis, para as condições geométricas definidas e para a amostra seleccionada.

### 2.3. Procedimento Experimental

É sabido que, num ensaio experimental controlado, os valores médios, devem, para condições de regime permanente, ser reproduzíveis. Tal factor condicionou o procedimento de ensaio, o que se traduziu na adopção de algumas medidas que permitissem a obtenção de condições de repetibilidade, nomeadamente o tipo de carvão a utilizar, a forma de carregamento dos vagões, e a escolha de um intervalo de 30s para registo dos valores médios do peso.

#### 2.3.1 Carvão usado

Relativamente ao carvão a usar, e uma vez que não é possível a transposição dos resultados laboratoriais para a escala real onde se têm as condições efectivas de operação, seleccionou-se uma amostra, com granulometria bem definida. O carvão usado foi obtido a partir do habitualmente usado pela empresa *Tejo Energia, S.A.*, embora a amostra utilizada se restrinja à parte filtrada através de uma rede com uma malha quadrada de sensivelmente  $2 \times 2 \text{ mm}^2$ . A análise granulométrica dessa amostra revelou a constituição mostrada na Fig. 3, onde se representa a distribuição relativa e acumulada por classes de tamanho de grão. Conforme se poderá constatar, e de acordo com o

referido anteriormente, a dimensão máxima das partículas é de 2 mm. Para além de peneirado, o carvão utilizado nos ensaios era secado numa estufa, permanecendo 12h à temperatura de 40 °C.

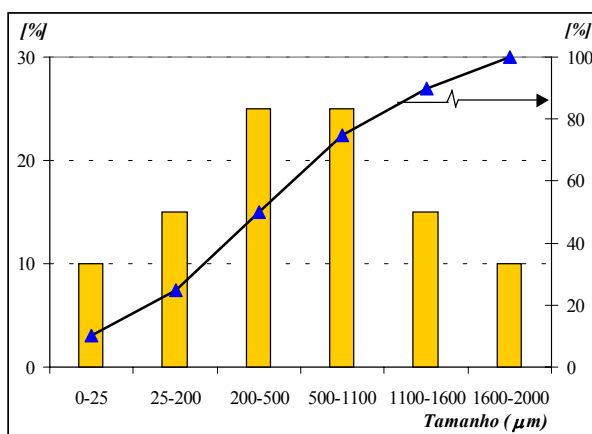


Figura 3. Distribuição por classe de granulometria, relativa e acumulada, de uma amostra típica do carvão utilizado nos ensaios.

### 2.3.2. Formas de carregamento dos vagões

Em condições reais, a superfície superior da carga nos vagões é formada por vários montículos, sendo portanto aleatória. Nos ensaios realizados em laboratório procuram-se modos de carregamento que fossem reproduzíveis para se ter uma base comum de comparação entre os diversos ensaios, pelo que se optou por uma forma plana e horizontal para a superfície superior do carregamento, com dois diferentes níveis de carregamento. Num deles, designado por N0, o vagão ficava raso, ao passo que no outro (N1) a superfície plana superior do carvão dista 0.01m do topo.

A razão para a escolha desses dois níveis relaciona-se com as condições reais de carregamento já que, caso a carga fosse aplanada, ficaria com o nível situado entre aqueles dois limites.

### 2.3.3 Fases de ensaio

O ventilador do túnel, accionado por um motor eléctrico de 230 KVA, dada a sua dimensão usado, tem uma inércia considerável, pelo que a velocidade pretendida no ensaio demora algum tempo a ser atingida. Assim, não se pode dizer, em rigor, que a velocidade de ensaio tenha sido constante durante todo o ensaio. No entanto, conforme referido anteriormente, dado que a velocidade incipiente de arrastamento (erosão) é superior a 10 m/s, a quantidade erodida na fase de aceleração até à velocidade pretendida é desprezável quando comparada com a perda total.

De acordo com o procedimento adotado, num ensaio típico podem definir-se diversas fases, indicadas na Tab. 1.

Tabela 1. Faseamento de um ensaio típico de registo da erosão de partículas

<i>Fase</i>	<i>Intervalo de tempo [s]</i>	<i>Acção</i>	<i>Objectivo</i>
1 <sup>a</sup>	0 – 200	Túnel parado	Controlo estabilidade da balança
2 <sup>a</sup>	200 – 470	Aceleração do túnel	Atingir $U_0 = 13.4$ m/s
3 <sup>a</sup>	470 – 3000*	Velocidade constante	Fase de erosão
4 <sup>a</sup>	3000* – 3300*	Desaceleração do túnel	Avaliação da sustentação
5 <sup>a</sup>	3300* –	Final do ensaio ( $U_0=0$ m/s)	Determinação da perda total

\* Valor limite variável

Na primeira fase, em que se procedia ao registo e preparação de uma série de factores, nomeadamente início da fase de gravação em vídeo da superfície superior do carregamento, pretendia-se sobretudo a aferir a estabilidade da balança, confirmando-se que o valor da pesagem era constante.

Na segunda fase precede-se à aceleração do túnel até à velocidade do escoamento pretendida, usualmente  $U_0=13.4$  m/s. Pela inércia própria do túnel, escolheu-se para essa operação um período de tempo de 270s.

Uma vez estabelecida a velocidade do escoamento pretendida, a terceira fase corresponde ao período de erosão propriamente dito, em que a velocidade do escoamento é mantida constante durante um intervalo de tempo suficientemente longo, até se atingir uma situação aproximada de estabilidade do valor do peso. A duração desta fase é variável, já que a estabilidade do peso não foi atingida em iguais intervalos de tempo. Nalguns casos o ensaio foi terminado antes que a estabilidade fosse observada devido à duração extremamente longa, por vezes superior a 1h30m.

Concluída esta fase de ensaio, e dado que a diferença de pressão entre a parte superior e inferior do vagão é responsável por uma força de sustentação, conforme se discutirá adiante, continuava-se o registo do peso para avaliação da contribuição desta componente nos registos efetuados.

A última fase corresponde, uma vez mais, à verificação da estabilidade do peso indicado pela balança e, uma vez verificada, o peso final permite a leitura real da quantidade total de carvão libertada já que a força de sustentação é então nula.

### 3. RESULTADOS

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos, através da modelação experimental. Conforme foi sucintamente referido na secção anterior, os resultados aqui apresentados dizem respeito ao estudo de um vagão isolado.

Tal como se pôde depreender no capítulo anterior, durante cada ensaio apenas se registava o peso de um vagão. Este procedimento justifica-se para se saiba o que acontece em apenas um vagão, não havendo portanto a possibilidade de interferência de partículas de carvão provenientes de um outro vagão.

Na designação da configuração, atendendo às diversas combinações de posição possíveis, os diversos vagões podem ocupar diferentes lugares na composição. Nas legendas dos gráficos emprega-se uma designação abreviada, pelo que se optou por uma nomenclatura em que a locomotiva é designada por “L”, os vagões semi-tapados por “T” e o aberto por “A”. Para se identificar o vagão a ser pesado durante o ensaio, a posição correspondente é indicada pela letra “P”, substituindo a letra do tipo de vagão correspondente, independentemente do seu tipo. A sequência é sempre composta por um conjunto de 5 letras, a primeira das quais corresponde à da locomotiva (L), seguida de arranjos de três T’s e de um A, sendo então possível identificar a posição e o tipo de vagão em estudo pela letra em falta. Por exemplo, LPTTT corresponde ao caso em que o vagão em estudo ocupa a 1ª posição e é do tipo aberto, sendo as posições consecutivas ocupadas três vagões “semi-tapados”.

A apresentação dos resultados começa com o estudo da força de sustentação, seguindo-se os resultados de um vagão isolado, e depois o estudo das perdas de vagões englobados na composição.

#### 3.1 Força de Sustentação

É sabido que o escoamento em torno de um obstáculo não-simétrico gera uma diferença de pressões que, no caso de gradientes verticais, originam uma força de sustentação, designada vulgarmente por “*Lift*” na literatura inglesa, a qual pode ser positiva ou negativa conforme pressione ou tente levantar o corpo, respectivamente. Nos casos do presente trabalho, essa componente existe e, naturalmente, influencia as leituras de peso, pelo que é fundamental conhecer a sua grandeza.

O procedimento experimental destes ensaios é similar ao descrito na secção anterior, embora com intervalos de tempo diferentes, pelo que no gráfico são mostrados os períodos de aceleração, nomeadamente entre os 0 e os 250s (de 0 a 10.1 m/s), bem como entre os 550s e 700s (de 10.1 m/s a 13.4 m/s), sensivelmente, bem como a desaceleração após os 950s.

O gráfico da Fig. 4 mostra a intensidade do “Lift” registada num vagão isolado, aberto ou semi-tapado, respectivamente, para duas velocidades de escoamento. Da sua análise, poder-se-á constatar que a força de sustentação, ascendente e praticamente igual para as duas configurações geométricas dos vagões, é de 65 gramas e 115 gramas, para as velocidades de 10.1m/s e 13.4m/s, respectivamente. Assim, para determinação da quantidade erodida, ao valor lido directamente do gráfico (negativo) deve-se adicionar-lhe o correspondente módulo da força de sustentação, conforme se exemplificará mais adiante.

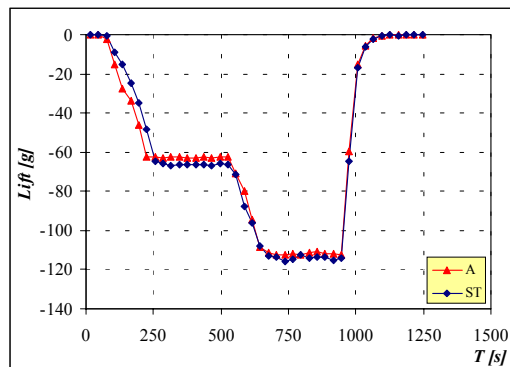


Figura 4. Variação da força de sustentação (Lift) no vagão isolado aberto (A) e semi-tapado (ST), para velocidades do escoamento de 10.1m/s [250s-500s] e de 13.3 m/s [750s-950s].

Os gráficos da Fig. 5 tratam dos casos dos vagões semi-tapado e aberto quando integrados na composição, para as diferentes posições desde a primeira à quarta. Tal como no caso do vagão isolado, também aqui se verifica que a componente da sustentação é ascendente, o que significa que o valor absoluto lido na balança está exagerado por incluir o Lift.

Nas Figs. 4 e 5 é notória a clara distinção da força de sustentação nas situações em que o vagão está isolado ou a última posição da composição, sendo bastante superior à observada quando o vagão está colocado nas posições intermédias.

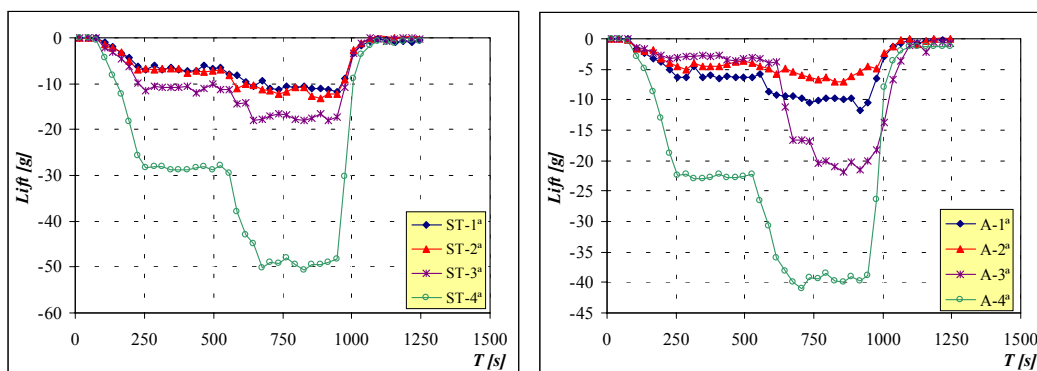


Figura 5. Força de sustentação no vagão colocado em diferentes posições da composição, para velocidades do escoamento de 10.1 m/s [250s a 500s] e de 13.4 m/s [750s a 950s].

A Tab. 2, construída com base na informação dos gráficos das Figs. 4 e 5, compila os diversos valores da força de sustentação para as diferentes situações estudadas.

Tabela 2. Força de sustentação nos vagões em função da sua posição na composição

$U_0$ [m/s]	Vagão	Isolado	1ª Pos.	2ª Pos.	3ª Pos.	4ª Pos.
10.1	Aberto	63	6	5	3	23
	Semi-tapado	66	7	7	11	28
13.4	Aberto	115	10	7	20	40
	Semi-tapado	115	11	12	17	50

\*[em gramas]

### 3.2 Perdas de Carvão de um Vagão Isolado

No caso do vagão isolado importa analisar a influência do tipo de cobertura e do nível de carregamento inicial. A primeira situação apresentada diz respeito ao estudo de um vagão isolado, aberto (A) ou semi-tapado (ST), com dois níveis de carregamento (N0 e N1), conforme mencionado na Secção 2.3.2. Os resultados na Fig. 6 mostram que, no final dos ensaios, quando a velocidade do escoamento já é nula, as perdas de carvão, por ordem crescente, são aproximadamente 85, 120, 285, e 580 gramas.

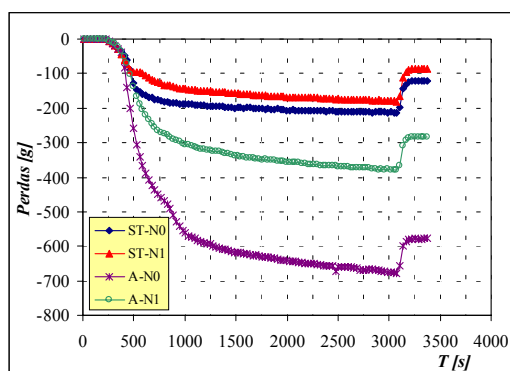


Figura 6. Evolução da perda de carvão ao longo do tempo de um vagão isolado, para dois níveis de carregamento inicial e dois tipos de coberturas.

A primeira conclusão a salientar diz respeito à grande diferença das perdas de carvão entre os dois tipos de vagões. Efectivamente, para os casos N0, constata-se que a relação de perdas entre o vagão semi-tapado e o aberto é de 1:4.8. Ou seja, neste caso, a existência das semi-tampas reduz as perdas em aproximadamente 80%. Tomando N1 como referência (N1), a relação é de 1:3.3, podendo-se concluir que quando o vagão é carregado no nível N1 as tampas reduzem as perdas em sensivelmente 70%.

Se a análise for feita em termos do nível de carregamento, constata-se que as perdas aumentam em 40% quando se passa do carregamento com nível N1 para o nível N0, no caso do vagão semi-tapado. Para o vagão aberto essa diferença é mais pronunciada, com um aumento da ordem dos 100%.

### 3.4 – Perdas de Carvão numa Composição

Analisem-se agora as perdas de um vagão quando inserido numa composição. As Figs. 7 e 8 mostram a taxa de perda de carvão de um vagão colocado, sucessivamente, na primeira, segunda, terceira e quarta posição da composição, respectivamente. Cada gráfico contém a informação para os dois tipos de vagões estudados, bem como para os dois níveis de carregamento, tal como discutido nos casos da Fig. 6.

Saliente-se que, à excepção do gráfico da Fig. 8(b) por este mostrar os resultados quando  $U_0$  é nulo no fim do ensaio, ao valor final da perda de cada série deve ser adicionado o valor absoluto da correspondente força de sustentação, de acordo com a Tab. 2. Assim, por exemplo, na Fig. 7(a), a

perda final de  $-87\text{g}$  indicada no gráfico para o caso LPATT-N0 corresponde uma perda efectiva de  $-76\text{ g}$  ( $-87+11$ ).

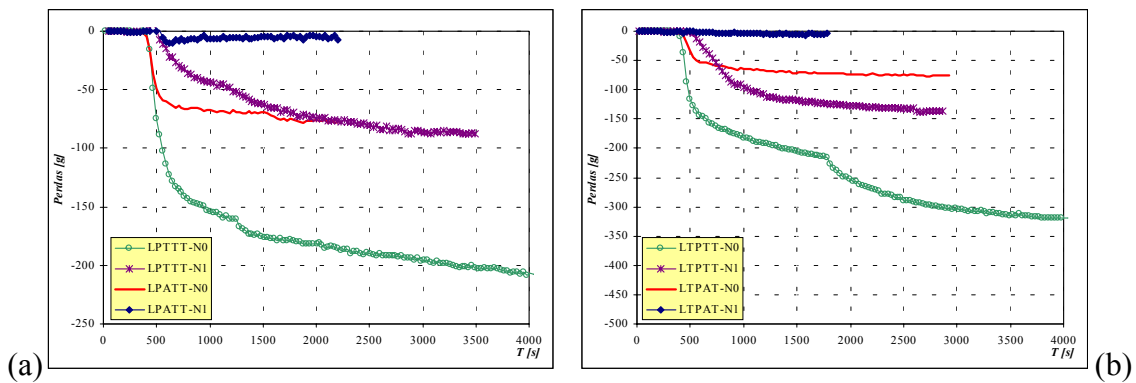


Figura 7. Perdas de carvão de um vagão colocado na primeira (a) e na segunda (b) posição da composição, para diferentes níveis de carregamento inicial e de coberturas.

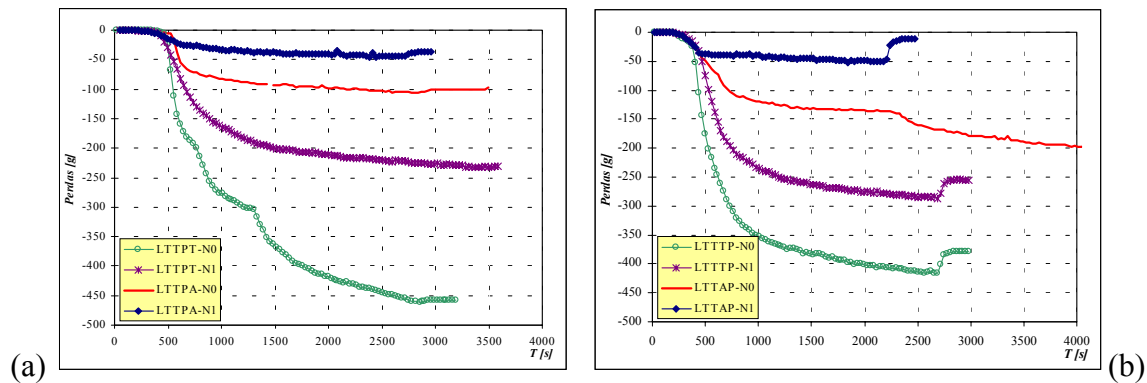


Figura 8. Perdas de carvão de um vagão colocado na terceira (a) e na quarta (b) posição da composição, para diferentes níveis de carregamento inicial e de coberturas.

Da análise ao primeiro caso (Fig. 7a) conclui-se que as perdas do vagão ST, para carregamento nível N1, são praticamente desprezáveis, tal como acontece igualmente quando o mesmo tipo de vagão é colocado na segunda posição (ver Fig. 7b). Da mesma figura, pode dizer-se que as perdas do vagão ST-N0 são idênticas (primeiro caso) ou inferiores (restantes casos) às do vagão aberto com carregamento N1 o que, uma vez mais, ilustra claramente a redução da quantidade de partículas libertadas, conseguida com as semi-tampas.

Se se compararem casos análogos, para ensaios em que o nível de carregamento inicial é o mesmo, pode-se relacionar a quantidade de partículas libertadas por erosão e assim avaliar o desempenho do sistema de cobertura dos vagões. Essa análise é apresentada na Tab. 3.

Tabela 3. Relações de quantidades de carvão libertado entre vagões tipos ST e A

Nível de carregamento	Vagão ST	Vagão A	ST/A*	Posição
N0	LPATT	LPTTT	1:2.5	1 <sup>a</sup>
	LTPAT	LTPTT	1:4.7	2 <sup>a</sup>
	LTTPA	LTTPT	1:5.3	3 <sup>a</sup>
	LTTAP	LTTTP	1:2.7	4 <sup>a</sup>
N1	LTTPA	LTTPT	1:7.0	3 <sup>a</sup>
	LTTAP	LTTTP	1:2.5	4 <sup>a</sup>

\* Valor definido no final do ensaio



Assim sendo, poder-se-á concluir que a utilização de semi-tampas diminui efectivamente a quantidade de carvão erodido, sobretudo para os vagões colocados nas posições intermédias, sendo essa redução sempre para menos de metade da quantidade libertada de vagões abertos.

Caso a análise fosse feita para o nível inferior de carregamento, comparando portanto os casos ST-N1 e A-N1, a relação de perdas seria bastante superior nos dois primeiros casos (Figs. 7a e 7b), dado o baixo valor registado para os vagões ST, razão pela qual não foram indicados na Tab. 3.

De posse da informação relativa aos dois níveis de carregamento, como estimativa poder-se-á dizer que, nas condições reais de funcionamento, a equipagem dos vagões com este tipo de semi-tampas diminui as perdas de carvão por erosão para 1/5 do valor que se registaria se o vagão estivesse totalmente aberto. Pela análise feita, poder-se-á dizer que o valor estimado é certamente um minorante, subestimando o que acontece na realidade.

Reagrupando a informação anterior, tomando agora como variável a posição do vagão em análise na composição, obtém-se os gráficos que são apresentados nas Figs. 9 e 10. Cada um desses gráficos mostra, para o mesmo tipo de vagão e de carregamento, as diferentes curvas da perda de carvão quando o vagão ocupa diferentes posições na composição. Naqueles gráficos, para além das diferentes posições na composição juntou-se também a informação do vagão isolado como caso de referência, tal como foi apresentada anteriormente na Fig. 6.

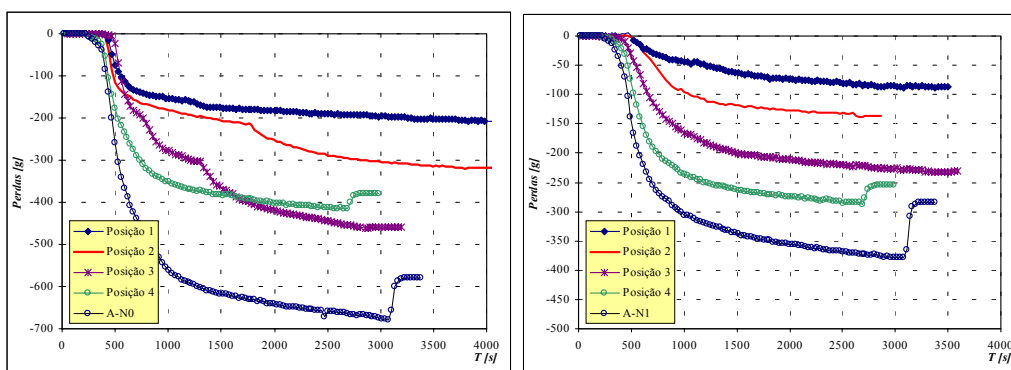


Figura 9. Perdas de carvão de um vagão aberto, localizado em diferentes posições, para dois níveis de carregamento: (a) N0; (b) N1.

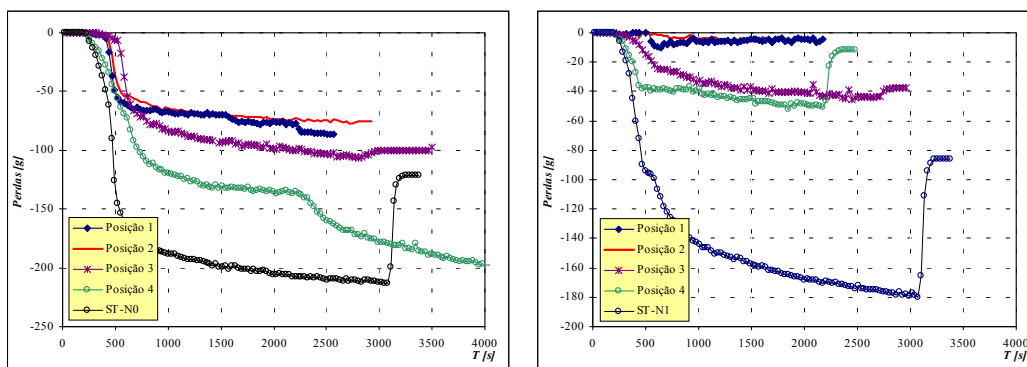


Figura 10. Perdas de carvão de um vagão semi-tapado, localizado em diferentes posições, para dois níveis de carregamento: (a) N0; (b) N1.

Uma análise global de todos estes gráficos revela que as perdas aumentam para mais do dobro desde a primeira posição até à quarta posição, tendência que se observa praticamente em todas as situações estudadas. Pode-se concluir que o caso do vagão isolado é o mais crítico em termos de perdas, apresentando sistematicamente valores mais elevados que os observados na composição. Registe-se igualmente que o efeito protector de um vagão sobre o seguinte se observa sobretudo até ao antepenúltimo vagão, atendendo às perdas bastante mais significativas dos dois últimos vagões.

Com base nesta análise conclui-se que os dois últimos vagões de cada composição deveriam ser tapados totalmente, inibindo as libertações mais significativas de partículas de carvão dos vagões mais propícios.

#### **4. CONCLUSÕES**

Apresentou-se um estudo experimental, realizado num túnel aerodinâmico, das perdas por erosão de partículas de carvão, por acção do escoamento, pela abertura superior de vagões usados no transporte ferroviário equipados com dois sistemas de protecção. Constatou-se que a velocidade crítica para o arrastamento de partículas (característica do tipo de carvão usado) do interior dos vagões é superior a 10 m/s.

Constatou-se que a força de sustentação criada pelo escoamento sobre os vagões aumenta à medida que o vagão é colocado nas posições mais para jusante, atingindo o seu valor máximo quando o mesmo está isolado. Da mesma forma, concluiu-se que a quantidade de carvão erodida aumenta para os vagões situados a jusante, o que se explica pelo aumento de vorticidade e uma maior intensidade de turbulência na parte superior dos últimos vagões da composição.

Pela significativa diferença de resultados observados entre as zonas dianteira e posterior da composição, recomenda-se que os dois últimos vagões das composições devam ser totalmente tapados durante o seu percurso.

Comparando os dois sistemas de cobertura do vagão, concluiu-se que o sistema de semi-tampas induz uma significativa redução da quantidade de carvão libertado. Efectivamente, tomando como referência o caso dos vagões com a abertura superior desprotegida, a existência do sistema de tampas apresentado reduz as perdas para menos de 20% do observado naquele caso, valor que ainda se torna mais expressivo para níveis de carregamento inferior, tal como acontece nas condições reais de operacionalidade.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

O primeiro autor agradece o enorme empenho e dedicação do Sr. Alberto Carlos Araújo Santos, pela excelente qualidade e particular empenho na construção do modelo dos vagões e locomotiva.

Agradece-se, de igual forma, ao Sr. Eng<sup>o</sup> António Lopes da Silva pelas frequentes trocas de impressão e sugestões, bem como o imprescindível apoio recebido da empresa *Tejo Energia, SA*.

#### **6. REFERÊNCIAS**

- Edgar, T.F., 1983, "Coal Processing and Pollution Control", Gulf Publishing company, Houston - Texas, 579 pages.
- Ferreira, A.D., Viegas, D.X., and Sousa, D.X., 2001, "Full-scale measurements of coal dust release during train transportation". Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European-African Conference on Wind Engineering, Eindhoven Technical University, Netherlands, 2-6 July 2001, pp. 149-156.
- Lazo, J.K. and McClain, K., 1996, "Community perceptions, environmental impacts, and energy policy: rail shipment of coal", *Energy Policy*, Vol. 24, pp. 531-540.
- Lee, S.-J. and C.-W. Park, C.-W., 2000, "The shelter effect of porous wind fences on coal piles in POSCO open storage yard", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 84, pp. 101-118.
- Xuan, J. and Robins, A., 1994, "Effects of turbulence and complex terrain on dust emissions and depositions from coal stockpiles", *Atmospheric Environment*, Vol. 28, pp. 1951-1960.

#### **7. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# COAL DUST RELEASES DURING ITS TRANSPORT IN OPEN TRAIN WAGONS: A WIND TUNNEL STUDY

**Almerindo Domingues Ferreira**

Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Polo II - 3030 COIMBRA, Portugal, almerindo.ferreira@dem.uc.pt

**Paulo Joaquim Antunes Vaz**

Escola Superior de Tecnologia de Viseu, 3504 VISEU, Portugal, paulovaz@demgi.estv.ipv.pt

***Abstract.** Coal is one of the main energy sources in thermal power plants for electricity production. In many of the cases, it needs to be transported from the harbor or from a coal mine, being frequently carried by train. Depending on the wagon type, different quantities of dust can be released. Despite the fact of not being defined as a pollutant from a chemistry point of view, the coal dust released produces a strong environmental impact in the communities surrounding the railway, and represents a lost of profits for the company.*

*This work presents a wind tunnel study on the characterization of coal dust amount released from wagons equipped with two different covers. For it, a 1:25 model comprising one locomotive and four train wagons is used, with a 3.55m maximum length. Results refer to the dust release rates for different configurations and load levels. The tests were performed for a constant speed of 13.4 m/s, characteristic of the undisturbed flow. Experimental tests show that the use of covers reduce the amount of dust released to less than 20% of the case where no covers are used.*

***Keywords.** coal, solid pollutant, transport, dust release, wind erosion*