

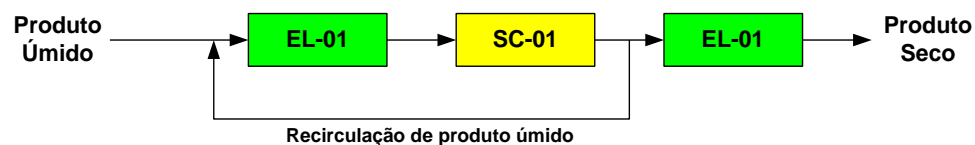
Operação de secadores cascata

Por: Luís César da Silva

1. Introdução

O setor de secagem em unidades armazenadoras deve receber especial atenção quanto ao gerenciamento e operação. Pois, é esse setor que: (a) responde por cerca de 60% do consumo energia elétricas, (b) consome energia térmica resultante da queima de combustíveis como lenha ou gás; e (c) é o que causa maior impacto as qualidades físicas do produto, decorrente de danos mecânicos e, ou térmicos, principalmente, quando há necessidade de recircular o produto pelo secador, até ser atingido o teor de água desejado.

A configuração básica do setor de secagem é representada no fluxograma da Figura 01, em que, o elevador EL-01 abastece o secador ou circula o produto quando da secagem intermitente; e o elevador EL-02 descarrega o produto seco.



Legenda:

EL-01 - Elevador de caçambas

SC-01 - Secador cascata

EL-02 - Elevador de caçambas

Figura 01 – Fluxograma básico do setor de secagem

Quanto ao secador, o modelo mais utilizado em unidades armazenadoras no Brasil é o secador de fluxos misto tipo cavalete, Figura 02, também denominado secador cascata, ou ainda secador de calhas. No mercado são encontrados equipamentos com capacidades horárias nominal de secagem de 15 a 250 t/h.

Abstract

Mixed Flow Dryer Operation

(Federal University of Espírito Santo - Food Engineering Department - Technical Bulletin: AG: 02/06 - 06/18/2006, Revised: 02/17/2016)

This technical bulletin describes detail operations of mixed flow dryer that is the main type of dryer used in grain storage facilities in Brazil, with a nominal capacity ranged from 15 to 250 tonnes per hour. Drying sector in grain storage facilities should receive special attention in terms of management and operation, because it (a) accounts around 60 % of the electric energy consumption, (b) consumes thermal energy resulting from combustion of fuels such as firewood or gas; and (c) can cause mechanical or thermal damage in grains, especially, when product need to circulate several times through the dryer until reached the desired moisture content. So it is highlighted input variables, system parameters and out variables that need to be monitored, adjusted, and evaluated to guarantee good performance of the mixed flow dryer.

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

É importante ressaltar que as capacidades horárias nominais divulgadas pelos fabricantes, normalmente, referem à operação dos secadores de forma contínua ao reduzir o teor de água dos produtos de 18,0 para 13,0%.

Se o teor de água do produto é superior a 18,0%, normalmente, é necessário operar o secador de forma intermitente. Assim, a capacidade horária é reduzida, o que leva ao acúmulo de produto nas moegas e, ou silos-pulmão, e, conseqüentemente, ocorrências de filas de caminhões na recepção.

Estruturalmente, os secadores de fluxos mistos tipo cavaletes, Figura 02, possuem uma torre central montada pela superposição vertical de caixa dutos. Uma caixa duto é formada por dutos montados em uma fileira horizontal. Um secador de 40 t/h possui na torre cerca de setenta e quatro caixas dutos. E é por entre os dutos que circula a massa de grãos em movimento semelhante a pequenas cascatas, o que define a denominação popular – secador cascata.

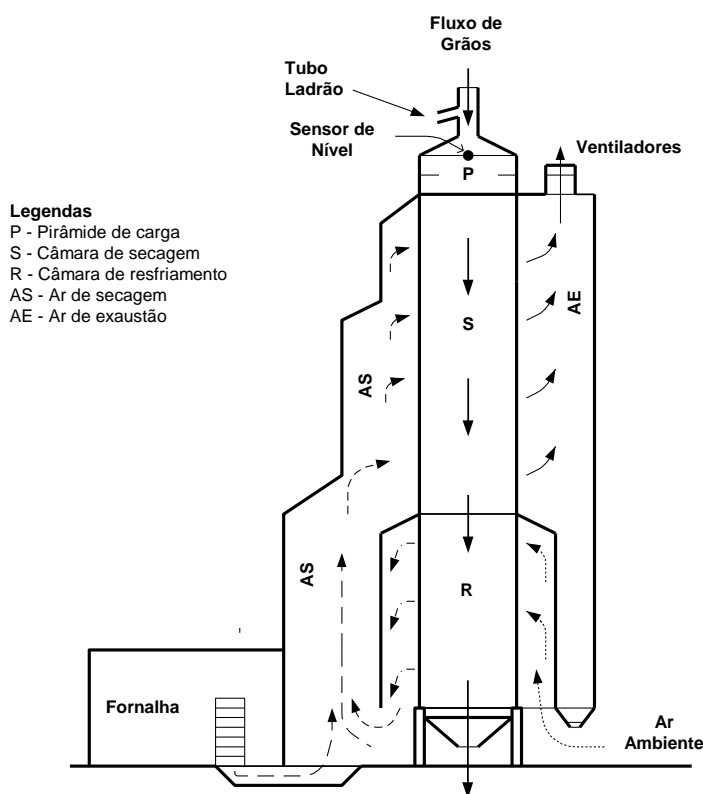


Figura 02 - Secador de fluxos misto – tipo cavaletes.

Como representado na Figura 02, dois terços da altura da torre central corresponde à câmara de secagem. Sendo que pelo lado esquerdo entra o ar de secagem com temperaturas entre 80 a 110 °C. E do lado direito é procedida a sucção do ar de exaustão, que geralmente possui temperatura de aproximadamente 7 °C acima da temperatura ambiente.

O um terço inferior da torre central corresponde à câmara de resfriamento, que tem por objetivo remover calor da massa de grãos, deixando-a com temperatura próxima a 30 °C.

Para o secador esquematizado na Figura 02, tem-se o reaproveitamento do ar que sai da câmara de resfriamento. Assim, ao invés de lançar essa massa de ar aquecida diretamente ao ambiente, essa é misturada ao ar de secagem, melhorando o rendimento do secador em termos energéticos. Este conceito passou a ser empregado no Brasil a partir dos anos 90. Já nos anos 2000 surgiram os secadores com circuitos de reaproveitamento duplo.

Sobre a torre do secador, Figura 02, está montada a “pirâmide de carga”. Nesse local deve ser mantida uma quantidade de grãos que permita a torre central estar sempre cheia. Pois a falta de produto propicia a passagem direta do ar de secagem de um lado da torre para o outro. Fato que pode causar superaquecimento e danos aos motores elétricos dos ventiladores, como também, a estrutura do ventilador, causando, por exemplo, o desbalanceamento do rotor.

O secador esquematizado na Figura 02 tem ventiladores colocados na parte superior. No entanto, estes podem estar na lateral ou junto à base. A função dos ventiladores é garantir a vazão de ar necessária à secagem.

2. Avaliação de secadores

Retomando ao fluxograma do setor de secagem, Figura 01, e visualizando o mesmo como um sistema que é pretendido estudar, avaliar e, ou otimizar; faz-se necessário conhecer: (i) as variáveis de entrada, (ii) os parâmetros do sistema, e (iii) as variáveis de saída; Tabela 01.

Tabela 01 – Fatores a ser considerando no estudo de secadores

Variáveis de entrada	Parâmetros do sistema	Variáveis de saída
Teor de água inicial do produto; Tipo de produto; Índice de grãos quebrados; e Índice de grãos trincados.	Capacidade horária dos elevadores; Potência dos motores elétricos; Vazão de ar empregada; e Velocidade do produto pelo secador.	Tempo de secagem; Teor de água e final do produto; Temperatura do ar de exaustão; Índice de grãos trincados; Índice de grãos quebrados; Consumo de lenha; Consumo específico de energia; e Consumo de energia elétrica.

É discutido abaixo o que deve ser observado quanto aos fatores destacados na Tabela 01.

2.1 Variáveis de entrada

Das variáveis de entrada, a que pode levar a procedimentos gerenciais é o teor de água inicial do produto. O ideal é que fossem recebidos produtos com teor de umidade abaixo de 18%. Desse modo, a massa de grãos seria exposta a operação de secagem por menor tempo, o que traria benefícios, como: (i) preservação da integridade dos grãos, fato que garante - melhor remuneração por ocasião da comercialização, menor dispêndio no

controle de pragas visto que grãos trincados e quebrados favorecem a proliferação de insetos e fungos; (ii) minimização da perda da massa em operações de transporte e limpeza; (iii) redução do consumo de energia elétrica e calorífica; e (iv) redução da extensão e filas de caminhões no setor de recepção.

No entanto, sob questão de mercado e prestação de serviços não há como recusar o recebimento de cargas com alto teor de água. Principalmente, em cooperativas quando se tratar de cooperados com bom grau de fidelidade. Sendo assim, são requeridas medidas gerenciais, como (i) a separação dos produtos em moegas, e ou silos-pulmão de acordo com o teor de água inicial, e (ii) a sincronização das operações recepção na unidade armazenadora e de colheita nas propriedades agrícolas. Isso irá requerer integração gerencial por parte unidade armazenadora e os produtores para elaboração do planejamento da colheita.

Quanto aos índices de grãos trincados e quebrados, isto tem relação a fatores como: a variedade do produto, ocasião da realização da colheita, regulagem da colheitadeira e grau de dureza dos grãos, principalmente, milho.

É de conhecimento que nas unidades armazenadoras não é possível incrementar a qualidade da massa de grãos. E que o objetivo maior é preservar a qualidade obtida durante o cultivo. Posto isso, especial atenção deve ser voltada a operação de secagem. Pois, os índices de grãos trincados e quebrados podem aumentar drasticamente. O que ocorre, principalmente, quando o teor de água da massa de grãos é superior a 20%. Nesse caso, é necessário circular o produto pelo secador de três a quatro vezes, o que tecnicamente é definido como secagem intermitente.

Na Tabela 02 são apresentados resultados simulados, ao secar 300 toneladas de milho com teores iniciais de 28, 25, 20 e 18% para o teor de água final de 13%. [Acesse o programa em: www.agais.com/toolbox/dryersim_new.php]

Tabela 02 – Desempenho de um secador de fluxos mistos de 40 t/h ao secar 300 t de milho

Teor de água inicial (%)	Tempo de secagem (h)	Rendimento (t/h)	Consumo de lenha (m ³)	Quantidade de produto movimentada (t)	
				EL-01	EL-02
28	20,7	14,5	31,4	869	248
25	19,2	18,0	25,3	707	259
20	12,4	30,2	15,1	437	276
18	10,5	37,5	12,1	360	283

Nota: Valores simulados por meio de computador.

Por exemplo, ao comparar as quantidades de produtos movimentadas pelo elevador EL-01 quando o teor de água inicial foi 18% tem-se 360 t, enquanto para o teor de água inicial de 28% a movimentação foi de 869 t. A cada passagem no secador o produto é submetido ao estresse térmico e a danos mecânicos, conseqüentemente, é aumentado os índices de grãos trincados e quebrados.

2.2. Parâmetros do sistema

Quanto às características operacionais, Tabela 01, como capacidades horárias e potências elétricas dos motores, é esperado que estas tenham sido adequadamente definidas quando da elaboração do projeto do secador. Quanto aos parâmetros, vazão de ar e a velocidade do produto pelo secador, têm-se que estas são impactados pela forma de operação e afetam diretamente a performance do secador. O que pode levar ao consumo excessivo de energia elétrica e, ou de combustível – lenha ou gás.

a) Vazão de ar

A vazão de ar sugada pelos ventiladores é resultante da junção dos seguintes quantitativos provenientes: (i) da fornalha, 10%; (ii) do misturador tangencial, também denominado “ciclone ou quebra-chamas”, 40%; e (ii) da câmara de resfriamento, 50%. Vide o esquema representado na Figura 03, que traz valores de vazão para um secador de 40 t/h com reaproveitamento simples.

Legenda:

QFC = Vazão de ar frio pelo ciclone

QGR = Vazão de ar pela grelha

QRE = Vazão de ar pela câmara de resfriamento

QVE = Vazão de pelos ventiladores

S = Câmara de secagem

R = Câmara de resfriamento

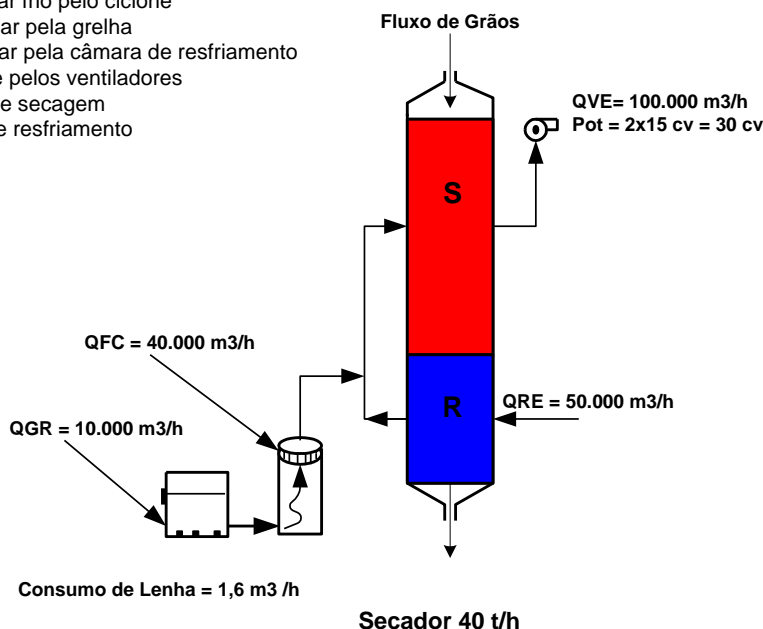


Figura 03 – Vazões de ar para secador de 40 t/h modelo fluxos mistos tipo cavalete.

Conforme dados da Figura 03, para o secador de 40 t/h, que normalmente empregam dois ventiladores de 15 cavalos, a vazão de ar total é de 100.000 m³/h. Esta é resultante do seguinte somatório: (i) 10.000 m³/h - proveniente da região da grelha da fornalha; (ii) 40.000 m³/h – proveniente das entradas de ar no corpo do ciclone; e (iii) 50.000 m³/h – proveniente da câmara de resfriamento.

Como pode ser observado, é importante garantir um valor razoável de vazão de ar pelas entradas instaladas na estrutura do ciclone. Isto deve ser feito para: (i) sustentar a vazão de ar necessária; e (ii) evitar a ocorrência de fagulhas na torre de secagem.

É importante ressaltar que quanto o operador fecha as entradas de ar da fornalha e do ciclone a temperatura do ar de secagem aumenta facilmente. No entanto, se o secador for operado desta forma o rendimento é altamente afetado, uma vez que não são obtidas as vazões de ar especificadas na Figuras 03. Dessa forma, o secador opera estrangulado.

Portanto, é recomendado medir as vazões de ar nos seguintes pontos: (i) entradas de ar abaixo da grelha, (ii) aberturas no corpo do ciclone e (iii) entradas de ar ambiente pela câmara de resfriamento. No artigo "[Fornalhas em Secadores Cascata](#)" publicado na edição de número XVI em setembro de 2004 o leitor poderá obter detalhes como proceder à medição de vazões.

Outra forma de monitorar a vazão de ar é medir a pressão estática nas posições 1, 2, 3 e 4, (Figura 04), que em média igual devem ser 26, 26, 3 e 50 milímetros de coluna de água, respectivamente.

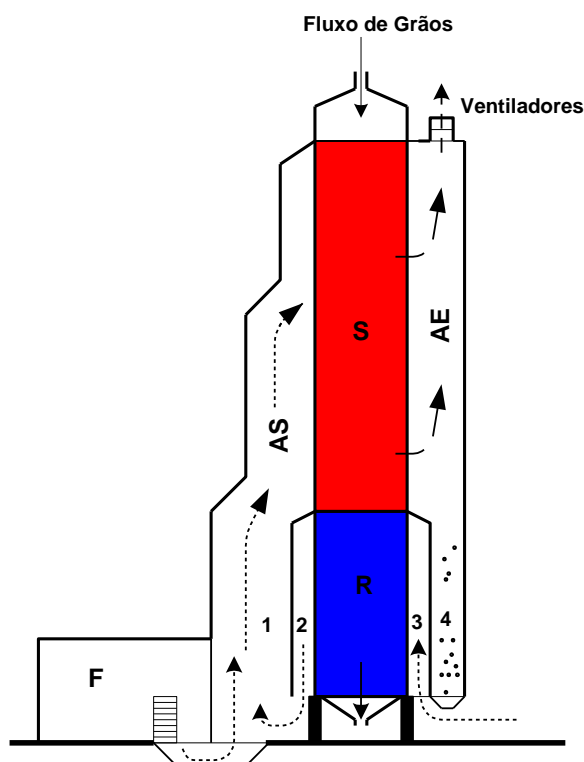


Figura 04 - Indicação dos pontos de medida de pressão estática em secadores tipo cascata com reaproveitamento.

A pressão estática tem relação ao “esforço imposto” pelos ventiladores para arrastar a massa de ar. Por exemplo, se os valores de pressão estática nos pontos 1, 2 e 4 estiverem muito acima dos recomendados, é indicativo que as entradas de ar da fornalha e do ciclone não estão fechadas, além do necessário. E para a situação que os valores de

pressão estática estão muito abaixo dos citados significa que pode estar ocorrendo entrada de ar por algum ponto na estrutura do secador, ou então, os ventiladores não estão funcionando apropriadamente, ou ainda, as aberturas das entradas de ar da fornalha e do ciclone estão muito abertas.

Para a medição da pressão estática podem ser utilizados manômetros em “U” tendo por líquido água. Estes manômetros podem ser confeccionados em vidro, acrílicos ou simplesmente uma mangueira de pedreiro.

É importante ressaltar que os valores de vazão apresentados na Figura 03 e os de pressão estática referem quando o secador opera de forma contínua. Para as situações de secagem intermitente e secagem em torre inteira os valores devem ser outros. Consulte o catálogo operacional do equipamento.

Para o caso do secador operar de forma intermitente (circulando produto), o ideal seria que a entrada de ar ambiente pela câmara de resfriamento só ocorresse na última passagem. Quando então o produto necessitaria, realmente, ser resfriado para ser conduzido a armazenagem. Para outras situações, a câmara de resfriamento deve funcionar como câmara de descanso. Assim, ocorre economia de energia elétrica e calorífica, e redução do tempo de secagem.

Ao ser fechadas as entradas de ar frio da câmara de resfriamento faz-se necessário aumentar as vazões pela área da grelha e entradas do ciclone. No entanto, há secadores que não operam adequadamente para esta situação. O problema frequente é a retenção de produto na torre em razão da pressão exercida pelos ventiladores. Isto constitui uma questão de engenharia a ser solucionada pelo seu fornecedor.

Quanto à operação em torre inteira, também, é necessário a adequação das vazões de ar pela área da grelha e entradas de ar frio junto ao ciclone, como também, é necessário ser garantido à distribuição do ar por toda a seção lateral da torre central.

b) Velocidade do produto pelo secador

É o sistema de descarga, localizado a base do secador, que permite regular a velocidade de deslocamento do fluxo de grãos dentro da torre. Podem ser encontrados quatro tipos de descarga: (i) sistema mecânico de bandejas; (ii) sistema pneumático de bandejas; (iii) sistema de eclusas rotativas; (iv) bandejas basculantes. Estes sistemas devem ser regulados de tal forma que a velocidade de descida da carga possibilite a obtenção de produto final com teor de água homogêneo.

Normalmente, as impurezas maiores que os grãos tendem a concentrar nas laterais do secador, o que torna mais lento a velocidade do produto pelas laterais do secador. Para minimizar este efeito deve ser promovida a regulagem do sistema de descarga de tal forma que pelas bicas laterais dos secadores venham a escoar mais produto. Assim é evitada a ocorrência da retenção de produto. Caso contrário impurezas ou grãos podem atingir a

temperatura de ignição, o que leva a ocorrência de incêndio. Isto tem maior probabilidade de ocorrência quando da secagem de milho, em que dentre as impurezas podem estar contidos: restos de palhas, pedaços de sabugos e partes do caule, que inflam facilmente.

Normalmente, em um secador de 40 t/h o tempo médio de deslocamento do material deste a pirâmide de carga a base do secador é de setenta minutos. Para medição desse tempo podem ser utilizados produtos de cor diferente ou de outro tipo.

2.3. Variáveis de saída

O conhecimento das variáveis de saída faz-se necessário para a avaliação do desempenho, monitoramento e automatização. Nesse grupo de variáveis são citados: tempo de secagem; teor d água final do produto; temperatura do ar de exaustão; índice de grãos trincados e quebrados; consumo de lenha; e consumo específico de energia.

a)Tempo de secagem

O tempo de secagem está diretamente relacionado ao teor de água inicial do produto. Por exemplo, conforme a Tabela 02, ao ser procedido à secagem de 300 t ao teor de água final de 13%, foi necessária 20,7 e 10,5 horas para os teores de água inicial de 28% e 18%, respectivamente.

De modo geral, quanto maior o tempo de secagem maior será a extensão das filas de caminhões no setor de recepção. Isso decorre da redução da capacidade horária do secador, como demonstrado na Tabela 02. Por exemplo, quando o teor de água inicial foi de 28% a capacidade horária reduziu de 40 t/h para 14,5 t/h.

Para que a redução da capacidade horária do setor de secagem não afete acentuadamente o serviço de atendimento aos clientes, as opções são: (i) aumentar a capacidade estática das moegas; (ii) instalar silos-pulmões; (iii) adquirir mais secadores ou ampliar as capacidades horárias dos existentes; ou (iv) planejar a realização da operação de colheita.

b)Teor de água final

O teor de água final é o parâmetro utilizado para definir quando a carga do secador está pronta para seguir ao setor de armazenagem. Portanto, medições devem ser realizadas periodicamente, exemplo, de 15 em 15 minutos, isto para evitar: (i) a supersecagem - quando o teor de água final fica abaixo ao adotado na comercialização, o que traz prejuízo ao detentor produto; e (ii) a condução de porções de grãos úmidos aos armazéns, que futuramente passam a ser foco de proliferação de fungos, o que pode levar ao: (a) aumento da temperatura da massa de grãos, desencadeando processos de depreciação da qualidade do produto armazenado, e (b) metabolização de micotoxinas, tornando o produto impróprio para o consumo e fabricação de ração, principalmente, para aves e suínos

Atenção especial deve ser dada a determinação do teor de água, pois os grãos dentro do secador podem estar a temperaturas próximas a 35 °C; além disso, para essa condição, a água do produto tende a concentrar no centro dos grãos.

Esses dois fatores podem levar a erros em determinações, principalmente, ao utilizar os determinadores modelo universal, em que, normalmente, o valor lido estará abaixo do valor real. Para contornar isso, é indicado utilizar determinadores baseados no método de destilação, ou então, promover o resfriamento da amostra. Para tanto, pode ser utilizado um pequeno ventilador axial; ou gira-se ao ar a amostra acondicionada em um pequeno saco de tecido.

c) Temperatura do ar de exaustão

Em um secador devidamente regulado e operado, o que se espera é o aproveitamento máximo da energia térmica presente no ar de secagem. Pois, a energia térmica acrescida ao ar deu-se pela queima de um combustível, como a lenha, demandando recurso financeiro.

Portanto, caso o ar de exaustão ainda apresente potencial para fazer secagem é indicativo que energia e dinheiro estão sendo jogados fora. Isso justifica a necessidade de monitorar a temperatura do ar de exaustão, que de acordo com os fabricantes de secadores cascata deve ser um valor em torno de 7 °C acima da temperatura ambiente.

Além disso, esse monitoramento previne a ocorrência de incêndios no secador e danos ao ventilador, pois, caso a temperatura venha a aumentar é indicativo que: (i) o ar de secagem está cruzando a torre central sem executar secagem em razão da falta de produto ou da retenção de produto dentro do secador; ou (ii) a massa de grãos está pegando fogo, o que normalmente está associado a retenção de impurezas que inflamam facilmente.

d) Índices de grãos trincados e quebrados

Estes dois fatores podem constituir em um indicativo da depreciação da “qualidade” quanto à forma de operação do secador. Quanto maior for o diferencial dos índices de grãos trincados e quebrados antes e após a secagem é demonstrativo que maior foi a exposição dos grãos ao estresse térmico e danos mecânicos.

Essa maior exposição, além de ser decorrente do maior teor de água inicial do produto, pode também ser decorrente do baixo rendimento do secador, em virtude da operação e regulagem inadequadas. Isso faz demandar um maior número de circulação do produto pelo secador.

e) Consumo de lenha e consumo específico de energia

O consumo de lenha em excesso é indicativo que a regulagem das fornalhas e das vazões de ar pelo secador não estão adequadas. A melhor forma de verificar a eficiência do consumo de lenha é pela medida do consumo específico.

O consumo específico trata da relação que expressa o quanto de energia calorífica, geralmente, medida em kcal (quilo calorias) é gasta para remover um quilo de água da massa de grãos. Portanto, para a determinação é necessário determinar: (i) o quanto de energia térmica foi gerada pela queima de gás ou lenha; e (ii) o quanto de água foi evaporada do produto.

A quantidade de energia térmica convertida pela queima do combustível pode ser calculada multiplicado o consumo do combustível pelo poder calorífico do mesmo. Por exemplo, ao se proceder a secagem de 300 toneladas de milho de 18 para 13%, Tabela 02, foram gastos 12,1 metros cúbicos de lenha o que equivale a 5,1 toneladas, isto para massa específica da lenha igual a 0,42 t/m³.

Sabe-se que da combustão de uma tonelada de lenha de eucalipto são liberados 2,8 milhões de kcal, têm-se que na queima de 5,1 toneladas de lenha é gerado 14,28 milhões de kcal.

Quanto à quantidade de água evapora, é necessário calcular a quebra de umidade de 18 para 13%, corresponde ao desconto 5,75%. Assim, de 300 t de produto devem ser evaporadas 17,3 toneladas de água.

Ao ser dividido o consumo de energia, 14,28 milhões de kcal, pela quantidade de água evaporada do produto, 17.300 kg, tem-se que o consumo específico de energia de 825 kcal por kg de água evaporada. Os valores, normalmente, obtidos variam de 700 a 1.200 kcal/kg de água evaporada para um secador de 40 t/h. Evidentemente, quanto menor o consumo específico de energia, menor será o consumo e gastos com lenha.

3. Ponderações finais

A operação de secagem é complexa por envolver diversos fatores de comportamento aleatório, tais como: teor de água das cargas, qualidade da lenha utilizada, prática do operador e tipo de produto. Isso faz requerer conhecimentos por parte dos gerentes e operadores.

A realização da secagem sem a observância de parâmetros técnicos conduz prejuízos, como: (i) gastos desnecessários com energia elétrica e energia calorífica; (ii) gastos desnecessários com inseticidas, pois grãos trincados e quebrados favorecem a proliferação de insetos durante a armazenagem; (iii) perda de massa do produto, pois à medida que os grãos tornam mais quebrados ocorrem perdas nas máquinas de limpeza e sistemas de aspiração de pó; e (iv) desvalorização comercial do produto em virtude da queda de padrão na classificação.

Para evitar esses prejuízos procure em primeiro lugar promover treinamento dos operadores e gerentes. Quanto a medidas operacionais regule adequadamente os secadores e fornalhas e realize pelo menos uma vez por ano a avaliação de rendimento. Para tanto, separe em uma moega uma determinada quantidade de produto e conduza a operação de secagem de tal forma a determinar as variáveis de saída apresentadas na Tabela 02. [Acesse o programa em: www.agais.com/toolbox/dryersim_new.php]

Conduza também as manutenções preventivas dos secadores, fornalhas e demais equipamentos. Isso é garantia da melhoria do rendimento dos secadores, e dos serviços de atendimento aos clientes por ocasião das safras.

4. Referências

BROOKER, D. B., BAKKER ARKEMA, F. W., HALL, C. W. Drying Cereal Grains. The Avi Publishing Company, Inc. Westport: Connecticut. 1974. 256 p.

LOEWER, O. J., BRIDGES, T. C., BUCKLIN, R. A. On-farm drying and storage systems . ASAE Publication 9, American Society of Agricultural Engineers. 1974.

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

SILVA, J. S.; BEBERT, P. A. **Colheita, secagem e armazenagem de café**. Juiz de Fora: Editora Aprenda Fácil, 1999. 137 p.

SILVA, L. C. Stochastic Simulation of the Dynamic Behavior of Grain Storage Facilities. Viçosa: UFV. (Tese Doutorado). 2002.

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

Catálogos de fabricantes [acesso pelo site http://www.agais.com/emp_nacional.htm