

Aeração de grãos armazenados¹

Por: [Luís César da Silva](#)

1. Introdução

Em unidades armazenadoras de grãos, o ar é empregado em diversas atividades que envolvem: (i) transporte de calor e massa, (ii) troca de calor e massa; e ainda, (iii) transporte pneumático de grãos, como destacado na Figura 01. O termo massa refere à quantidade de vapor de água trocada entre o ar e o produto, e transportada pelo ar.

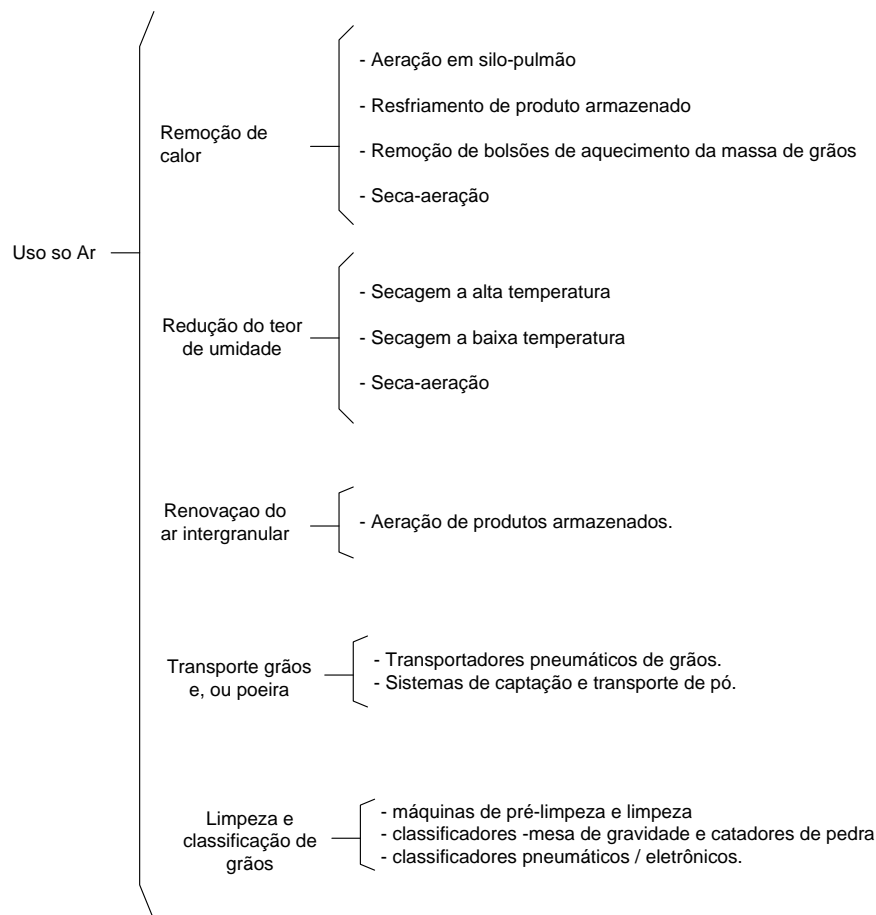


Figura 01 – Uso do ar em unidades armazenadoras.

Abstract

Aeration of grain storage

(Federal University of Espírito Santo - Food Engineering Department - Technical Bulletin: AG: 01/11 - 12/15/2011, Revised:02/20/2016)

This extension bulletin describes cares that need to be taken for proceeding grain aeration. Managers and operators need to have know-how about aeration system elements, psychometry, and grain hygroscoy. Thus, it will not occur errors such as overdriving or humidifying of grains; modification of psychometric conditions of intergranular air in a way that can improve the development of fungi.

Dr. Luís César Silva – website: www.agais.com

¹ Artigo Publicado na Revista: Grãos Brasil: Da Semente ao Consumo, Ano X, nº 50, Set/Out. de 2011, p. 07-10.

Considerando, especificamente, **aeração de produtos armazenados**, os objetivos maiores são: (i) uniformizar a temperatura e o teor de água da massa de grãos; e (ii) renovar o ar contido no espaço intergranular.

Para o alcance desses objetivos são empregadas baixas vazões de ar, a valores próximos das correntes convectivas que, naturalmente, ocorrem em silos ou graneleiros. Os objetivos destacados referem ao uso da aeração como procedimento preventivo para a manutenção da qualidade do produto armazenado. Infelizmente, muitos gestores e, ou operadores acreditam que o sistema de aeração devam apenas ser empregado para eliminar focos de aquecimento, que muitas das vezes são decorrentes de erros operacionais.

1.1. Uniformização da temperatura na massa de grãos

A ocorrência dos pontos de aquecimento na massa de grãos, Figura 02, está associada principalmente: (a) proliferação de fungos em locais na massa de grãos que apresenta teor de água acima do recomendado para armazenagem; (b) proliferação de insetos; e (c) migração de umidade.

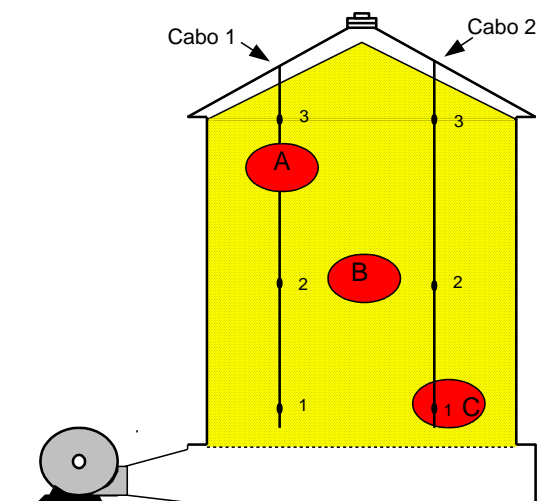


Figura 02 – Representação de pontos de aquecimento na massa de grãos.

Como consequência da falta de uniformidade da temperatura nas diversas regiões da massa de grãos, são estabelecidas correntes de ar que circulam das regiões mais aquecidas para as mais frias.

O ar aquecido possui maior potencial de secagem e capacidade de transportar vapor de água das regiões aquecidas para as mais frias. Com a aproximação do ar às regiões mais frias, o ar perde calor e conseqüentemente a capacidade de transportar vapor de água. Como consequência desse fato pode ocorrer condensação de vapor sobre os grãos situados nas regiões mais frias. Isso pode levar o aumento do teor de água do produto nessas

regiões, mas principalmente, a disponibilidade de água no espaço intergranular nessas regiões.

O aumento do teor de água do produto leva aos aumentos das taxas de respiração e autodeterioração, o que implica em perda de matéria seca. Enquanto, o aumento da disponibilidade de água no espaço intergranular potencializa o desenvolvimento de fungos e outros microrganismos, o que gera calor, água, gás carbônico e gases odoríficos. **Importante:** fungos podem metabolizar micotoxinas, que em determinadas concentrações tornam o produto armazenado impróprio ao consumo para humanos e animais.

1.2. Uniformização do teor de água da massa de grãos

A falta de uniformidade do teor de água na massa de grãos armazenada ocorre principalmente em razão de: (1) falhas no monitoramento do teor de água das cargas de produto expedidas dos secadores; (2) ocorrências de correntes convectivas de ar que transportam vapor de águas das regiões aquecidas para as mais frias; (3) infiltrações devido à elevação de lençóis freáticos; e (4) goteiras.

Como o ar intergranular tem as propriedades psicrométricas regidas pela temperatura e teor de água da massa de grãos, isso faz estabelecer bolsões de massa de ar intergranular, que ao interagirem estabelecem gradientes que podem promover: troca de calor, troca de massa (vapor de água), e o estabelecimento de correntes convectivas de ar.

Regiões da massa de grãos com teores de água acima de 14,5% levam ao estabelecimento de condições psicrométricas do ar intergranular, em que, a umidade relativa seja superior a 65%, Tabela 01. Isso representa nível de atividade de água superior a 0,65, propiciando o desenvolvimento de fungos. Cargas expedidas desses locais podem conter altos níveis de micotoxinas tornando o produto impróprio para fabricação de ração, elaboração de alimentos e consumo humano.

Tabela 01 – Valores de teor de umidade de equilíbrio para milho em função da temperatura e umidade relativa do ar intergranular

Temperatura do produto (°C)	Umidade relativa do ar (%)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
15	5,1	7,3	9,1	10,8	12,3	14,0	15,7	17,8	20,6
20	4,9	7,1	8,8	10,4	11,9	13,5	15,2	17,2	19,9
25	4,7	6,8	8,5	10,0	11,5	13,0	14,7	16,6	19,3
30	4,6	6,6	8,2	9,7	11,1	12,6	14,2	16,1	18,7
35	4,4	6,4	7,9	9,4	10,8	12,2	13,8	15,6	18,2
40	4,3	6,2	7,7	9,1	10,5	11,9	13,4	15,2	17,7

Portanto, ao uniformizar o teor de água da massa de grãos, tem por benefício à uniformização das condições psicrométricas do ar intergranular. Sendo assim, conforme

dados da Tabela 01, as condições ideais para armazenagem de milho, em condição ambiente, correspondem à umidade relativa do ar intergranular próxima de 60% e a temperatura da massa de grãos próxima de 20 °C. Nessa condição, é inviabilizado o desenvolvimento de fungos e reduzidas as taxas de respiração e de autodegradação do produto armazenado.

1.2.1 Migração de umidade

O processo de migração de umidade ocorre, naturalmente, na massa de grão, como representado na Figura 03. Isso se deve a correntes convectivas, que podem transportar vapor de água de uma região para outra.

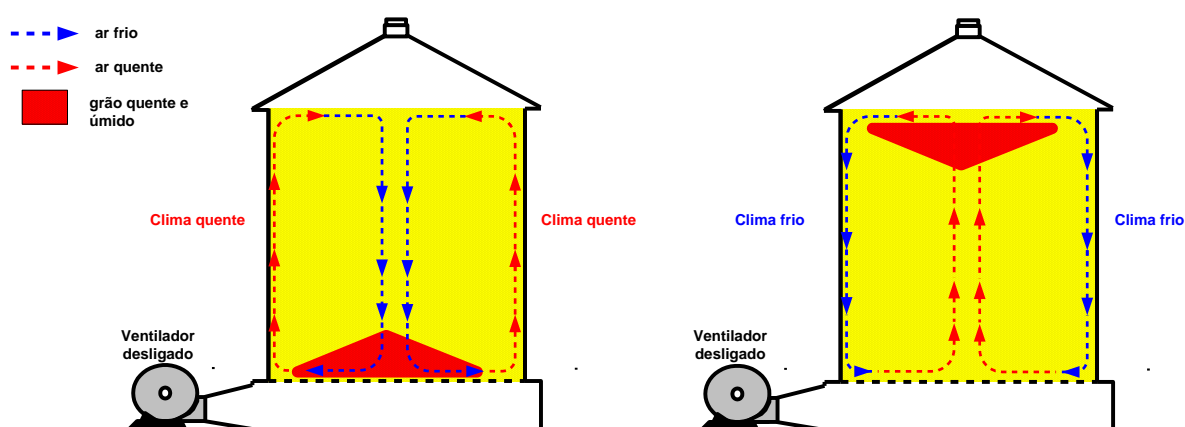


Figura 03 – Representação do processo de migração de umidade em silos.

Assim, conforme a Figura 03, em dias de clima quente, o ar junto à parede do silo aquece e sobe. Como consequência gera uma corrente de ar descendente pela parte central da massa de grãos. O ar, ao aquecer, tem o potencial de secagem aumentado, fato que permite realizar secagem e transportar mais quantidade de vapor. Ao descer pela massa de grãos, o ar perde calor e a capacidade de transportar vapor de água, conseqüentemente, ocorre condensação junto à base do silo. Nessa região ocorrerão aumentos do teor de água do produto e da atividade de água no espaço intergranular.

Para os dias de clima frio, Figura 03, o ar frio junto à parede desce e força uma corrente de ar pela parte central, que inicialmente remove calor dos grãos. O ar aquecido passa a remover água dos grãos e transportá-la. No entanto, à medida que o ar aproxima da camada superior da massa de grãos, que está fria, o ar perde calor e a capacidade de transporte de vapor de água. Assim, o vapor condensa nessa região levando aos aumentos do teor de água do produto e da atividade de água no espaço intergranular.

Para sanar os inconvenientes do processo de migração de umidade emprega-se a aeração de forma preventiva.

1.3. Renovação da massa de ar intergranular

A renovação do ar intergranular deve ser feita com regularidade com os objetivos de preservar qualidades organolépticas dos grãos, e a qualidade do ar intergranular, que pode conter em sua composição gases odoríferos. Esses gases depreciam quesitos sensoriais considerados na classificação de grãos.

Portanto, o procedimento de *renovação do ar intergranular*, especificamente, não busca secar ou resfriar a massa de grãos. Sendo assim, a condição psicrométrica do ar empregado deve estar em equilíbrio higroscópico com massa de grãos. Vide Tabela 01. Caso contrário, se o ar estiver com umidade relativa acima da recomendada, o teor de água da massa de grãos poderá aumentar, como também, o ambiente intergranular terá o nível de atividade água aumentado.

Por outro lado, se a umidade relativa do ar estiver baixa (valores menores que 50%), significa que este tem potencial de secagem. Sendo assim, ocorrerá fenômeno “*supersecagem*”, em que o teor de água do produto armazenado é reduzido. Isso gera transtornos, quanto ao procedimento de apuração do balanço de cargas recebidas e expedidas, e estresse na relação prestador de serviço e usuários, caso a empresa insista em aplicar o desconto de quebra de umidade durante o período de armazenagem.

Portanto, as determinações das condições psicrométricas do ar e de equilíbrio higroscópico dos produtos são essenciais para tomada de decisão quanto ao melhor momento para acionar os ventiladores. Para essas determinações empregam-se gráficos psicrométrico, tabelas de equilíbrio higroscópico (exemplo Tabela 01), ou programas de computador que empregam equações para cálculos das condições psicrométricas do ar e de equilíbrio higroscópicos dos produtos. **Nota:** Visite em www.agais.com a seção aplicativos “*on line*”.

2. Aspectos de engenharia

Estruturalmente, sistema de aeração de grãos possui os seguintes elementos: (1) ventilador – máquina que imprime velocidade e pressão ao ar que passará pela coluna de grãos; (2) dutos condutores – canalização que conduz o fluxo de ar até os pontos de aplicação; e (3) dutos de distribuição – são dutos equipados com chapas perfuradas por onde flui o ar que fluirá pelo espaço intergranular.

Os ventiladores são escolhidos em função da: (1) vazão de ar a ser aplicada; e (2) a resistência imposta ao fluxo de ar que é definida em função da altura da coluna de grãos, teor de impureza do produto, rugosidade das tubulações, índice de perfuração da chapa perfurada e número e tipos de registros e conexões presentes na tubulação. Essa resistência trata-se de uma modalidade de pressão estática, que é expressa em milímetros de coluna de

água (mm. c. a.). Tecnicamente, essa resistência é denominada como perda de carga ou queda de pressão, que aumenta com o aumento do fluxo de ar empregado.

O fluxo de ar a ser empregado é definido em função do tipo de instalação e operação a ser conduzida, Tabela 02.

Tabela 02 – Valores de fluxos de ar indicados por operação e tipo de instalação

Tipo de Instalação	Fluxo de ar (L de ar/ min.t de produto)
Aeração → Graneleiros fundo plano	100 a 200
Aeração → Silos	30 a 100
Aeração → Silos-Pulmão	300 a 500
Seca-aeração	500 a 1.000
Resfriamento	Mínimo 120

Para proceder à comparação, quanto aos valores de vazão de ar e pressão estática a ser vencida, são apresentadas na Figura 04 situações em que é empregado o mesmo silo com capacidade estática de 230 t (3.830 sacas), ao se realizar as operações de: aeração, aeração em silo-pulmão, seca-aeração e resfriamento.

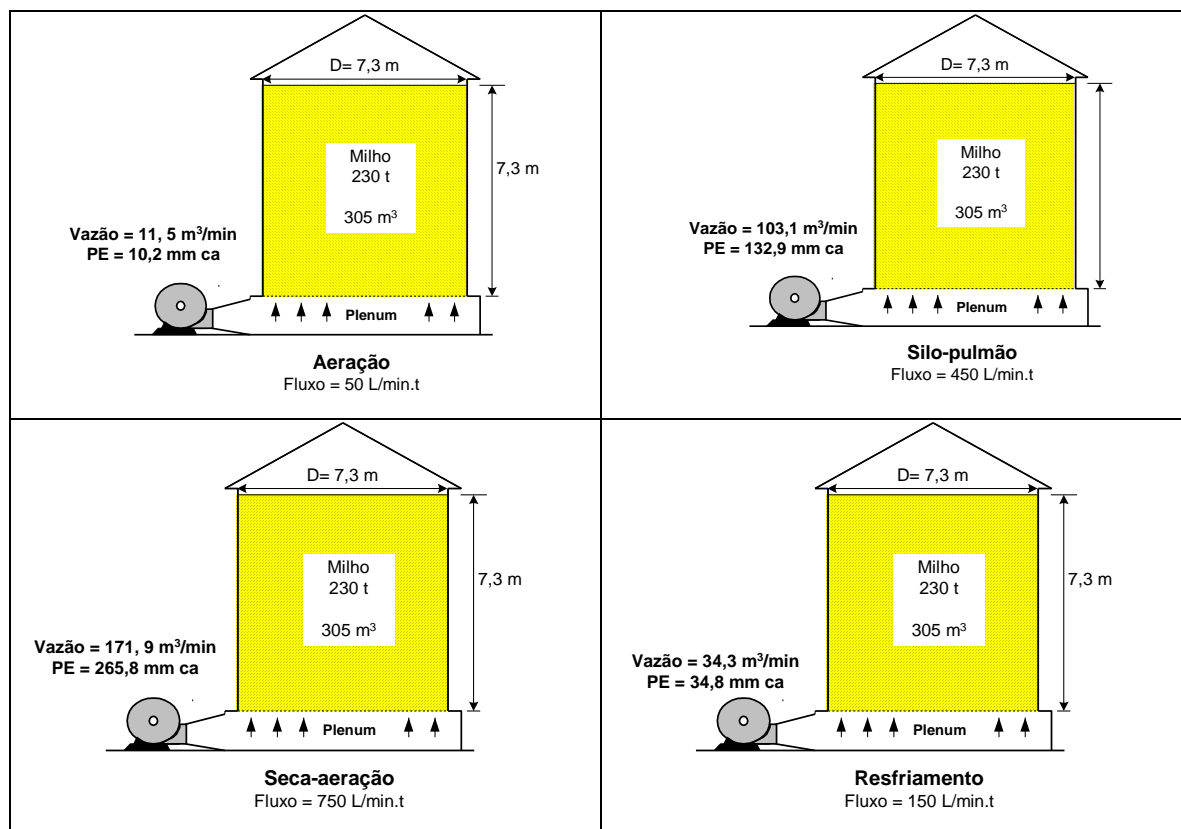


Figura 04 – Demonstrativo dos valores de vazão e pressão estática, segundo a operação a ser realizada: aeração, aeração e silo-pulmão, seca-aeração e resfriamento.

Comparando, por exemplo, os cenários aeração e resfriamento tem-se que os valores da vazão de ar e perda de carga (pressão estática) no resfriamento são superiores em mais de 300%. Normalmente, muitos gerentes de unidades armazenadoras não atentam para essa questão e insistem em acoplar os geradores de frio em silos que o sistema de aplicação de ar foi projetado para aeração. Desse modo, o rendimento operacional do resfriamento é drasticamente afetado. Portanto, antes de iniciar a operação de resfriamento certifique se os valores de vazão e pressão estática aplicados pelo ventilador instalado estão adequados para operação que se deseja executar. O mesmo é válido para condução das outras operações: aeração em silo-pulmão e seca-aeração.

5. Cuidados operacionais na condução da aeração

Para que a aeração seja conduzida de forma apropriada faz-se necessário: (1) que o sistema tenha sido adequadamente projetado e implantado; (2) que seja observada as condições de umidade de equilíbrio do produto e psicrométricas do ar; e (3) que o espaço intergranular esteja desobstruído para perfeita circulação do ar.

Mesmo a massa de grãos estando com teores de impurezas apropriados para armazenagem, pode ocorrer à concentração de finos na parte central e impurezas maiores na região periférica, conforme representado na Figura 05. Se isto ocorrer é necessário instalar homogeneizadores.

Outro procedimento recomendado é a transilagem da parte central da massa de grãos, que deve passar pelas máquinas de limpeza e retornar ao armazém. Na condução desse procedimento deve-se ater para não remover impurezas em excesso. O que impactará negativamente o balanço de movimentação de cargas recebidas e expedidas.

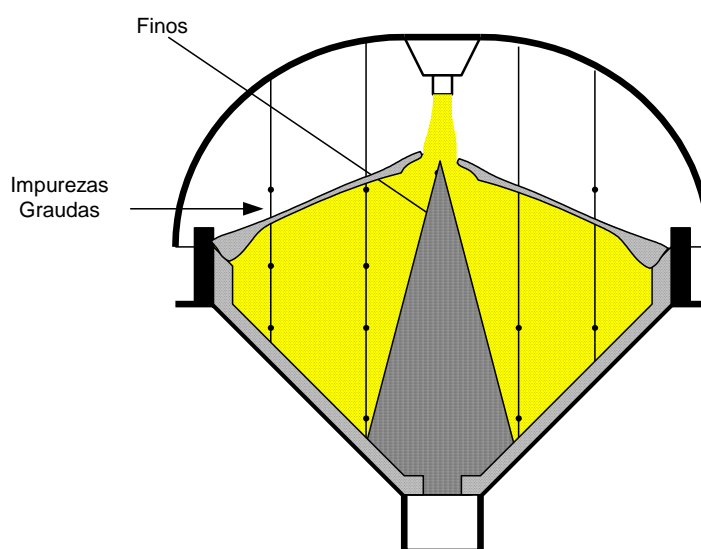


Figura 05 – Distribuição de impurezas em graneleiros sem homogeneizador.

6. Ponderações finais

Como ressaltado, a adequada operação do sistema de aeração requer conhecimentos sobre as condições higroscópicas da massa de grãos e psicrométricas do ar. Desse modo, requer que o operador esteja devidamente treinado para evitar: (a) a supersecagem ou o umedecimento do produto; e (b) a alteração das condições psicrométricas do ar intergranular potencializando o desenvolvimento de microrganismos (fungos e bactérias).

É também necessário que o sistema de aeração esteja devidamente projetado e implantado. E que durante a operação sejam monitorados: (a) a vazão de ar em diversos pontos da massa de grãos; e (b) o sistema de termometria para garantir a uniformidade dos valores das temperaturas do produto armazenado.

Gerentes e operadores de unidades armazenadoras devem utilizar a aeração como uma operação preventiva para garantir a preservação da qualidade do produto armazenado.

Quanto ao tempo de duração da operação, isso dependerá, basicamente, da intensidade do fluxo de ar empregado e das extensões dos períodos de tempo, em que, as condições do ar ambiente são propícias a condução da aeração. Para previsão desse tempo pode se utilizar de programas de computador baseados em modelos matemáticos, que descrevem as trocas de calor e massa entre o ar e o produto armazenado.

7. Referências

DARBY, J., **Aeration increases marketing choices**. Farming Ahead, nº 144, p. 26-28, 2004.

PEREIRA, J. M., **Higroscopia**. [Notas de Aula]. CENTREINAR. Viçosa: MG. _____

PEREIRA, J. M., **Aeração de grãos – Fundamentos e manejo**. [Notas de Aula]. CENTREINAR. Viçosa: MG. _____

SILVA, J. S. [editor], **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. 509 p.

SILVA, L. C., **Micotoxinas em grãos e derivados**. Revista Grãos Brasil, Ano VIII, n. 39, Novembro/Dezembro de 2009, p. 13-16.

WEBER, E. A., **Armazenagem Agrícola**. Editora. Livraria e Editora Agropecuária, Guaíba: RS. 2001. 396 p.

TOWNE, H. L., **Aeration strategies**. World Grain, July 2001, p. 52-56