

Custo de Secagem de Grãos

Daniel Marçal de Queiroz, Ph.D.

Engenheiro Agrícola

Professor do Depto. de Engenharia Agrícola da UFV

Coordenador Técnico do CENTREINAR

Junho de 2003

Importância da determinação dos custos de secagem

- A operação de secagem é realizada por equipamentos de elevado custo
- O custo de secagem depende de uma série de fatores, podendo-se citar:
 - o tipo de produto e a finalidade a que se destina
 - os teores de umidade inicial e final do produto
 - as características do sistema de secagem utilizado
 - a capacidade efetiva de secagem do sistema

Sistema idealizado

- Para ilustrar o cálculo do custo de secagem será idealizado o seguinte sistema de secagem:
 - capacidade nominal: 20 t/h
 - equipamentos adicionais: elevador e rosca transportadora
 - potência do motor do sistema de ventilação: 15 cv
 - potência do motor da rosca transportadora de descarga: 4 cv
 - potência do motor do elevador de canecos: 10 cv
 - capacidade de geração de energia da fornalha: 4.650 MJ/h
 - com reaproveitamento de ar de resfriamento
 - valor dos equipamentos: R\$ 100.000,00
 - valor das obras civis: R\$ 20.000,00
 - vida útil do sistema: 20 anos
 - tempo de utilização: 1.800 horas/ano

Calculando a Capacidade de Secagem do Secador

Capacidade de secagem

- Capacidade nominal de secagem:
 - A capacidade nominal do secador é o valor da capacidade de secagem dada pelo fabricante do secador em seus catálogos
 - A capacidade nominal do secador é definida como a capacidade de secagem quando este trabalha com soja ou trigo reduzindo o teor de umidade do produto de 18% para 13%
 - A capacidade efetiva de secagem pode ser inferior ou superior a capacidade nominal do secador

Capacidade de secagem

- Capacidade efetiva de secagem:
 - É a capacidade efetivamente produzida pelo secador
 - Para os secadores tipo cascata a capacidade efetiva de secagem pode ser obtida por:

$$C_{es} = C_{ns} \cdot f_u \cdot f_p$$

– em que:

- C_{es} = capacidade efetiva de secagem, t/h;
- C_{ns} = capacidade nominal de secagem do secador, t/h;
- f_u = fator de correção devido aos teores inicial e final de secagem;
- f_p = fator de correção devido ao produto.

Capacidade de secagem

- Capacidade efetiva de secagem:
 - Com base em dados apresentados no Livro Armazenagem Agrícola de Érico Weber (2001), foi possível obter a seguinte equação para estimar o valor do fator de correção

f_u :

$$f_u = A_0 + A_1 \cdot (U_i - 18) + A_2 \cdot (U_i - 18)^2 + A_3 \cdot (U_i - 18)^3$$

– em que:

- U_i = teor de umidade inicial do produto, % b.u;
- A_0, A_1, A_2 e A_3 = coeficientes determinados por análise de regressão

Capacidade de secagem

- Capacidade efetiva de secagem:
 - Coeficientes da equação do fator de correção f_u

U_i	U_f	A_0	A_1	A_2	A_3
$18 \leq U_i \leq 28$	13	1,0000	-0,1544	$1,4863 \cdot 10^{-2}$	$-5,9420 \cdot 10^{-4}$
$15 \leq U_i \leq 18$	13	1,0000	-0,0450	0,0950	0,0000
$17 \leq U_i \leq 28$	14	1,2365	-0,2287	$2,4645 \cdot 10^{-2}$	$-1,0420 \cdot 10^{-3}$
$18 \leq U_i \leq 28$	15	1,5088	-0,2953	$3,1195 \cdot 10^{-2}$	$-1,2720 \cdot 10^{-3}$
$19 \leq U_i \leq 28$	16	1,8740	-0,3956	$4,2255 \cdot 10^{-2}$	$-1,7230 \cdot 10^{-3}$

em que:

U_f = teor de umidade final do produto, % b.u.

Capacidade de secagem

- Capacidade efetiva de secagem:
 - Fator de correção do produto f_p para milho e arroz, segundo Livro Armazenagem Agrícola de Érico Weber (2001):
 - Para milho $f_p = 0,75$ (ou seja, a capacidade nominal de secagem para o milho é 25% menor que a da soja)
 - Para arroz $f_p = 0,65$ (ou seja, a capacidade nominal de secagem para o arroz é 35% menor que a da soja)

Capacidade de secagem

- Exemplo: Qual a capacidade efetiva de secagem de um secador com capacidade nominal de 20 t/h, na secagem de milho de 25% para 13%?

- O fator de correção para a umidade inicial de 25% e a umidade final de 13% é de:

$$f_u = 1 - 0,1544 \cdot (7) + 1,4863 \cdot 10^{-2} \cdot (7)^2 - 5,9420 \cdot 10^{-4} \cdot (7)^3 = 0,444$$

- O fator de correção para o produto é de:

$$f_p = 0,75$$

- A capacidade efetiva de secagem é de:

$$c_{es} = c_{ns} \cdot f_u \cdot f_p = 20 \cdot 0,444 \cdot 0,75 = 6,66 \frac{t}{h}$$

Componentes dos custos da secagem de grãos

- **Custo Fixos:** Independem da intensidade de utilização do sistema de secagem. Se o sistema é utilizado 200 ou 1000 horas num ano, o custo fixo do sistema é o mesmo.
- **Custos Variáveis ou Operacionais:** Dependem da intensidade de utilização do sistema.

Componentes dos custos fixos

- Depreciação;
- Juros sobre o capital investido;
- Seguro, taxas e impostos;
- Abrigo;
- Mão-de-Obra indireta.

Componentes dos custos variáveis

- Combustível;
- Energia elétrica;
- Reparos e manutenção;
- Mão-de-Obra direta.

Custos Fixos

Depreciação

- A depreciação é um custo fixo associado com:
 - Desgaste natural do equipamento à medida em que este envelhesse
 - Novos equipamentos com melhor desempenho aparecem no mercado tornando o equipamento usado obsoleto

Depreciação pelo método linear

$$D = \frac{P - S}{L}$$

Em que:

D = Depreciação, em R\$/ano

P = Valor de aquisição do equipamento, em R\$

S = Valor de sucata do equipamento, em R\$

L = Vida útil do equipamento, em anos

Depreciação pelo método linear

- Exemplo:
 - Um sistema de secagem novo custa R\$ 120.000,00
 - Tem um valor de sucata estimado em 10% do valor de aquisição e
 - Tem uma vida útil estimada em 20 anos

A depreciação anual é de:

$$D = \frac{120.000,00 - 12.000,00}{20} = \frac{R\$ 5.400,00}{ano}$$

Juros sobre o capital investido

- Juros sobre o capital médio investido:

$$J = \frac{(P + S)}{2} \cdot i$$

em que:

J = juros sobre o capital investido, em R\$/ano;

i = taxa de juros ao ano, em decimal.

Juros sobre o capital investido

Exemplo:

- Um sistema de secagem novo custa R\$ 120.000,00
- Tem um valor de sucata estimado em 10% do valor de aquisição
- Tem uma vida útil estimada em 20 anos
- A taxa de juros anual é de 10%

O juro anual é de:

$$J = \frac{(120.000,00 + 12.000,00)}{2} \cdot \frac{10}{100} = \frac{R\$ 6.600,00}{ano}$$

Custos com impostos, seguro e abrigo

- Os impostos geralmente são estimados em 1% do valor de aquisição do equipamento, por ano;
- A taxa de seguros é estimada em 0,25 % do valor de aquisição do equipamento, por ano;
- A taxa de abrigo é estimada em 0,75 a 1 % do valor de aquisição do equipamento, por ano.
- Mesmo que o proprietário não faça seguro nem use abrigo para o equipamento, esses custos devem ser incluídos no cálculo do custo fixo do equipamento.

Custos com impostos, seguro e abrigo

Exemplo:

- Um sistema de secagem novo custa R\$ 120.000,00
- As taxas com impostos, seguro e abrigo anual é de 2%
- O custo anual com impostos, seguro e abrigo é de:

$$ISA = \frac{2}{100} \cdot P = \frac{2}{100} \cdot 120.000,00 = \frac{R\$ 2.400,00}{ano}$$

Custos com mão-de-obra indireta

- O custo da mão-de-obra indireta corresponde aos valores pagos ao funcionários que independem da intensidade de uso do equipamento.
- Inclui-se nesse item o salário do pessoal da administração.

Custos com mão-de-obra indireta

Exemplo:

- A folha de pagamento anual (incluindo encargos) do pessoal administrativo da unidade armazenadora é de R\$ 30.000,00
- O faturamento do sistema de secagem corresponde a 15% do faturamento do total da unidade armazenadora
- O custo anual da mão-de-obra indireta é de:

$$MDI = \frac{15}{100} \cdot FP_{Adm.} = \frac{15}{100} \cdot 30.000,00 = \frac{R\$ 4.500,00}{ano}$$

Custo fixo total

- O custo fixo é obtido somando-se a depreciação, com os juros, com as taxas de impostos, seguro e abrigo e com o custo da mão-de-obra indireta.

$$C_F = D + J + ISA + MDI$$

Custo fixo total

- Para o sistema de secagem com capacidade nominal de 20 t/h, o custo fixo é de:

$$C_F = D + J + ISA + MDI$$

- A depreciação pelo método linear é de R\$ 5.400,00 por ano
- Os juros sobre o capital médio investido é de R\$ 6.600,00 por ano
- A taxas de seguro, impostos e abrigo é de R\$ 2.400,00 por ano
- O custo da mão-de-obra indireta é de R\$ 4.500,00 por ano

- Portanto, o custo fixo anual é de:

$$C_F = 5.400,00 + 6.600,00 + 2.400,00 + 4.500,00 = \frac{R\$ 18.900,00}{ano}$$

Custo fixo total

- Considerando que o sistema de secagem opera por 1.800 horas/ano, o custo fixo horário é de:

$$C_F = \frac{18.900,00}{1.800} = \frac{R\$ 10,50}{hora}$$

- Considerando que a capacidade efetiva de secagem do sistema é de 6,66 t/h, o custo fixo em R\$ por tonelada de produto seco é:

$$C_F = \frac{R\$ 10,50}{hora} \cdot \frac{1 hora}{6,66 t} = \frac{R\$ 1,58}{t}$$

Custos Variáveis

Custo do combustível

- O consumo específico de combustível em secador que utilizam altas temperaturas:
 - secadores de fluxos cruzados sem reaproveitamento de ar:

$$c_{ec} = 4.700 \text{ a } 7.000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg de } H_2O}$$

- secadores de fluxos cruzados com reaproveitamento de ar:

$$c_{ec} = 4.200 \text{ a } 5.100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg de } H_2O}$$

Custo do combustível

- O consumo específico de combustível em secador que utilizam altas temperaturas:
 - secadores tipo cascata sem reaproveitamento de ar (Érico Weber, 2001):

$$c_{ec} = 4.220 \frac{kJ}{kg \text{ de } H_2O}$$

- secadores tipo cascata com reaproveitamento do ar de resfriamento (Érico Weber, 2001):

$$c_{ec} = 3.810 \frac{kJ}{kg \text{ de } H_2O}$$

Custo do combustível

– Quantidade de água removida por hora pelo secador:

$$q = c_{ns} \cdot \left(\frac{U_i - U_f}{100 - U_i} \right)$$

– em que:

- q = quantidade de água removida, em t/h;
- c_{ns} = capacidade nominal de secagem, t/h;
- U_i = teor de umidade inicial, % b.u.;
- U_f = teor de umidade final, % b.u.

– É importante lembrar que a capacidade nominal é estabelecida para uma umidade inicial de 18%, por isso foi utilizado $U_i = 18$ na equação acima.

Custo do combustível

- Exemplo - Calcule o consumo de energia, em kJ por hora, para um secador tipo cascata cuja capacidade nominal de secagem é de 20 t/h e que tem reaproveitamento do ar de exaustão:

– quantidade de água removida por hora:

$$q = c_{ns} \cdot \left(\frac{U_i - U_f}{100 - U_i} \right) = 20 \cdot \left(\frac{18 - 13}{100 - 18} \right) = 1,220 \frac{t}{h}$$

– para secadores tipo cascata com reaproveitamento do ar de resfriamento:

$$c_c = c_{ec} \cdot q = 3810 \cdot 1220 = 4.648.200,0 \frac{kJ}{hora}$$

Custo do combustível

- Exemplo - Calcule o consumo de lenha, em kg por hora, de um secador que apresenta demanda de energia de 4.648.200 kJ por hora. Considere que a lenha tem um poder calorífico inferior de 12.500 kJ/kg

– Consumo de lenha:

$$c_l = \frac{c_e}{P_{ci}} = \frac{4.648.200}{12.500} = 372 \frac{kg}{hora}$$

– em que:

- c_l = consumo de lenha, em kg/h;
- P_{ci} = poder calorífico inferior do combustível, kJ/kg;
- c_e = consumo de energia do secador, kJ/h.

Custo do combustível

- Exemplo - Calcule o custo horário da lenha utilizada por um secador que consome 372 kg de lenha por hora. O preço da tonelada de lenha na região é de R\$ 50,00.

$$C_{le} = \frac{p_l \cdot c_l}{1000} = \frac{50 \cdot 372}{1000} = \frac{R\$ 18,60}{hora}$$

– em que:

- C_{le} = custo da lenha, em R\$/h;
- p_l = preço da lenha, R\$/t;
- c_l = consumo horário de lenha do secador, kg/h.

Custo da energia elétrica

- O custo de energia elétrica pode ser obtido a partir da potência demandada pelo sistema de movimentação do produto e do sistema de movimentação do ar:

$$C_{el} = p_m \cdot 0,7355 \cdot P_{kWh}$$

- em que:
 - C_{el} = custo da energia elétrica, em R\$/hora
 - p_m = potência demandada pelo sistema de transporte do produto e pelo sistema de movimentação de ar, cv
 - P_{kWh} = preço do kW.h, R\$

Custo da energia elétrica

- Exemplo: Calcule o custo de energia elétrica de um secador cuja a soma da potência demandada é de 29 cv, e considerando que preço da energia elétrica é de R\$ 0,30/kW.h

$$C_{el} = 29 \cdot 0,7355 \cdot 0,30 = \frac{R\$ 6,40}{hora}$$

Custo de reparos e manutenção

- A melhor forma de estimar os custos com reparos e manutenção é por meio do levantamento do valor realmente gasto com reparos e manutenção na unidade armazenadora

Custo de reparos e manutenção

- Caso essa informação não esteja disponível, geralmente se utiliza uma taxa de 3% do valor de aquisição do sistema de secagem como custo anual de reparos e manutenção. Dessa forma o custo de reparos e manutenção pode ser calculado por:

$$C_{rm} = \frac{P \cdot p_{rm}}{100 \cdot t_u}$$

- em que:
 - C_{rm} = custo de reparos e manutenção, R\$/h;
 - P = preço de aquisição do sistema, R\$;
 - p_{rm} = percentual do preço de aquisição do sistema que corresponde ao custo de reparos e manutenção, %;
 - t_u = tempo de utilização do sistema, h/ano

Custo de reparos e manutenção

- Exemplo: Calcule o custo de reparos e manutenção de um sistema de secagem que tem um preço de aquisição de R\$ 120.000,00, que o custo de reparos de manutenção corresponde a 3% do valor do sistema, e que é utilizado 1.800 horas por ano.

$$C_{rm} = \frac{120.000,00 \cdot 3}{100 \cdot 1800} = \frac{R\$ 2,00}{hora}$$

Custo da mão-de-obra direta

- No custo da mão-de-obra devem ser incluídos além do salários os encargos sociais. Normalmente um operador de máquinas trabalha 176 horas por mês e os encargos sociais são estimados em 70% do salário:

$$C_{mdo} = \frac{\left(1 + \frac{E_s}{100}\right) \cdot S_o}{176}$$

- em que:
 - C_{mdo} = custo da mão-de-obra, em R\$/hora;
 - S_o = salário do operador, em R\$/mês;
 - E_s = encargos sociais sobre o salário, %

Custo da mão-de-obra direta

- Exemplo: Calcule o custo da mão-de-obra direta considerando que o sistema de secagem utiliza um operador de fornalhas cujo salário é de R\$ 300,00, e que use 50% do tempo de um operador de secador e máquinas de pré-limpeza cujo salário é de R\$ 400,00. Considere que os encargos sociais é de 70%.

$$C_{mdo} = \frac{\left(1 + \frac{70}{100}\right) \cdot (300,00 + 0,50 \cdot 400,00)}{176} = \frac{R\$ 4,83}{hora}$$

Custo variável total

- O custo variável total (C_v) é obtido somando-se os custos com combustível, com energia elétrica, com reparos e manutenção e com mão-de-obra direta:

$$C_v = C_{le} + C_{el} + C_{rm} + C_{mdo}$$

Custo variável total

- Exemplo: No cálculo do custo de secagem do secador com capacidade nominal de 20 t/h obteve-se os seguintes componentes do custo variável:
 - Custo da lenha = R\$ 18,60/hora;
 - Custo da energia elétrica = R\$ 6,40/hora
 - Custo de reparos e manutenção = R\$ 2,00 /hora
 - Custo de mão-de-obra direta = R\$ 4,83/hora
- Portanto, o custo variável desse secador é de:

$$C_v = 18,60 + 6,40 + 2,00 + 4,83 = \frac{R\$ 31,83}{hora}$$

Custo total de secagem

Custo total de secagem

- O custo total de secagem (C_T) é obtido somando-se os custos fixos com os custos variáveis:

$$C_T = C_F + C_V$$

Custo total de secagem

- Exemplo - Qual é o custo de secagem de um secador que:
 - apresenta um custo fixo de R\$ 10,50 por hora
 - um custo variável de R\$ 31,83 por hora,
 - apresenta uma capacidade efetiva de secagem de 6,66 t/h quando seca milho de 25% para 13%.

$$C_T = 10,50 + 31,83 = \frac{R\$ 42,33}{hora}$$

- O custo de secagem por tonelada processada:

$$C_T = \frac{R\$ 42,33}{hora} \cdot \frac{hora}{6,66 t} = \frac{R\$ 6,36}{t}$$

Custo total de secagem

- Portanto, o custo de secagem de milho de 25% para 13% de umidade, utilizando um secador de 20 t/h que trabalha 1800 horas por ano é de:

R\$ 6,36 por tonelada de produto seco.

Obrigado !!!!

Daniel Marçal de Queiroz: queiroz@ufv.br

Fone: (31) 3891-2270

CENTREINAR: www.centreinar.org.br