

## Secagem a baixa temperatura

Por: Luís César da Silva

### 1. Introdução

A secagem em baixa temperatura é caracterizada pelo emprego do ar com temperaturas em no máximo 10 °C acima da ambiente. Para condução dessa modalidade de secagem é recomendado silos (Figura 01) com as seguintes características: (a) fundo em chapa perfurada; (b) altura da camada de grãos inferior 6,0 m, para evitar instalação de ventiladores de alta potência, pois os fluxos de ar recomendados variam de 1.000 a 10.000 L de ar/min.t de produto; (c) área de suspiro de 1,0 m<sup>2</sup> para cada 300 m<sup>3</sup> de ar insuflado por minuto; e (d) sistema de aquecimento, sendo, normalmente, indicado queimadores de gás GLP.

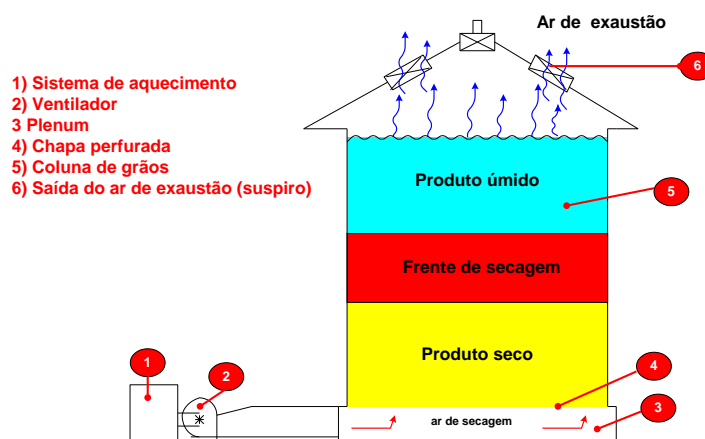


Figura 01 – Sistema de secagem a baixa temperatura.

No Brasil a secagem a baixa temperatura é, normalmente, utilizada para arroz com casca, que é colhido com teor de umidade próximo de 20%. As unidades armazenadoras projetadas para secagem a baixa temperatura dispõem dos seguintes elementos: (1) moegas; (2) máquinas de pré-limpeza; (3) silos-pulmão; (4) silos secadores/armazenadores; e (5) caixas de expedição (Figura 02).

#### Abstract

#### Low Temperature Drying System

(AGAIS -Grain Storage, Agro-Industry and Simulation - Technical Bulletin: AG: 03/17 - 11/23/2017)

This extension bulletin describes procedures to operate a low temperature dryer system, that is characterized for using drying air temperature at maximum 10 ° C above air ambient temperature. In Brazil, this drying system is frequently employed to dry rice, which presents at harvest a moisture content around 20.0%. It is showed that the best operation strategic is the parcel filling.

Dr. Luís César Silva – website: [www.agais.com](http://www.agais.com)

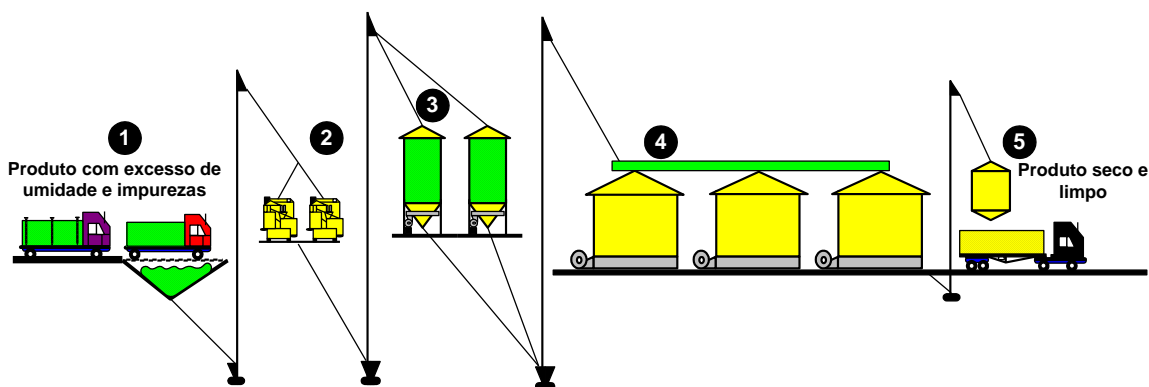


Figura 02 – Organização de unidades armazenadoras dedicadas à secagem a baixa temperatura.

Quando do acondicionamento do produto nos silos secadores/armazenadores é recomendado o emprego de espalhadores para evitar acúmulo de impurezas na parte central dos silos, o que bloqueia a passagem do ar de secagem, podendo ocasionar a rápida deterioração do produto úmido nesses locais devido à ação de fungos. Outra indicação é nivelar a parte superior da camada de grãos para garantir que toda a massa de produto receba a mesma intensidade do fluxo do ar de secagem.

## 2. Condução da operação

Dentre outros cuidados, o gestor do sistema deve dedicar especial atenção aos seguintes quesitos: (i) equalização da condição psicrométrica do ar de secagem; (ii) definição da estratégia de enchimento do silo; e (iii) monitoramento da operação.

### 2.1 Equalização da condição psicrométrica do ar de secagem

Os grãos por serem higroscópicos trocam massa de vapor de água com o ar circunvizinho até atingir o equilíbrio higroscópico. Nessa situação, o teor de umidade alcançado pelo produto é denominado teor de umidade de equilíbrio, que pode ser consultado em tabelas (Tabela 01) ou calculado por meio de equações. Exemplo, se a temperatura e umidade relativa do ar de secagem forem 26 °C e 67%, respectivamente, ao final do processo de secagem o teor de umidade do arroz com casca será de 13,0% (Tabela 01). Portanto, na secagem a baixa temperatura a condição psicrométrica do ar de secagem deve ser equalizada para o alcance do teor de umidade final desejado.

A equalização do ar de secagem consiste no ajuste da temperatura e, ou, da umidade relativa que propiciem o teor de umidade de equilíbrio adequado. O processo habitual é o aumento da temperatura do ar, por meio de queimadores de gás GLP. No entanto, vale ressaltar que a depender da potência do ventilador empregado, somente pela passagem do ar pelo equipamento, sua temperatura aumentará em até mais 4 °C, sendo, frequentemente, considerado o valor de 2 °C.

Tabela 01 – Valores de teor de umidade de equilíbrio para arroz com casca

Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)											
	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
20	12,4	12,5	12,7	12,8	12,9	13,0	13,2	13,3	13,4	13,5	13,7	13,8
22	12,3	12,4	12,5	12,7	12,8	12,9	13,0	13,2	13,3	13,4	13,5	13,7
24	12,2	12,3	12,4	12,5	12,7	12,8	12,9	13,0	13,2	13,3	13,4	13,5
26	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,7	12,8	12,9	13,0	13,2	13,3	13,4
28	11,9	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,7	12,8	12,9	13,0	13,2	13,3
30	11,8	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,2
32	11,7	11,8	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,6	12,7	12,8	12,9	13,1

Na Tabela 02 é exemplificada a redução da umidade relativa mediante ao aquecimento do ar ambiente em mais 2, 4, 6, 8 e 10 °C.

Tabela 02 – Valores de umidade relativa após o aquecimento do ar ambiente

Temperatura do ar ambiente (°C)	Umidade relativa do ar ambiente (%)	Aquecimento em mais (°C)				
		2	4	6	8	10
20	90	79,6	70,5	62,6	55,7	49,6
	80	70,8	62,7	55,7	49,5	44,1
	60	61,9	54,9	48,7	43,3	38,6
22	90	79,8	70,8	63,0	56,1	50,0
	80	70,9	62,9	56,0	49,9	44,5
	60	62,0	55,1	49,0	43,6	39,0
24	90	80,0	71,0	64,3	56,5	50,5
	80	71,0	63,2	56,3	50,2	44,9
	60	62,1	55,3	49,2	43,9	39,3
26	90	80,0	71,3	63,6	56,9	50,9
	80	71,1	63,4	56,6	50,6	45,3
	60	62,3	55,5	49,5	44,2	39,6
28	90	80,2	71,5	64,0	57,3	51,4
	80	71,3	63,6	56,8	50,9	45,6
	60	62,4	55,7	49,7	44,5	39,9
30	90	80,3	71,8	64,3	57,6	51,2
	80	71,4	63,8	57,1	51,2	46,0
	60	62,5	55,8	49,9	44,8	40,3

Assim, empregando as Tabelas 01 e 02 define-se a estratégia para equalização da condição psicrométrica do ar de secagem. Exemplo, se o ar ambiente apresentar temperatura de 26 °C e a umidade relativa de 90% o teor de umidade de equilíbrio do arroz com casca será de 16,8%. No entanto, ao aquecer o ar em mais 4 °C, a temperatura e a umidade relativa passarão a ser 30 °C e 71,3% (Tabela 02). Nessa condição o teor de umidade de equilíbrio será 13,3% (Tabela 01). Assim, com esse aquecimento foi possível equalizar a condição psicrométrica do ar para secagem do arroz com casca.

## 2.2 Estratégias de enchimento

Para discutir a estratégia de enchimento será tomado, como exemplo, um silo com diâmetro e altura de cilindro igual a 6,0 m, respectivamente, e capacidade estática de 103,36 t de arroz com casca (2.065 sacas de 50,0 kg). O fluxo do ar de secagem será de 3.000 L de ar/min.t, o que demandará dois ventiladores com potência de 40 cv.

Para definição da estratégia procedeu-se à comparação de três cenários de enchimento: I – em uma única vez; II - duas parcelas, correspondentes a 50% da capacidade estática; e III - quatro parcelas correspondentes a 25% da capacidade estática. Na Figura 03 é demonstrado como ocorre a redução da vazão de ar mediante o carregamento. Assim, no Cenário I a vazão do ar de secagem será 295,03 m<sup>3</sup> de ar por minuto; para o Cenário II, as vazões de ar para a primeira e segunda camadas serão, respectivamente, 392,01 e 295,03 m<sup>3</sup> de ar por minuto; enquanto para o Cenário III os valores são apresentados na Tabela 03.

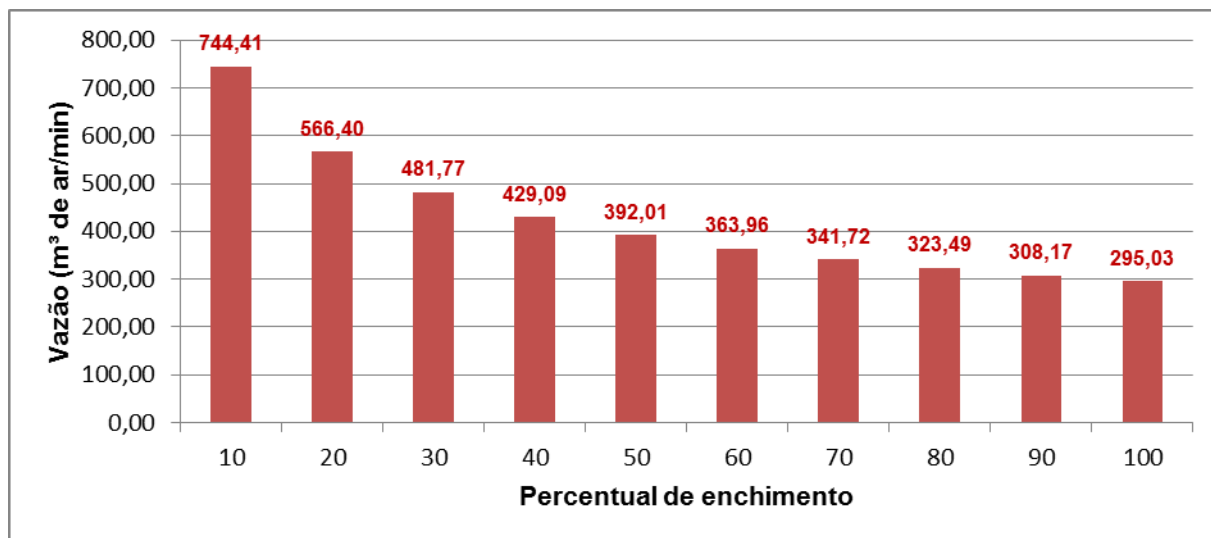


Figura 03 – Valores de vazão do ar segundo o percentual de enchimento

Para o Cenário I estima-se o tempo de secagem de 213,0 h (8,9 dias) e perda de matéria seca de 1,19% (Tabela 03), sendo o limite recomendado de 0,5%.

A perda de matéria seca de 0,5% para uma saca de 50 kg de arroz com casca com teor de umidade de 16,5% corresponde a 250 gramas de produto, ou 209 g de matéria seca. Essa perda deve-se à respiração dos grãos e à ação de microrganismos, principalmente fungos. Associados a esses processos, para o arroz com casca tem-se também o aumento do índice de grãos amarelos, fato caracterizado como perda de qualidade.

Tabela 03 – Tempos de secagem e perdas de matéria seca para os Cenários I, II e III

Camada	Vazão (m <sup>3</sup> de ar/min)	Tempo de secagem (h)	Perda de matéria seca (%)
Cenário I			
1	295,03	213,0	1,19
Cenário II			
1	392,01	84,0	0,65
2	295,03	112,0	0,78
Total		196,0	--
Cenário III			
1	524,09	21,02	0,26
2	392,01	28,11	0,32
3	336,61	32,74	0,35
4	295,03	37,55	0,30
Total		119,42	--

Como demonstrado na Tabela 03, ao promover o carregamento parcelado do silo ocorrem reduções do tempo de secagem e da perda de matéria seca, Cenários II e III. Ao se comparar os Cenários I e III, observam-se reduções do tempo de secagem em 56% e dos índices de perda de matéria a valores inferiores a 0,5% no Cenário III. Portanto, ao reduzir o tempo de secagem têm-se como benefícios menores perdas e consumos de energia elétrica e de combustível, conseqüentemente menores custos.

### 2.3 Monitoramento da operação

Considerando que o sistema esteja devidamente projetado e a estratégia de enchimento definida é recomendada a adoção de práticas de controle de processo para reduzir o tempo de secagem, preservar a qualidade do produto e racionalizar os consumos de energias térmica e elétrica.

Desse modo, cabe ao gestor do sistema especial atenção quanto aos ventiladores, aquecedores e sistema de termometria. Normalmente, os ventiladores são desligados nos horários de pico, nas ocorrências de chuvas e quando não é possível equalizar as condições psicrométricas do ar ambiente para condução da secagem. Isso pode ocorrer, por exemplo, quando não se dispõe dos aquecedores. Portanto, o gestor deve constatar se o acionamento dos ventiladores ocorre nos momentos propícios à condução da secagem.

Quanto aos aquecedores disponibilizados no mercado para sistemas de secagem a baixa temperatura, a maioria conta com sensores de umidade relativa. Assim, caso a

umidade relativa do ar ambiente seja superior a 65%, os aquecedores são acionados, e quanto mais alto for a esse valor maior será a intensidade da chama. Há sistemas de controle mais sofisticados que permitem também monitorar a umidade relativa do ar de secagem, e caso os valores não sejam adequados, automaticamente os queimadores serão ajustados.

No que se refere à operação do sistema de termometria, o gestor deve monitorar os valores das temperaturas para: (a) constatar o avanço da frente de secagem; (b) observar a ocorrência de focos de aquecimento em pontos acima da frente de secagem, pois podem estar associados à ocorrência de deterioração fúngica e ao amarelecimento dos grãos de arroz; e (c) determinar por quantos dias o produto úmido poderá permanecer a uma determinada temperatura sem que ocorram perdas de matéria seca superior a 0,5%. Exemplo, caso na secagem de arroz com caca as camadas superiores permaneçam com teor de umidade de 20% a uma temperatura de 26 °C por mais de três dias ocorrerá perdas superiores a 0,5%. Vide na Tabela 04.

Tabela 04 – Dias de estocagem para arroz com casca tipo longo para perda máxima de 0,5% de matéria seca

Temperatura (°C)	Teor de umidade (%)											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
10	554,5	331,5	198,5	119,0	71,0	42,5	25,5	15,5	9,5	5,5	3,5	2,0
12	450,5	269,5	161,5	96,5	58,0	34,5	21,0	12,5	7,5	4,5	3,0	2,0
14	366,0	219,0	131,0	78,5	47,0	28,0	17,0	10,5	6,0	4,0	2,5	1,5
16	297,0	178,0	106,5	64,0	38,5	23,0	14,0	8,5	5,0	3,0	2,0	1,5
18	241,5	144,5	86,5	52,0	31,0	18,5	11,5	7,0	4,0	2,5	1,5	1,0
20	196,0	117,5	70,5	42,0	25,5	15,0	9,0	5,5	3,5	2,0	1,5	1,0
22	159,5	95,5	57,0	34,5	20,5	12,5	7,5	4,5	3,0	2,0	1,0	1,0
24	129,5	77,5	46,5	28,0	17,0	10,0	6,0	4,0	2,5	1,5	1,0	0,5
26	105,0	63,0	38,0	22,5	13,5	8,5	5,0	3,0	2,0	1,5	1,0	0,5
28	85,5	51,0	31,0	18,5	11,0	7,0	4,0	2,5	1,5	1,0	0,5	0,5
30	69,5	41,5	25,0	15,0	9,0	5,5	3,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,5

### 3. Ponderações finais

Para o sucesso da secagem a baixa temperatura o sistema de insuflação de ar deve estar devidamente projetado, a estratégia de enchimento adequadamente definida e a equalização das condições psicrométricas do ar de secagem periodicamente ajustada. Essa equalização é dinâmica, pois durante o dia a temperatura e umidade relativa do ar ambiente alteram. Desse modo, é interessante o emprego de sistemas automatizados que disponham de sensores e atuadores precisos e de sistema de decisão programado com códigos fundamentados na cinética do processo de secagem e em modelos de simulação como os propostos por Hukill e Thompson. Desse modo, os riscos de perdas qualitativas e

quantitativas serão minimizados, ocorrerá uso racional das energias térmica e elétrica, e conseqüentemente menores serão os custos.

#### **6. Bibliografias consultadas**

1993 ASHRAE Handbook: Fundamentals (American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta GA, USA).

ASAE. Moisture relationships of grains. Standard D245.4, American Soc. Agricultural Eng. 1991.

ASAE. Psychrometric sata. Standard D271.2 DEC94, American Soc. Agricultural Eng. 1988.

BAKKER-ARKEMA, Fred W. **CIGIR handbook of agricultural engineering**. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 1999. 527 p. (Agro-Processing Engineering, 4).

NAVARRO, Shlomo; NOYES, Ronald T. **The mechanics and physics of modern grain aeration management**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2001. 672 p.