

Comunicado técnico nº8

Gestão da umidade no beneficiamento

Parte 2

A secagem do algodão: facilitar a abertura, a limpeza e a produtividade

Jean-Luc Chanselme

1. Generalidades e justificativas

O impacto da limpeza do algodão em caroço sobre o grau comercial da fibra é muito significativo. A limpeza do algodão em caroço é favorecida quando o mesmo está seco, quente e aberto. O objetivo da secagem, no início do processo, é reduzir e homogeneizar a umidade da fibra a um nível que permita, ao mesmo tempo, uma boa circulação da matéria e uma limpeza eficiente, sem ocorrer eletricidade estática (4 a 5%). A secagem limita o encarneamento da fibra, aumenta o seu rendimento pela redução das perdas no limpador de pluma e aumenta a produção da usina, evitando embuchamentos e redução de ritmo exigida pelos algodões úmidos.

*Neblina no período de colheita em Mato Grosso
(Fonte: Cotimes do Brasil, 2010)*



A secagem é justificada na maioria das áreas produtivas do Brasil, principalmente no início e no fim da safra de beneficiamento. Devido às condições climáticas no período da colheita, os módulos podem chegar à usina com umidade de 10% ou mais. No caso de prolongamento da safra, as altas umidades impõem a prática de secagem.

Em algumas regiões mais ao sul, com clima frio e chuvoso, sistemas de secagem potentes são necessários e frequentemente utilizados durante a safra.

2. Princípios físicos envolvidos

O princípio da secagem é colocar o algodão em contato com uma corrente de ar quente. A força que remove a umidade do algodão corresponde à diferença de pressão de vapor de água entre o ar e a matéria. Quanto maior esta diferença, mais rápida a secagem. Ao aquecer o ar ambiente, a umidade relativa diminui e a sua capacidade de absorver a umidade do algodão aumenta. A secagem mais rápida ocorre no início, quando o ar é bem mais quente que o algodão. Vários fatores influenciam a secagem:

- A temperatura e a umidade do ar: quanto mais quente e seco o ar, maior o potencial de remoção de umidade da fibra;
- O volume de ar disponível: haverá maior potencial de secagem quanto maior for a relação ar/algodão;
- O tempo de contato entre o algodão e o ar: a quantidade de água retirada da fibra aumenta com o tempo de exposição;
- O deslizamento do ar sobre o algodão favorece a troca de vapor de água por convecção;
- A abertura do algodão: o algodão em carço aberto seca mais rápido.

É possível realizar a secagem com ar ambiente e sem aquecimento, se a umidade relativa for baixa. No cerrado brasileiro, em boa parte da safra, o ar apresenta durante o dia uma umidade relativa baixa que permite secar algodões levemente úmidos sem gastar energia.

Para uma determinada instalação de secagem, quanto mais úmido o algodão, mais alta deverá ser a temperatura do ar para conseguir reduzir a umidade da fibra até o nível desejado.

3. Componentes da secagem e modelos

O sistema de secagem comum usa uma fonte de calor (queimador ou trocador de calor), um secador (torre de secagem), um dispositivo de separação (batedor), ventiladores e tubulação. Equipamentos complementares são importantes para operar o sistema, como: medidores, sensores e controladores no caso de sistema automatizado.

Fonte de calor

A fonte de calor condiciona a eficiência do sistema de secagem. Ela deve ser adaptada a grandes fluxos de ar. O dimensionamento é efetuado em função da quantidade necessária de calor para aquecer o fluxo de ar da temperatura 1 a temperatura 2, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Calor (kcal/hora)} = 0.29 \times \text{fluxo de ar (m}^3/\text{h)} \times [T_2 - T_1 \text{ (}^\circ\text{C)}]$$

Um sistema de ar utilizando 20.000 m³/h com acréscimo de temperatura de 100° C necessita de uma quantidade de calor de 580.000 kcal/h.

Queimadores a gás de alto volume
(Fonte: Continental Eagle Corp. 19XX)



Queimadores a gás (propano líquido) ou querosene tem tempo de resposta muito curto e permitem adaptar instantaneamente a temperatura do ar às variações de umidade do algodão, para preservar a fibra e gastar somente a energia necessária. Porém, são pouco utilizados nas algodoiras do Brasil pelo custo elevado do combustível.

Devido a grandes fluxos de ar utilizados, queimadores de tipo "cortina" ou "duto" são mais eficientes do que os de tipo canhão. Para ser econômico, o queimador deve ter uma combustão eficiente e uma grande amplitude de chama.

Os queimadores utilizados nas algodoiras têm poder calorífico entre 250.000 e 4 milhões de kcal/h.

Trocador de calor utilizado para secagem
(Fonte: Cotimes do Brasil, 2013)



Trocadores de calor (radiadores) utilizando vapor de caldeira não atendem as exigências de automação e rapidez de resposta tanto quanto os queimadores, mas estão se generalizando no Brasil pelo baixo custo operacional.

O dimensionamento adequado do trocador de calor é importante para não abafar o fluxo de ar e conseguir a temperatura desejada.

Hoje, encontram-se no Brasil muitas falhas de dimensionamento e cuidados devem ser tomados ao comprar esses sistemas.

Fornos a lenha tem regulagem manual muito precária (entrada de ar frio por chapa pendular) e apresentam um risco muito alto de excesso de secagem com alteração da qualidade (resistência, cor), o que leva a recomendar o abandono deste equipamento, ainda utilizado em algumas algodozeiras.

Dispositivos de mistura do algodão com ar quente

O ponto de mistura é importante em termos de eficiência da secagem e de qualidade da fibra. Boa parte da secagem acontece no ponto de mistura pelo grande deslizamento do ar sobre o algodão até ele ter atingido a velocidade do ar. Temperaturas excessivas no ponto de mistura danificam a fibra.

A caixa de ar quente (hot-box) permite combinar aspiração na fita do desmanchador com a secagem. É instalada no ponto de sucção, na extremidade da fita do desmanchador de fardões. O dispositivo é econômico, pois combina sucção, secagem e separação de pedras. Porém, a entrada de ar frio junto com o algodão penaliza a secagem. Obriga a gastar muito mais combustível e, na maioria dos modelos encontrados no mercado, não permite conseguir temperaturas de ar de secagem elevadas.

A caixa de sopro (blow-box) é utilizada para retomar o algodão na saída de uma máquina, com ar quente soprado ou puxado. Instalada embaixo de uma válvula de vácuo e podendo compor um dispersor para espalhar o algodão, ela é

posicionada horizontalmente ou de forma inclinada, longitudinal ou transversal embaixo da torre de regulação e embaixo do extrator da primeira etapa de pré-limpeza.

Secador

O secador de gavetas é o modelo mais antigo e ainda utilizado em grande escala nas algodozeiras antigas. O ar quente e o algodão circulam juntos com algum deslizamento, devido à desaceleração do algodão em cada curva. É uma torre de base retangular ou quadrada (132 a 180 cm de lado) e altura máxima de 5 m. Tem 16 a 24 gavetas, com espaçamento pequeno de 20 a 35 cm. É cada vez menos utilizado, por ter uma eficiência discutível e um alto custo energético. Sem isolamento do secador e das tubulações, só uma proporção baixa (20%) da energia calórica gasta é utilizada para secar a fibra. Alguns modelos têm circulação de ar quente adicional entre as gavetas, para evitar o esfriamento progressivo. As torres de gavetas estreitas geram uma grande resistência ao deslocamento do ar (pressão estática), o que as torna inadaptadas à secagem por sucção e alto volume.

O secador de alto volume usa espaçamentos maiores entre gavetas (até 69 cm) para aumentar a capacidade e serem utilizadas em sistema de secagem por sucção. Trabalham com fluxo de ar médio (taxa ar/algodão de 1,6 m³/kg). No modelo mais elaborado, um ar quente adicional é injetado diretamente na entrada da torre num dispositivo que cria turbulências e deslizamento, aproveitado como cata-pedra.

*Secador sem gavetas com tubulação isolada
(Fonte: Cotimes do Brasil, 2014)*



Secadores sem gaveta sempre utilizam a agitação do algodão no ar quente para combinar abertura e secagem, gerando deslizamento significativo entre o algodão e o ar. São equipamentos adaptados à secagem de alto volume por sucção (relação ar/algodão de até 3.1 m³/kg) e interessantes pela baixa pressão estática gerada. O mais simples é a torre sem gavetas, tipo fonte. O algodão movido pelo ar quente entra pela base e é projetado para cima, flutua nas turbulências, trocando a água com o ar turbulento, continuamente renovado.

Modelos melhorados aumentam o deslizamento do ar no algodão por colisão entre dois fluxos de algodão opostos na entrada, ou por desvio de fluxos com defletores estrategicamente localizados dentro do secador.

O secador de fluxo vertical combina vários fatores favoráveis à secagem, tais como: grande abertura da massa de algodão e grande deslizamento e tempo de contato entre o algodão e um alto volume de ar. O algodão é repartido de maneira homogênea, aberto e dispersado por uma sucessão de cilindros de pinos que giram em cima de grades de cantoneiras.

O secador pode constituir um gargalo quando é usado em dispositivos de alto volume ou com fluxos maiores de algodão em caroço (caso do algodão adensado). O dimensionamento do secador é então fundamental para poder atingir os ritmos de beneficiamento desejados.

Separação do algodão e do ar quente

Na separação ocorre mais uma oportunidade de extrair umidade da fibra, quando o ar atravessa a camada de algodão formada neste ponto. Os batedores são os dispositivos mais comuns. Utilizados no sistema de ar quente e trabalhando sempre com sucção nas usinas modernas, são então chamados de batedores de ar quente.

Sistema pneumático

As tubulações constituem de fato limitações à secagem, pois geram perdas de calor e gasto de energia. Precisam imprescindivelmente ser isoladas termicamente, para conseguir temperaturas de ar suficientes no sistema (em particular, quando há aquecimento com radiador/caldeira). No caso do uso de combustível (gás ou querosene), a isolação com lã de vidro ou de rocha gera economia de combustível que pode chegar a 20 ou 30%, dependendo da espessura. O investimento se paga rápido.

O alto volume de ar colocado em contato com o algodão em caroço úmido pode ser obtido:

- Em uma etapa com grandes fluxos de ar;
- Em duas etapas sucessivas. A segunda etapa de secagem geralmente é sem torre;
- Dividindo o fluxo de algodão entre duas linhas de secagem e limpeza.

Controles e automação

A automação da secagem resulta em economia considerável de energia, pelo ajuste permanente do consumo de combustível para estritamente o necessário. O risco de excesso de secagem e de perdas de produtividade é significativamente reduzido. A alta capacidade do beneficiamento não permite o ajuste manual da secagem. A medição automática da umidade do algodão por sensores, auxiliando a tomada de decisão, é o mínimo que se faz.

O controle automático da secagem é melhor ainda, pois permite ajustar a temperatura do ar em tempo real. Fontes de calor devem ter uma interface homem-máquina para que haja instruções e visualizações permanentes, no painel de controle, das temperaturas e alarmes. No caso da secagem utilizando vapor de caldeira, o ajuste automático da temperatura de ar deve ser feito pela quantidade de ar frio misturada com ar quente.

*Sensor de umidade na fita do desmanchador
(Fonte: Cotimes, 2006)*



Muitos sistemas de regulação automática são baseados somente nas medições de temperaturas do ar de secagem. Neste caso, é preciso que haja pelo menos dois sensores: o primeiro, instalado antes do ponto de mistura, serve para limitar a temperatura; já o segundo, em geral instalado na entrada da torre, permite a regulação da temperatura do ar em função da umidade e quantidade de algodão no sistema. Os sistemas de secagem mais avançados integram, na regulação automática, a medição contínua da umidade do algodão através de um sensor instalado embaixo da torre de regulação, ou na esteira do desmanchador.

4. Dimensionamento do sistema de secagem

A secagem bem desenhada e operada não é perigosa para a fibra. O sistema de secagem deve ser poderoso o suficiente para tratar qualquer tipo de algodão que

chegue à usina. Temperaturas elevadas não devem ser utilizadas, para não danificar a fibra. Em geral, elas são utilizadas para tentar compensar desenhos errados e subdimensionamento. Os sistemas de alto volume, pela potência de secagem disponível, não precisam de altas temperaturas, preservam a qualidade e favorecem o comprimento.

O algodão é uma matéria natural, agrícola e heterogênea, também com relação à umidade, que pode variar muito dentro de um mesmo fardão. O sistema de secagem deve ser desenhado e dimensionado para conseguir tratar todos os tipos de algodão que chegam à usina em todas as condições climáticas habitualmente encontradas na área. Deve respeitar as normas para manter a produtividade da usina, gastar o mínimo de energia e aumentar o valor comercial da fibra, sem agredi-la. Em nenhum caso, a temperatura de qualquer porção do sistema de secagem deve exceder a 175° C.

As matérias estranhas usam boa parte da energia calórica e os sistemas de secagem devem ser dimensionados de acordo com o tipo de colheita. O dimensionamento obedece a normas de fluxo de ar e de temperatura de ar. A velocidade do ar nas tubulações deve ser mantida entre 22 e 25 m/s. Numa torre de gavetas, a velocidade é menor (entre 7,5 e 10 m/s). O fluxo de ar necessário é calculado combinando-se a capacidade da usina com a relação volume de ar/peso de algodão desejado (entre 1,9 e 3,1 m³/kg). A combinação do fluxo (m³/h) com a velocidade (m/s) permite definir a secção das tubulações e dos secadores.

*Sistema de secagem de alto volume
(Fonte: Cotimes do Brasil, 2012)*



No caso dos algodões muito úmidos e para evitar reduzir muito o ritmo de beneficiamento, o sistema de secagem deve ser de alto volume. Sistemas de secagem potentes não gastam mais energia pelo fato de serem de alto volume. Geralmente, utilizam somente sucção e aproveitam melhor o potencial de secagem do ar ambiente durante uma boa parte da safra. Há vantagens de uma secagem por sucção: ausência de emissão de poeira na usina e menor temperatura de trabalho das tiras de borracha das válvulas de vácuo.

Um sistema de secagem bem dimensionado e potente, respondendo rapidamente às variações do algodão em caroço, é o segredo para manter uma boa produção no caso de excesso de umidade, evitando embuchamentos e paradas. Permite economia de combustível e proteção da fibra.

5. Layout do sistema de secagem

O típico sistema de secagem nas antigas algodozeiras brasileiras é de tipo ar quente empurrado. Consiste em um aquecedor (forno a lenha, queimador a gás, trocador de calor/caldeira), um ventilador (soprando o ar quente), encanamento, secador do tipo torre de gavetas baixas, limpador de algodão em caroço trabalhando em pressão positiva, e coletora de poeira de tipo charuto. É um sistema desenhado nos EUA, nos anos 1950, pela Murray, custoso em energia (sistema independente da sucção e pressão estática alta) e que gera poeira dentro do prédio de beneficiamento (pressão positiva).

Nas algodozeiras modernas, o sistema consiste de um aquecedor (queimador a gás ou trocador de calor/caldeira), ventiladores (puxa ou empurra-puxa), secador do tipo torre e limpador de algodão em caroço inclinado ou horizontal, que separa o ar úmido do algodão. Em geral é econômico, pois combina sucção e secagem. Existe grande variação no *layout* da secagem e quantidade de ar requerida. A duração da exposição à secagem pode variar bastante entre algodozeiras. Uma segunda etapa de secagem pode existir no caso de algodões muito úmidos, como encontrados nos estados mais no sul do país.

6. Gestão da secagem

Não tem gestão sem medição sistemática. A secagem deve ser manejada a partir da umidade do algodão em caroço na sucção (fita do desmanchador de fardões), considerando a umidade relativa do ar. A medição manual (umidímetros) é possível e mais fácil na fita do desmanchador de fardão, onde o algodão é descompactado e parcialmente mexido. A medição manual é lenta, pontual, pouca repetitiva e mobiliza mão-de-obra. Não permite detectar variações repentinas de umidade no caso de núcleos de umidade no fardão, e ajustar a temperatura frequentemente, para responder às variações de umidade na matéria-prima. Usualmente, temperaturas exageradas chegam a ser utilizadas para se proteger dos embuchamentos, por causa da presença de algodão muito úmido,

e a secagem resulta em desperdício de energia e perda de produtividade no descaroador. O risco de excesso de secagem à fibra é grande, também pela irregularidade de fluxo de matéria.

Quando não é possível investir num controle automático da secagem, a gestão manual deve apoiar-se sobre uma planilha que indica a temperatura do ar a ser mantida no ponto de mistura ar quente/algodão, em função da umidade média do algodão e da umidade relativa do ar. A planilha, própria de cada usina, deve ser construída aos poucos e com o tempo, anotando as temperaturas que permitem conseguir uma umidade do algodão em caroço seco de 5% a 6%, nas várias condições de umidade do algodão e do ar.

Nas usinas antigas, onde não existe regulação automática, um sensor de temperatura deve ser instalado justo antes do ponto de mistura para controlar a temperatura do ar quente antes da mistura. Sensores instalados no meio ou embaixo da torre não detectam variações de temperatura no ponto de mistura. No mínimo, o *display* deve ser instalado no painel de controle para ser permanentemente visível pelo operador.

7. Conclusão

Um sistema de secagem bem desenhado e dimensionado permite combinar os objetivos do produtor, do beneficiador e do fiandeiro. Sistemas utilizando o gás são os mais eficientes pela rápida resposta e fácil automação. Os sistemas utilizando vapor de caldeira são de investimento alto, mas econômicos na operação. Ainda frequentemente deficientes em termos de dimensionamento, precisam melhorar muito em relação à automação. A gestão rigorosa da secagem é indispensável para conseguir uma ótima limpeza do algodão junto com uma boa produtividade.

Profissionalização do Beneficiamento e da Classificação do Algodão Brasileiro

- Desenvolvimento de projetos
de usinas e laboratórios
- Modernização e adequação
- Assessoria na operação
- Estudos técnicos e de viabilidade
- Treinamentos

COTIMES, Serviços de Consultoria Agroindustrial LTDA **COTIMES DO BRASIL**

Rua Voluntários da Pátria, nº 1444 - Centro
CEP 85.812-160 - Cascavel - Paraná - Brasil

Jean-Luc D. Chanselme
Celular: +55 45 9912 6953 | Fixo: +55 45 3037 1321
jean@cotimesdobrasil.com.br | skype: jean.cotimesdobrasil

Paulo Vicente Ribas
Celular: +55 66 9969 9733 | Fixo: +55 66 3498 2575
paulo@cotimesdobrasil.com.br | skype: paulo.cotimesdobrasil