

Aeração de grãos – aplicabilidade e riscos¹

Por: Luís César da Silva

1. Introdução

A aeração é uma das operações do pré-processamento de grãos, em que, por meio da passagem de um fluxo de ar, em condição ambiente, pela massa de grãos é renovado o ar do espaço intergranular, o que traz benefícios, como: (a) remoção de odores, (b) homogeneização do teor de água do produto, e (c) uniformização da temperatura do produto. Esses benefícios são alcançados se o sistema foi adequadamente projetado e implantado, e é operado apropriadamente.

Na operação, especial atenção deve ser dada as condições psicrométricas do ar ambiente. Pois, se o fluxo de ar aplicado possuir baixa umidade relativa, ocorrerá a supersecagem do produto. Por outro lado, se a umidade relativa do ar for alta, aumentará a disponibilidade de água no espaço intergranular, propiciando a proliferação de fungos. O desenvolvimento de fungos na massa de grãos traz danos como: geração de odores, aumento da temperatura, metabolização de micotoxinas, e aumento do índice de grãos ardidos.

Desse modo, devido à importância do tema, **aeração dos grãos armazenados**, discute-se a seguir sobre: (i) o sistema de aeração; (ii) a operação; e (iii) os riscos das ocorrências da supersecagem ou umedecimento do ar intergranular.

2. Sistema de aeração

O sistema de aeração é constituído pelo ambiente de armazenagem, ventilador, duto condutor e dutos de distribuição.

Abstract

Grain Aeration – Application and Risk

(Federal University of Espírito Santo - Food Engineering Department - Technical Bulletin: AG: 01/14 - 04/02/2014, Revised:02/22/2016)

This extension bulletin describes the application and risk related to grain aeration. Risk is associated the occurrences of overdrying or humidification of intergranular air. Thus decision makers need to be attempted to: (i) variables associated with grain storage ecosystem such as grain temperature and moisture ,and water activity in intergranular space, (ii) psychrometric conditions of ambient air, and (iii) characteristics of aeration system such as airflow magnitude, fan power, and pressure drop.

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

¹ Artigo publicado na Revista Grãos Brasil: Da Semente ao Consumo, Ano X, nº 64, Jan/Fev de 2014. p. 29-33

a) O ambiente de armazenagem

O ambiente de armazenagem trata-se de um ecossistema, que possui elementos bióticos e abióticos. Os bióticos são a massa de grãos, insetos, fungos, bactérias e ácaros; e abióticos o ar intergranular, as impurezas e os remanescentes de defensivos químicos empregados no controle de pragas.

Os elementos bióticos ao respirarem, geram calor, água e gás carbônico, o que é potencializado por maiores temperaturas e a disponibilidade de água no ambiente. No caso específico dos grãos, quanto maior for a taxa de respiração, mais acelerado é a transformação da matéria seca do produto em calor, água e gás carbônico. O que configura como perda quantitativa. Para evitar essa perda, o ideal é armazenar milho, soja ou trigo com o teor de água próximo a 13% e a temperatura inferior a 20 °C.

A exceção dos grãos, os demais elementos do ecossistema estão dispersos no espaço intergranular. O volume desse espaço é calculado empregando a propriedade física dos grãos denominada porosidade. Essa propriedade trata-se da razão percentual entre o volume intergranular e o volume total da massa de grãos. Para milho, soja e trigo os valores da porosidade são, aproximadamente, 40, 38, e 45%, respectivamente.

Exemplo, para milho com massa específica de 0,75 t/m³, ao ser acondicionado em um silo como representado na Figura 01, o volume de produto será igual a 305 m³; e desse volume, 122 m³ (=0,40 x 305) corresponde ao volume do espaço intergranular.

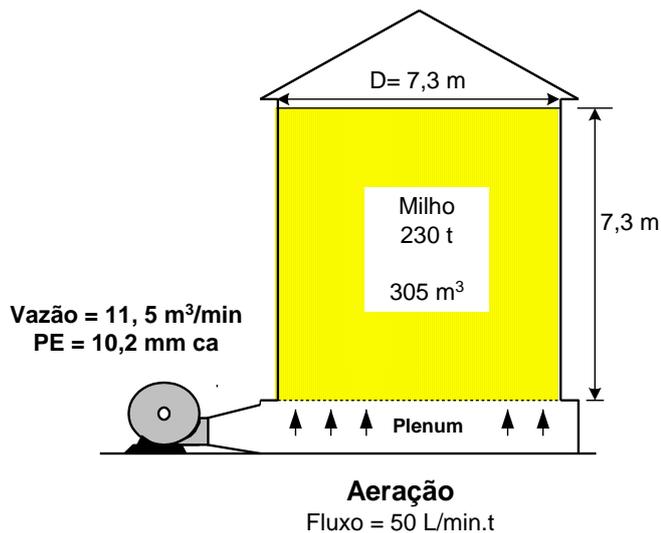


Figura 01 – Sistema de aeração – silo armazenador.

b) Os ventiladores

Os ventiladores são empregados para imprimir fluxos de gases ou de ar, em que a energia mecânica presente no rotor é convertida em energia cinética associada ao fluido. Imprimir fluxo traduz em estabelecer vazão, exemplo 100 m³ de ar/min, e pressão, exemplo, 30 milímetros de coluna de água (30 mm de c. a.)

Para definição do valor da vazão, deve-se observar o fluxo de ar indicado para operação. Exemplo, para aeração de grãos armazenados em silos, os fluxo de ar recomendado varia de 30 a 100 L de ar/min/t de produto, enquanto em graneleiros os de 100 a 200 L de ar/min/t de produto. Os maiores valores para graneleiros devem-se à maior dificuldade em atingir a todos os pontos da massa de grãos.

Desse modo, para silo representado na Figura 01, com capacidade estática 230 t, ao aplicar o fluxo de 50 L de ar/min/t de produto, a vazão de ar calculada será 11.500 L de ar/min (= 50x230), ou o mesmo que, 11,5 m³ de ar/min. Portanto, o ventilador deve imprimir uma vazão de no mínimo 11,5 m³ de ar/min.

Além da vazão, para especificar um ventilador é necessário determinar a pressão a ser aplicada. Essa pressão deve possuir intensidade que permita vencer as resistências impostas ao fluxo, que são: (i) as rugosidades das superfícies internas dos dutos, (ii) a chapa perfurada dos dutos de distribuição, (iii) a altura da coluna de grãos, (iv) o produto, (v) a compactação da massa de grãos, e (vi) o teor de impureza do produto. O somatório dessas resistências denomina-se perda de carga, ou queda de pressão, que tem o valor expresso em milímetros de coluna de água (mm c. a.) ou centímetros de coluna de água (cm c. a.). Normalmente, para medição dessas pressões empregam-se manômetros em “U” carregados com água.

Para o silo representado na Figura 01, ao aplicar a vazão de 11,5 m³ de ar/min, o ventilador deverá imprimir uma pressão 10,2 milímetros de coluna de água (mm c. a.). Esse valor foi calculado em função da perda de carga relativa à coluna de grãos, o que pode ser estimado como base nos Gráficos ou Equações de Shedd, que são específicos para cada produto. Além disso, na prática é acrescido um valor percentual (50 a 100%) relativo às demais perdas de carga.

c) Os dutos condutores e de distribuição

Os dutos condutores são projetados para promover à conexão do ventilador a câmara “plenum” dos silos, ou aos dutos de distribuição, que possuem a face superior cobertas em chapas perfuradas, por onde o fluxo de ar é introduzido à camada de grãos.

Dessa forma, a área de chapa perfurada pode corresponder a toda base do silo, ou então, as diferentes disposições como representado na Figura 02. O valor da área de chapa perfurada dependerá da intensidade da vazão. E o número de dutos é definido, de tal forma garantir a uniformidade do fluxo de ar por toda a massa de grãos.

Para os casos de silo, ou graneleiros, em que a altura da coluna de grãos exceda a 6,0 metros, ao invés de se utilizar dutos distribuidores cobertos por chapas perfuradas são empregadas às estruturas denominadas casamatas.

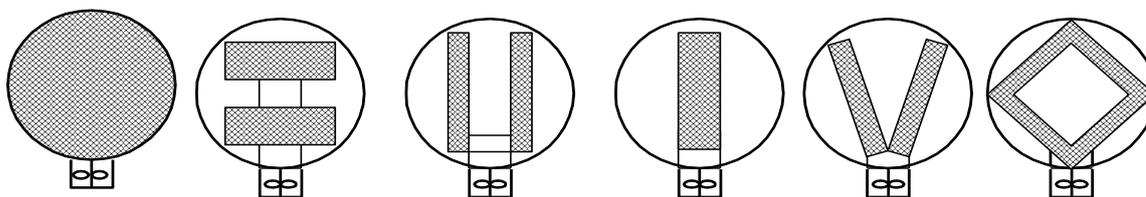
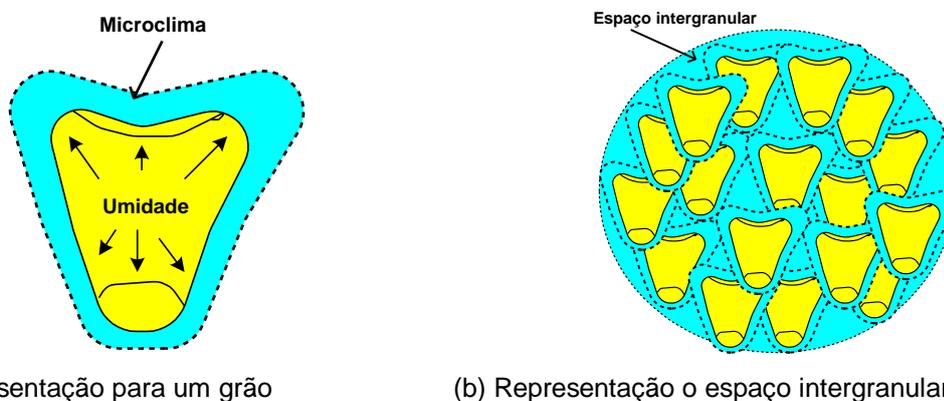


Figura 02 – Configurações de áreas de chapa perfurada na base de silos.

3. Operação – Riscos de supersecagem e umedecimento

Os grãos, como outros materiais biológicos, são higroscópicos, ou seja, possuem a capacidade de trocar água na forma de vapor com o ambiente. Sobre os materiais biológicos, como representado na Figura 03a, são estabelecidos microclimas que configuram como uma finíssima camada de ar. As condições psicrométricas nesse microclima são definidas segundo o teor de água e temperatura dos grãos. Assim, para uma mesma temperatura do produto, quanto maior o teor de água do mesmo, maior será a disponibilidade de vapor nesse microclima. Como também, quanto maior a temperatura do produto, para um mesmo teor de água, maior será a disponibilidade de vapor sobre a superfície dos grãos.



(a) Representação para um grão

(b) Representação o espaço intergranular

Figura 03 – Representação do microclima na superfície dos grãos.

Ao acondicionar os grãos em silos, ou graneleiros, ocorre à sobreposição dos microclimas, estabelecendo assim o espaço intergranular, Figura 03b, onde o ar presente tem as condições psicrométricas definidas segundo a temperatura e teor de água da massa de grãos.

Para estimar as condições psicrométricas do ar do espaço intergranular empregam-se tabelas (Tabela 01) ou equações de equilíbrio higroscópico, que são específicas para cada produto. O ideal seria que os sistemas de termometria contassem com sensores de temperatura e umidade relativa, assim o operador teria maior precisão na definição da condição psicrométrica do ar intergranular.

Tabela 01 – Teores de umidade de equilíbrio para milho

Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)							
	45	50	55	60	“65”	70	75	80
12	10,9	11,7	12,4	13,2	14,0	14,8	15,8	16,8
14	10,8	11,5	12,2	13,0	13,8	14,6	15,5	16,5
16	10,6	11,3	12,1	12,8	13,6	14,4	15,3	16,3
18	10,5	11,2	11,9	12,6	13,4	14,2	15,1	16,1
20	10,3	11,0	11,7	12,5	13,2	14,0	14,9	15,9
22	10,2	10,9	11,6	12,3	13,1	13,9	14,7	15,7
24	10,1	10,7	11,4	12,2	12,9	13,7	14,5	15,5
26	9,9	10,6	11,3	12,0	12,7	13,5	14,4	15,3
28	9,8	10,5	11,2	11,9	12,6	13,4	14,2	15,1
30	9,7	10,4	11,0	11,7	12,4	13,2	14,0	15,0
32	9,6	10,2	10,9	11,6	12,3	13,1	13,9	14,8

Obs.: valores gerados com uso da equação de Henderson.

Exemplo de uso da Tabela 01, se o produto encontra-se armazenado com temperatura de 20 °C e o teor de água de 13,2%, a umidade relativa do ar no espaço intergranular será igual a 65%. Ao dividir esse valor por 100, tem-se que a atividade de água nesse ambiente é 0,65. O desenvolvimento dos fungos e bactérias durante o período de armazenagem é regulado pelo nível de atividade água e temperatura no espaço intergranular. Na Tabela 02 são apresentados os valores de atividade de água no espaço intergranular para temperaturas de 26 a 30 °C, e as respectivas espécies de fungo que tem condições propícias para proliferação.

Tabela 02 – Valores de atividade de água no espaço intergranular para temperatura entre 26 a 30 °C, e as espécies de fungo que proliferam nessas condições

Teor de água dos grãos - %	Umidade relativa do ar intergranular - %	Atividade de água	Espécies
12-14	68	0,68	<i>Aspergillus halophilieus</i>
13-15	70	0,70	<i>Aspergillus restrictus</i>
13-15	73	0,73	<i>Aspergillus glaucus</i>
14-16	80	0,80	<i>A. candidus, A. ochraeus</i>
15-18	82	0,82	<i>A. flavus, parasiticus</i>
15-18	80 a 90	0,80 a 0,90	<i>Penicillium spp.</i>

Fonte: adaptado de BAKKER-ARKEMA (1999).

Na condução da operação de aeração as tabela ou as equações de equilíbrio higroscópico devem ser empregadas para evitar a supersecagem ou o reumedecimento da massa de grãos. Vide os cenários apresentados.

Cenário 1: Suponha que no silo representado na Figura 01 esteja armazenado milho com teor de água de 13,2% e temperatura de 20 °C. O operador da unidade constatou que a temperatura e umidade relativa do ar ambiente são 30 °C e 60%, respectivamente. Pergunta: A aeração pode ser realizada?

Resposta: Não, pois ao consultar a Tabela 01, tendo por dados de entrada a temperatura e umidade relativa do ar ambiente iguais a 30 °C e 60%, respectivamente, constata-se que o teor de umidade de equilíbrio será de 11,7%. Nesse caso, se o operador insistir na condução da aeração parte ou a totalidade do produto armazenado tenderá a reduzir o teor de água de 13,2% para 11,7%, o que corresponde a uma quebra de umidade de 1,73% ($= (13,2-11,7) \div (100-13,2)$). O quantitativo dessa perda será função de quantas horas o sistema de aeração ficará ligado.

A ocorrência da supersecagem implica que parte do produto armazenado, ou a totalidade, teve o teor de água reduzido abaixo do recomendado para comercialização. Se isso ocorreu, por ocasião da expedição será constatada a falta de produto. Pois, parte da água do produto foi evaporada durante a operação de aeração realizada em momento inapropriado.

Cenário 2: Para o silo representado na Figura 01, onde está armazenado milho com teor de água de 13,2% e temperatura de 20 °C, operador constata que a temperatura e umidade relativa do ar ambiente são 18 °C e 80%, respectivamente. Pergunta: A aeração pode ser realizada?

Resposta: Não, pois ao consultar a Tabela 01, constata-se que para condição psicrométrica do ar ambiente, o teor de umidade de equilíbrio será de 16,1%. Portanto, se o operador insistir na condução da operação, o teor de água do produto poderá aumentar. Ocorrendo assim o fenômeno de reumedecimento.

Nota: *Nas análises dos Cenários 1 e 2 não foram consideradas a possibilidade da temperatura do fluxo de ar aumentar, em razão da turbulência ocorrida no interior dos ventiladores. Nesse caso, o aumento pode variar entre 2 a 4 °. Desse modo, as condições psicrométricas do ar insuflado são modificadas.*

No fenômeno de reumedecimento, dificilmente, toda a massa de grãos atingirá o teor de água de 16,1%. O mais agravante desse fenômeno será o aumento de disponibilidade de água no espaço intergranular, o que fatalmente acelera a proliferação de fungos. Com a proliferação desses agentes gera-se calor, gás carbônico, água e, possivelmente, micotoxinas. O calor, água e o gás carbônico provem da respiração dos fungos. E para isso os fungos consomem os grãos, o que leva a perda de massa do produto.

Normalmente, no processo de reumedecimento, ocorrerá condensação do vapor de água nos pontos mais frios do produto armazenado, pois à medida que o ar perde calor para o produto, perde-se também a capacidade de transportar o vapor de água.

Para evitar a supersecagem ou o reumedecimento durante a operação de aeração é extremamente necessário que o operador tenha conhecimento das condições psicrométricas do ar ambiente, disponha de informações sobre as condições de armazenagem do produto, e faça uso das tabelas ou equações de equilíbrio higroscópico para a tomada de decisão quanto ao melhor momento de conduzir a operação.

As propriedades psicrométricas do ar ambiente variam ao longo do dia. Para exemplificar, na Figura 04 são representadas as variações da umidade relativa e temperatura, ocorridas na cidade de Maringá-PR durante o dia 17/03/2012.



Figura 04 – Variação da umidade relativa e temperatura para cidade de Maringá-PR em 17/03/2012 (Fonte: SIMEPAR).

Observa-se que os maiores valores de umidade relativa ocorrem entre às 03:00 e 10:00 horas, alcançando valores próximos de 90%. Enquanto, os maiores valores de temperatura ocorrem ao final da tarde com o pico de 31,1 °C às 18:00 h, nesse momento a umidade relativa foi de 50%. Quanto aos momentos propícios para aeração dos grãos, o que seria temperaturas entre 20 e 25 °C e umidade relativa entre 60 a 70%, para o dia selecionado ter-se-ia alguns minutos por volta das 13:00 horas. Portanto, na prática, esse seria um dia impróprio para conduzir a aeração.

4. Sistemas de aeração automatizados

No mercado brasileiro são comercializados equipamentos que permitem automatizar a gestão da operação de aeração, como também, a operação de seca-aeração. Na seca-aeração os grãos são removidos do secador quentes, com até dois pontos de umidade acima do teor de água final desejado. Os grãos aquecidos são transportados aos silos ou células dos graneleiros, onde permanecem em descanso por 4 a 8 horas. Após esse período, é insuflado um fluxo de ar nas condições ambiente com o objetivo de remover calor

e os dois pontos de teor de água. Após essa operação, os grãos estarão com o teor de água e temperatura ideais para armazenagem, e o sistema automatizado passará a gerenciar a operação de aeração.

Os sistemas de aeração automatizados apresentam os seguintes elementos (Figura 05): (i) estação meteorologia – permite a obtenção das condições psicrométricas do ar ambiente; (ii) sistema de termometria – propicia obtenção da temperatura da massa de grãos em diferentes pontos; (iii) central computadorizada – analisa os dados da termometria e os das condições psicrométricas do ar ambiente, processa o programa selecionado pelo operador que pode ser: “*Secagem*” (seca-aeração), “*Conservação*” (aeração) ou “*Resfriamento*”, e repassa informações ao sistema de acionamento dos ventiladores; e (iv) sistema de acionamento dos ventiladores: aciona os ventiladores, e se o sistema dispõem de queimadores de gás junto a entrada de ar dos ventiladores, estes poderão ser acionados caso as condições psicrométricas do ar ambiente não sejam propicias no momento do acionamento dos ventiladores.

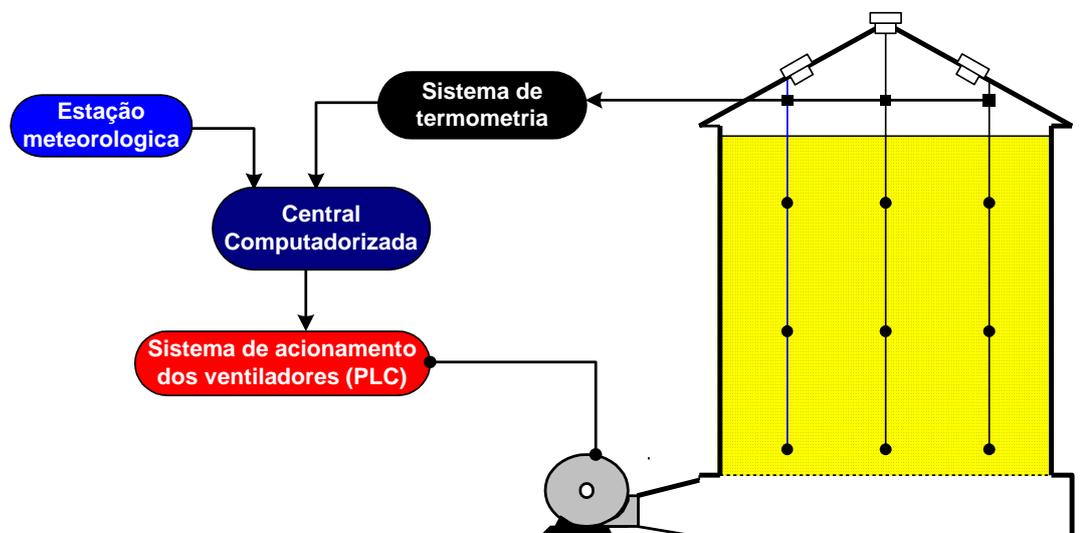


Figura 05 – Representação sistema automatizado de aeração.

O sucesso no uso dos sistemas automatizados de aeração, como também na operação manual, fundamenta-se nos seguintes cuidados:

- O sistema de aplicação do ar deve ter sido devidamente projetado e implantado para garantir a aplicação do fluxo de ar desejado por toda a massa de grãos. Recomenda-se periodicamente certificar a intensidade do fluxo de ar em diversos pontos da massa de grãos;
- O sistema de termometria deve estar funcionando adequadamente, e os cabos devem estar devidamente posicionados. Recomenda-se, portanto, antes do carregamento de silos e graneleiros a fixação dos cabos junto ao fundo dessas estruturas; e

- A massa de grãos deve estar devidamente limpa, e a quantidade de impureza permitida, deve estar distribuída homoganeamente pela massa de grãos. Isso facilita a passagem do fluxo de ar.

6. Ponderações Finais

Toda unidade armazenadora deve dispor no mínimo de um psicrômetro, ou termo-higromêtro, para apoio a tomada de decisão quanto à condução da operação de aeração. E mais importante, o tomador de decisão, deve estar devidamente treinado, quanto aos conhecimentos de psicrométrica, elementos do sistema de aeração, equilíbrio higroscópico dos grãos e deterioração fúngica.

A aeração conduzida em momentos impróprios traz prejuízos de ordem quantitativa, como na supersecagem, ou de ordem qualitativa, como no reumedecimento. Além disso, ocorrem custos, por exemplo, depreciação dos equipamentos e uso da energia elétrica.

No entanto, se a aeração for conduzida apropriadamente, tem-se por benefícios, grãos armazenados com bom aspecto, livres de odores e micotoxinas, e homogêneos quanto à temperatura e teor de água. Fatos que constituem o ápice da aplicação correta das tecnologias para armazenagem de grãos.

7. Bibliografias consultadas

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

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