

AVALIAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO DISPERSO EM ÁREA DE DESCARGA DE GRÃOS

Bianca Simionato Cordeiro¹, Nilo Fabre Junior², Alessandro Trombeta², Alexandre Diório², Sérgio Henrique Bernardo Faria², Marcelino Luiz Gimenes²

¹Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil (pg56333@uem.br)

²Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil

Resumo: Este estudo avaliou a exposição a material particulado durante a descarga de grãos de soja em moega de uma cooperativa agroindustrial no Paraná. Foram observadas concentrações de poeira total de até 82,4 mg/m³ e respirável de 4,09 mg/m³, além de sílica livre e elevada carga microbiológica (> 6500 UFC/15 min). Os resultados indicaram risco ocupacional relevante e reforçam a necessidade de ventilação local, medidas de engenharia e proteção respiratória.

Palavras-chave: Grãos de soja; Saúde do trabalhador; Material particulado

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é definida por De Nevers (1995) como a presença de materiais indesejáveis no ar. A poluição atmosférica pode ser causada por diferentes agentes, desde gases até materiais particulados, estando em muitos casos, associada a processos de urbanização e industrialização.

Operações industriais como britagem, moagem, trituração e peneiramento, entre outras, podem gerar partículas sólidas suficientemente pequenas para se dispersarem no ar. Na Figura 1, Costa (2001) apresenta alguns exemplos destes materiais e suas respectivas faixas de tamanho de partículas.

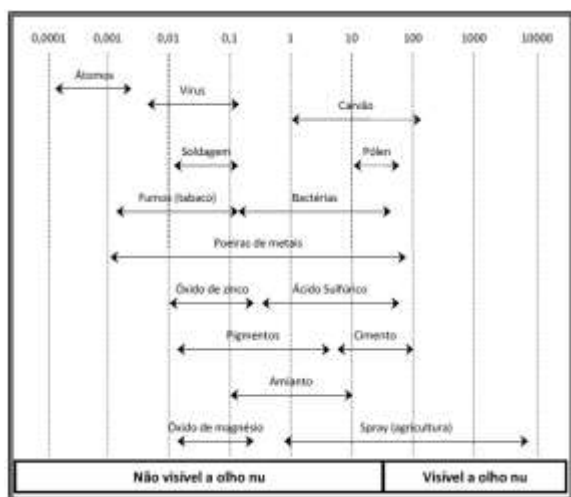


Figura 1. Diferentes materiais industriais e suas respectivas faixas de tamanho de partículas.

Pela Figura 1, ilustra-se o fato de que nos diversos processos industriais são formadas partículas em

várias faixas de tamanhos. Em função disto, e focando-se a atenção na saúde do trabalhador, devem-se adotar critérios que indiquem em que faixas de tamanho estão as partículas que podem se dispersar no ar, e as partículas potencialmente perigosas à saúde humana.

Com relação à saúde do trabalhador, a ACGIH (2007) indica as faixas de tamanho para materiais que oferecem riscos à saúde humana, como:

- Material particulado *inalável* (partículas menores que 100 µm): oferece risco quando depositado em qualquer parte do trato respiratório;
- Material particulado *torácico* (partículas menores que 25 µm): oferece risco quando depositado em qualquer parte no interior das vias aéreas, dos pulmões e na região de troca de gases;
- Material particulado *respirável* (partículas menores que 10 µm): oferece risco quando depositado na região de troca de gases.

No caso específico do ramo industrial, sabe-se que as agroindústrias geram grande quantidade de material particulado que é emitida para o ar atmosférico durante o processamento industrial de grãos. Esta geração de material particulado inicia-se já no momento da descarga, quando os grãos são transferidos para silos e moegas. No estado do Paraná há várias cooperativas agroindustriais nas quais o processamento de grãos de soja gera quantidades significativas de material particulado que se dispersa no ar atmosférico.

Material particulado de cereais e efeitos à inalação



A poeira gerada na descarga de grãos de soja é composta pelos mesmos elementos contidos no solo onde foi plantada esta soja, sendo estes elementos comumente compostos orgânicos, área, microrganismos e fragmentos do grão de soja gerados pelo atrito entre os grãos durante sua movimentação. Assim, a poeira de grãos não deve ser tratada apenas como material particulado incômodo, uma vez que a sua composição é complexa e inclui fragmentos vegetais, sílica livre proveniente do solo, microrganismos, esporos fúngicos, resíduos de insetos e compostos alergênicos. Evidências epidemiológicas acumuladas em trabalhadores de sistemas de armazenagem e transporte de grãos demonstram associação consistente entre a exposição ocupacional e redução de parâmetros de função pulmonar, bronquite crônica, hipersensibilidade respiratória e desenvolvimento de asma ocupacional. Nesse contexto, áreas de descarga e movimentação de grãos de soja representam importante ponto de monitoramento e prevenção de agravos à saúde do trabalhador (Becklake, 2007).

Para demonstrar a presença de agentes alergênicos em grãos de soja, que podem dispersar-se no ar durante o manuseio dos grãos, Anto *et al.* (1993) quantificaram o aumento da concentração de alergênicos em uma área urbana da cidade de Barcelona, antes e depois da descarga de grãos por navios. Os resultados mostraram que, depois da descarga a concentração de alergênicos alterou-se de 19 para 324 UFC/m³.

Segundo Martinez (2006), trabalhadores de silos, moinhos e panificação estão propensos a contrair asma ocupacional pela exposição às poeiras de cereais como trigo, cevada, aveia, milho, girassol e soja. A causa específica desta asma não é conhecida, mas cita-se que possivelmente está relacionada a microrganismos carregados pelos cereais. DeLucca *et al.* (1984) cita que o microrganismo mais comum encontrado em poeiras vegetais é o *Enterobacter agglomerans*.

Legislação sobre poeiras de cereais no ambiente de trabalho

No que diz respeito à legislação brasileira, a NR-15 de 1978 do Ministério do Trabalho e Emprego (última atualização em dezembro de 2025) estabelece limites de tolerância para poeiras totais e respiráveis para materiais particulados que contenham quartzo, que é um elemento nocivo ao Homem e geralmente encontrado nas poeiras de grãos de cereais como a soja. Essa abordagem normativa é importante, pois poeiras geradas em operações com grãos, uma vez que fragmentos minerais provenientes do solo aderidos à superfície dos grãos podem contribuir para a presença de sílica cristalina na fase dispersa,

elevando o potencial de risco respiratório ao trabalhador.

Em âmbito internacional, agências e instituições de referência são mais abrangentes e estabelecem limites de tolerância para poeiras de cereais (totais e respiráveis) com e sem a presença de quartzo. São elas a OSHA – *Occupational Safety and Health administration* (2006), NIOSH – *National Institute for Occupational Safety and Health* (2005) e ACGIH – *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (2007). Elas englobam limites de exposição ocupacional para poeiras totais, frações respiráveis e poeiras classificadas como particulados não especificados de outra forma. Para poeiras consideradas inertes ou de baixa toxicidade específica, valores de referência frequentemente utilizados incluem 15 mg/m³ para poeira total e 5 mg/m³ para fração respirável, servindo como parâmetros comparativos amplamente aceitos em estudos de higiene industrial e monitoramento ambiental em unidades de armazenagem de grãos.

No que diz respeito a recomendações internacionais para o ambiente de trabalho, a Tabela 1 mostra alguns valores aceitos internacionalmente e no Brasil para concentrações de material particulado (MP) respirável no ar, de acordo com Celli (1999).

Tabela 1. Padrões de MP respirável.

Instituição	Concentração (µg/m ³)
OMS	50
Especialistas em poluição do ar	50
USEPA	150
Brasil	150

As concentrações apresentadas na Tabela 1 são as médias dos valores obtidos num período de 24 horas.

Sob a ótica contemporânea da engenharia de segurança do trabalho, a interpretação dos limites de tolerância deve ser integrada ao Gerenciamento de Riscos Ocupacionais (GRO) e ao Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), conforme os princípios da NR-9. Assim, a quantificação do material particulado em moegas e silos não se restringe à caracterização de insalubridade, mas subsidia o dimensionamento de medidas de controle, como enclausuramento de pontos de descarga, ventilação local exautora, automação de tombadores e especificação adequada de equipamentos de proteção respiratória. Essa abordagem amplia a relevância dos dados experimentais, convertendo-os em subsídio técnico para melhoria de processo e prevenção de doenças ocupacionais.

Considerando a coexistência de referenciais normativos nacionais e internacionais, a avaliação da poeira gerada durante a operação com grãos, como a soja, torna-se essencial para estabelecer comparações entre diferentes critérios de exposição e identificar cenários de maior criticidade operacional. Em especial, a comparação entre os limites previstos na NR-15 e os valores recomendados por OSHA, NIOSH e ACGIH permitem uma análise mais abrangente do risco ocupacional, contemplando não apenas a presença de sílica, mas também a fração orgânica e microbiológica presente.

Dado o contexto, o presente trabalho teve como objetivo estudar a poluição gerada e emitida para o ar durante a descarga de grãos de soja em uma cooperativa agroindustrial do interior do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Nas cooperativas agroindustriais, os grãos de soja são descarregados em moegas, ficando ali armazenados antes de seguirem para o processamento nas fábricas de óleo. Durante o descarregamento da soja nestas moegas, grande quantidade de material particulado é gerado e se dispersa no ar. Por este motivo escolheu-se a moega como o local de coleta de amostras para a verificação da quantidade de material particulado em suspensão no ar durante a descarga de grãos. A Figura 2 mostra o descarregamento de soja dentro da moega.



Figura 2. Caminhão sendo inclinado durante a descarga de soja.

O caminhão com os grãos estaciona na moega, sobre uma rampa que é gradualmente inclinada, fazendo com que os grãos sejam descarregados por tombamento. Na Figura 3 são mostrados os pontos P6 e P12 escolhidos para coleta das amostras.



Figura 3. Pontos escolhidos para coleta de amostras.

Os pontos P6 e P12 foram escolhidos em função das dimensões da moega, da geração de material particulado e da necessidade de permanência contínua do equipamento de coleta entre a movimentação de caminhos para a descarga.

Procedimento para determinação de poeiras totais e respiráveis

Para a determinação de poeiras respiráveis utilizou-se um sistema com bomba de sucção para a aspiração do ar contaminado. Um ciclone recebeu a corrente de ar aspirada e dividiu-a em duas correntes, uma com partículas maiores que 10 μm (que foi descartada) e outra com partículas menores que 10 μm , que passou por um filtro de PVC para retenção das partículas. Este tipo de filtro permitiu a captura de partículas importantes no que diz respeito ao tecido pulmonar (tamanhos entre 0,5 e 10 μm).

No tocante à determinação de poeiras totais, utilizou-se o mesmo procedimento descrito para poeiras respiráveis, porém sem a utilização do ciclone, pois não havia necessidade de separar as partículas, mas sim utilizar a totalidade das partículas retidas no filtro.

Depois de recolhidas todas as amostras, o material foi analisado, obtendo-se o tamanho e a concentração das partículas, sua composição química, densidade e composição microbiológica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise do material recolhido, com relação a sua composição química estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados nas análises químicas da poeira de grãos de soja coletada

Propriedade	Resultado
Composição (massa)	12,98% - material inorgânico 87,02% material orgânico



Densidade	0,956 g/cm ³
-----------	-------------------------

A poeira de grãos apresentou comumente uma quantidade de componentes inorgânicos que foram analisados de maneira mais detalhada. Com relação aos componentes inorgânicos, a composição foi registrada na Tabela 3.

Tabela 3. Análise da massa total contida no pó de grãos de soja.

Elemento	Concentração (mg/kg)	Percentual (massa)
SiO ₂	13,49 x 10 ⁴	13,49
Fe	823,20	82,32 x 10 ⁻³
Mn	209,87	20,98 x 10 ⁻³
Cu	18,90	18,90 x 10 ⁻⁴
Zn	14,29,	14,29 x 10 ⁻⁴
Pb	-	-
Cd	-	-
Cr	-	-

A análise química do material inorgânico mostrou a presença de sílica livre (SiO₂), maléfica ao ser humano. A norma brasileira que estabelece fórmulas para o cálculo das concentrações ocupacionais aceitáveis de poeiras de grãos, baseadas numa certa porcentagem de sílica livre presente (quartzo) é a NR-15. Também se evidencia a importância da avaliação de chumbo e cromo. Estes dois últimos, apesar de citados pela NR-15 como insalubres, a mesma norma não cita valores para limites de tolerância, mas não foram detectados.

Os resultados da análise microbiológica da poeira de grãos de soja foram apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Análise microbiológica da poeira de grãos de soja.

Ponto de coleta	Microrganismo	Resultado (UFC/15 min)
Pontos 6 e 12	Bactérias heterotróficas, bolores e leveduras	> 6500 presentes
Controle (branco)	Bactérias heterotróficas, bolores e leveduras	411 presentes

Na análise microbiológica foram identificadas bactérias heterotróficas, bolores e leveduras no

material recolhido. Para a interpretação dos resultados, fez-se a análise das quantidades de bactérias heterotróficas, bolores e leveduras em um ponto livre de poeiras (controle branco) e comparou-se com os resultados obtidos nos pontos de coleta. Verificou-se o aumento significativo na quantidade de bactérias heterotróficas quando se comparou-se ambos os resultados.

A elevada contagem microbiológica observada nas amostras coletadas (>6500 UFC/15min) reforça a hipótese de que a poeira presente na descarga de grãos de soja não representa risco físico por massa inalável, mas também risco biológico. Esse comportamento está alinhado com estudos clássicos envolvendo grãos de soja, nos quais a presença de partículas alergênicas e agentes biológicos associados à poeira foi relacionada ao desencadeamento de crises respiratórias e exacerbação de quadros asmáticos em trabalhadores expostos (Antó *et al.*, 1993).

Com relação à concentração e tamanho das partículas, os resultados foram apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Poeiras totais e respiráveis.

Coleta	Poeiras totais (mg/m ³)	Poeiras respiráveis (mg/m ³)
Ponto 6	82,4	4,09
Ponto 12	40,3	0,59

Comparando-se as concentrações de poeiras totais e respiráveis nos pontos P6 e P12 notou-se uma diminuição considerável da concentração de um ponto a outro (aproximadamente 50% para poeiras totais e 85% para respiráveis). Tal fato foi explicado porque os dois pontos estão a distâncias diferentes da fonte de geração do material particulado (caminhão de descarga) sendo o ponto P12 mais distante o que permitiu, portanto, a deposição gradual de material particulado. No entanto, o risco ocupacional não é eliminado. Considerando-se a relação dose-resposta descrita na literatura, a concentração de 82,4 mg/m³ de poeira total no ponto P6 representa condição crítica de exposição, compatível com maior probabilidade de sintomas respiratórios e alterações da função pulmonar em trabalhadores submetidos a rotinas repetitivas (Hurst e Dosman, 1990).

As elevadas concentrações de poeira totais e respiráveis, associadas à presença de sílica, corroboram a literatura que relaciona a exposição prolongada à poeira de grãos com declínio da função pulmonar e aumento da prevalência de sintomas respiratórios em trabalhadores de silos e elevadores de grãos. Assim, mesmo em situações nas quais a fração respirável esteja abaixo de alguns limites



permissivos, a exposição cumulativa continua sendo um fator de risco relevante (Becklake, 2007).

Os resultados indicam a necessidade de medidas de Engenharia para minimização da poeira de grãos de soja, tais como enclausuramento parcial da moega, sistemas de ventilação local via exautora e a restrição do tempo de permanência de trabalhadores nas proximidades da fonte emissora (Cui *et al.*, 2021).

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar a poluição atmosférica durante a descarga de grãos de soja em uma cooperativa agroindustrial de município no interior do Paraná. Comparando-se os resultados obtidos com valores de referência para limites de tolerância de diversas instituições e órgãos, concluiu-se que para os pontos P6 e P12, as concentrações de poeiras totais (respectivamente, 82,4 mg/m³ e 40 mg/m³) ficaram acima dos valores de referência da NR-15, que é de 5,83 mg/m³ (limite calculado com base no percentual de sílica livre cristalizado de 1,12%) e acima do recomendado pela ACGIH de 10 mg/m³. Dessa forma, com base nos resultados, concluiu-se que os pontos P6 e P12 podem ser considerados como regiões nocivas à saúde para trabalho sem equipamento de proteção adequada.

No tocando às poeiras respiráveis, para o ponto P6 a concentração de 4,09 mg/m³ ficou abaixo dos valores de referência da OSHA (5 mg/m³), porém acima dos valores recomendados pela ACGIH (3 mg/m³), mas abaixo dos valores da HSE (10 mg/m³). Já para o ponto P12, a concentração de poeiras respiráveis foi de 0,59 mg/m³ estando abaixo do limite de tolerância da NR-15, que é de 1,25 mg/m³ limite calculado com base no percentual de sílica livre cristalizado de 4,41%). Também ficou abaixo dos limites recomendados pela OSHA (1,56 mg/m³), da ACGIH (3 mg/m³) e da HSE (10 mg/m³).

Dessa forma, observando-se os valores encontrados para poeiras respiráveis e adotando-se os limites mais restritivos, concluiu-se que tanto os pontos P6 quanto P12 são considerados áreas nocivas para o trabalho sem proteção adequada ou períodos prolongados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às cooperativas agroindustriais do Paraná e a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ACGIH (2007). A American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs e BEIs: “Limites de exposição ocupacional (TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos & índices biológicos de exposição (BEIs)”. Cincinnati.

ANTO, J. M.; CODINA, R.; MARTINEZ, F.; MORELL, F.; REED, C. E.; ROCA, J.; RODRIGUEZ-ROISIN, R.; RODRIGO, M. J.; SABRIA, J.; SAEZ, M.; SUNYER, J. (1993). “Preventing asthma epidemics due to soybeans by dustcontrol measures”, *The New England Journal of Medicine*, Vol 329, N. 24, p. 1760-1763.

BECKLAKE, M. R. (2007). “Grain Dust and lung health: not just a nuisance Dust”. *Canadian Respiratory Journal*, v.14 (7): 423-425. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1155/2007/931094>.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Normal Regulamentadora n.º 15 (NR-15): atividades e operações insalubres. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. Normal Regulamentadora n.º 9 (NR-9): avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 1978.

CELLI, C. E. (1999). “Monitoramento do material particulado respirável suspenso na atmosfera no centro da cidade de São Carlos”, 122 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) - UFSCar. São Carlos/SP.

COSTA, E. (2001). “Protección respiratoria y métodos de filtración de partículas”, 3M España S.A.

CUI, P.; ZHANG, T.; CHEN, X.; YANG, X. (2021). “Levels, sources and health damage of Dust in grain Transportation and storage: a case study of Chinese grain storage companies”. *Atmosphere*, v. 12 (8), 1025. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12081025>.

DELUCCA, A. J., GODSHALL, M. A., PALMGREN, M. S. “Gram-negative bacterial endotoxins in grain elevator dusts” (1984), *Am md Hyg Assoc J*, Vol 45, p. 336-39.

DE NEVERS, N. (1995). *Air Pollution Control Engineering*, Ed. McGraw Hill, New York.

HUST, T. S.; DOSMAN, J. A. (1990). “Characterization of health effects of grain Dust exposures”. *American Journal of Industrial Medicine*, v. 17 (1), pp. 27-32. 1990. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajim.4700170106>.

MARTÍNEZ, R. O.; CARMONA, M. J. C.; DOMÍNGUEZ, J. S.; FIGUEROA, E. A.; GALL, X. M.; GANCEDO, S. Q.; ITURRI, J. B. G.; MONTES, I. I.; SHAMS, K. A. (2006). “Normativa del asma ocupacional. Normativa Separ. Arch Bronconeumol”, Vol 42(9), p.457-74.



NIOSH (2005). National Institute for Occupational Safety and Health. Pocket guide to chemical hazards and other databases (CD-ROM). Publication nº 2005-151. Cincinnati.

OSHA (2006). Occupational Safety & Health Administration. United States Department of Labor. Table Z-1 Limits For Air Contaminants. Washington: OSHA.