

ISSN 1516-571
Dezembro, 2000

Circular Técnica

Número 7



USO DE GLP NA SECAGEM DE MILHO EM SECADOR DE LEITO FIXO

Embrapa

Embrapa
FL J3439.
AI/SEDE

Circular Técnica
Número 7

ISSN 1516-571X

Dezembro, 2000

USO DE GLP NA SECAGEM DE MILHO EM SECADOR DE LEITO FIXO

José Antonio Portella
Ricardo Ramos Martins

Passo Fundo, RS
2000



Embrapa
Trigo

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Trigo

Rodovia BR 285, km 174

Telefone: (54)311-3444

Fax: (54)311-3617

Caixa Postal 451

99001-970 Passo Fundo, RS

e-mail: biblioteca@cnpt.embrapa.br

Tiragem: 500 exemplares

Comitê de Publicações

Rainoldo Alberto Kochhann - **Presidente**

Amarilis Labes Barcellos

Erivelton Scherer Roman

Geraldino Peruzzo

Irineu Lorini

Tratamento Editorial: Fátima Maria De Marchi

Capa: Liciane Toazza Duda Bonatto

Referências Bibliográficas: Maria Regina Martins

Esta publicação foi produzida mediante convênio entre Embrapa Trigo, Emater-RS, Epagri, AgipLiquigás, Bergazzi Máquinas e Equipamentos Ltda. e Stecri.

PORTELLA, J.A.; MARTINS, R.R. Uso de
GLP na secagem de milho em secador
de leito fixo. Passo Fundo: Embrapa
Trigo, 2000. 40p. (Embrapa Trigo. Cir-
cular Técnica, 7).

Máquinas agrícolas; Secador; Milho;
GLP.

CDD: 631.3

Apresentação

Cada vez mais torna-se necessário encontrar soluções alternativas para viabilizar a preservação da qualidade de grãos, de forma integral, na própria propriedade.

Uma das soluções pós-colheita é a secagem através do uso de equipamento de custo baixo e com eficiência comprovada, e com a possibilidade de usar alternativas energéticas mais adequadas.

Este trabalho descreve o processo de secagem de grãos usando Gás Liquefeito de Petróleo como alternativa energética para viabilizar secagem de grãos na própria propriedade, com custo competitivo e com instalações de fácil construção.

A viabilização da competitividade da propriedade agrícola é uma das missões das unidades da Embrapa, e a Embrapa Trigo tem a satisfação de disponibilizar mais esta publicação, cujo conteúdo, espera-se, satisfará as expectativas dos usuários das tecnologias Embrapa.

Benami Bacaltchuk
Chefe-geral da Embrapa Trigo

Sumário

Uso de GLP na secagem de milho em secador de leito fixo	7
Introdução	7
Princípios gerais da secagem	9
Secador de leito fixo	15
Material e Métodos	18
Resultados e Discussão	21
Teor de umidade da massa de grãos	21
Temperatura da massa de grãos.	24
Temperatura do ar no leito de secagem x rendimento do secador	25
Consumo Energético	31
Conclusões	34
Referências Bibliográficas	35
Equipe Técnica Multidisciplinar da Embrapa Trigo	39

USO DE GLP NA SECAGEM DE MILHO EM SECADOR DE LEITO FIXO

José Antonio Portella
Ricardo Ramos Martins

Introdução

A secagem é o processo físico de remoção da umidade de grãos. O processo de secagem, na etapa de pós-colheita, tem papel importante na redução de perdas de grãos que vêm ocorrendo na agricultura, bem como na melhoria da qualidade do grão colhido. Estima-se que cerca de 20 % do total de grãos produzidos no Brasil perde-se nos processos de colheita, transporte e armazenamento (Brasil, 1993).

No atual sistema produtivo, em que a qualidade final do grão tem recebido destaque, a importância do processo de secagem na conservação de grãos vem sendo reconhecida. Esse processo representa entre 10 e 15 % do custo total da etapa de pós-colheita, sendo necessário que se faça o correto planejamento e dimensionamento dos parâmetros de secagem. A eficiência energética é a razão entre energia requerida para

¹ Pesquisador da Embrapa Trigo. E-mail: portella@cnpt.embrapa.br.

² Eng.-Agr., Extensionista da Emater-RS. C.P. 61, 95880-000 Estrela, RS.

evaporar água do produto e quantidade de energia fornecida ao sistema de secagem, que inclui energia para aquecimento do ar, além da potência elétrica usada no sistema (Silva, 1992).

Durante a década de 70, em pleno milagre econômico, o preço do óleo diesel subsidiado viabilizava seu uso como combustível na secagem de grãos agrícolas. Quase no fim dessa década, a situação inverteu-se, e gás natural e óleo pesado (óleo industrial) tornaram-se fontes combustíveis de custo mais reduzido. Entretanto, em janeiro de 1980, o Conselho Nacional de Petróleo (CNP) proibiu o uso de derivados de petróleo para secagem de grãos, fazendo com que os queimadores voltassem a ser substituídos por fornalhas alimentadas por biomassa (lenha e resíduos agrícolas).

Na década de 90, no entanto, o uso de GLP (gás liquefeito de petróleo) para secagem de produtos agrícolas voltou a ser liberado, em virtude das numerosas vantagens qualitativas dessa fonte energética, entre as quais destacam-se:

- a) queima limpa – não contamina o ambiente;
- b) aumento da qualidade - não deixa resíduo, nem cheiro no grão;
- c) automação do equipamento – reduz o uso de mão-de-obra;
- d) controle absoluto de temperatura;
- e) diminuição do tempo de secagem.

Como desvantagens, neste momento, apresentam-se apenas o custo final da secagem e o acesso do gás a pequenas e médias propriedades, em decorrência

de dificuldades de transporte e necessidade de reposição constante.

O controle dos parâmetros (teor de umidade e temperatura) de entrada e de saída do grão dentro do secador, o uso de temperaturas adequadas e o manejo correto são fatores que levam à diminuição de perdas e ao aumento da qualidade.

Este trabalho foi desenvolvido com objetivo de avaliar o desempenho de secadores de leito fixo, para pequena propriedade rural, empregando GLP como fonte energética.

Princípios gerais da secagem

Segundo Weber (1995), a secagem é a atividade agrícola destinada a diminuir, de maneira artificial, o teor de umidade de grãos, sem comprometer suas propriedades naturais.

Para efeito de secagem, existem três formas de umidade nos grãos agrícolas:

- a) umidade superficial – aderida à capa externa dos grãos;
- b) umidade intersticial – entre as moléculas dos grãos;
- c) umidade de constituição – dentro das moléculas dos grãos.

A secagem é uma operação crítica dentro da seqüência do pré-processamento de grãos - colheita, secagem, armazenagem, manuseio e transporte. Há tam-

bém consenso geral de que a secagem inadequada é a maior causa de deterioração de grãos nessa série de processos. Em função da secagem, podem ocorrer maior suscetibilidade a quebras em milho e em soja e decréscimo na qualidade de moagem de trigo e de arroz. Felizmente, a secagem de trigo e de soja é freqüentemente menos necessária do que a de milho e de arroz (Brooker et al., 1992).

Segundo Lasseran (1988), o resultado geral da secagem é a separação parcial entre o líquido (geralmente água) e a matriz sólida. No caso de produtos agrícolas, a matriz sólida é a semente ou grão contendo proporções variáveis dos seguintes constituintes bioquímicos: carboidratos, proteínas, lipídios e minerais. A particularidade da secagem, comparada com outras técnicas de separação, é que a remoção das moléculas de água é obtida por movimentação da água (arraste), em virtude do diferencial de pressão parcial de vapor entre a superfície do produto a ser secado e o ar que o envolve.

A condição necessária e suficiente para que o produto seja submetido ao fenômeno de secagem (Figura 1) é a seguinte:

$$f_g > f_a$$

onde: f_g = pressão parcial de vapor de água na superfície do produto;

$$f_a = \text{pressão parcial de vapor de água no ar.}$$

se:

$f_g = f_a \gg \gg$ não ocorre secagem, mas equilíbrio higroscópico entre produto e ar.

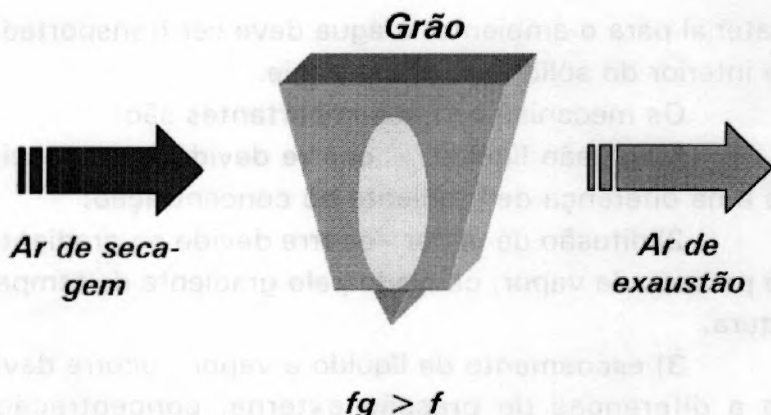


Figura 1. O princípio da secagem por movimentação de água. Fonte: Lasseran (1988).

A secagem de grãos envolve dois processos fundamentais:

1) quando o produto é colocado em contato com ar quente, a transferência de calor do ar para o produto é feita pela diferença de temperatura existente entre eles;

2) a transferência de massa para o ar é efetuada pela diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do produto.

As condições externas e os mecanismos internos do movimento de umidade de grãos durante a secagem são muito importantes. O movimento de água do interior do material até a superfície é analisado pelos mecanismos de transferência de massa, que indicarão dificuldade de secagem dos materiais. Durante a secagem, para que haja evaporação de água da superfície do

material para o ambiente, a água deve ser transportada do interior do sólido até a superfície.

Os mecanismos mais importantes são:

1) difusão líquida - ocorre devido à existência de uma diferença de gradiente de concentração;

2) difusão de vapor - ocorre devido ao gradiente de pressão de vapor, causado pelo gradiente de temperatura.

3) escoamento de líquido e vapor - ocorre devido a diferenças de pressão externa, concentração, capilaridade e alta temperatura.

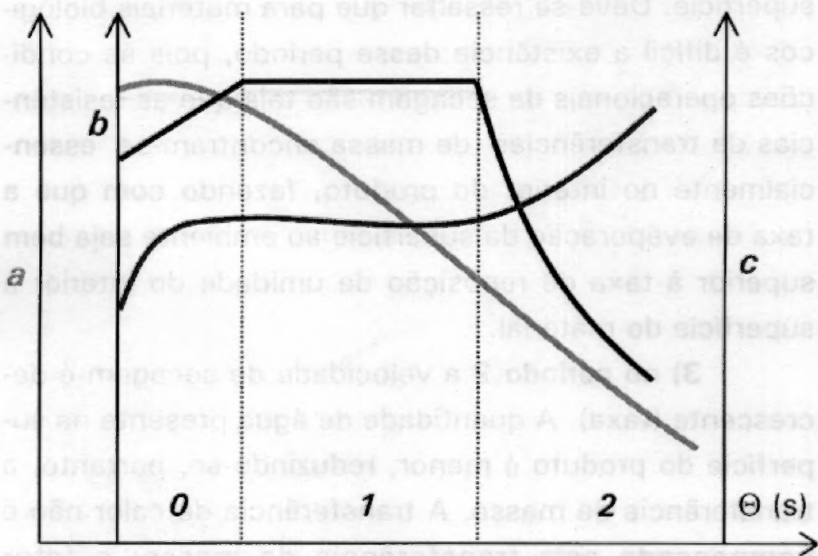
As características específicas de cada produto, associadas às propriedades do ar de secagem e ao meio de transferência de calor adotado, determinam diversas condições de secagem. Entretanto, a transferência de calor e de massa entre o ar de secagem e o produto é fenômeno comum a qualquer condição de secagem. O processo de secagem, baseado na transferência de calor e de massa, divide-se em três fases (Figura 2):

- a **curva a** representa a redução do teor de água do produto ao longo da secagem;
- a **curva b** representa a taxa de secagem do produto, a variação do teor de umidade do produto por período de tempo; e
- a **curva c** representa a variação da temperatura do produto ao longo do período de secagem.

Segundo Biagi et al. (1992) e Park (1991), descrevendo as três fases do processo de secagem, tem-se:

1) o **período 0** representa o início da secagem. O

produto encontra-se mais frio do que ar e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é débil, e, por conseqüência, transferência de massa e velocidade de secagem também são menores. Com a elevação gradual da temperatura do produto e da pressão de vapor de água, chega-se até o ponto em que a transferência de calor seja equivalente à transferência de massa.



- a) evolução do teor de água no produto - ($\text{g H}_2\text{O/g ms}$).
- b) cinética de secagem - $\text{dw/d}\Theta$ ($\text{g H}_2\text{O/g ms s}$).
- c) evolução da temperatura do produto.

Figura 2. Curva típica de secagem. Fonte: Biagi et al. (1992).

2) no período 1 a taxa de secagem é constante. Durante esse período, como no anterior, a quantidade de água dentro do produto é maior. A água evaporada é água livre. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Esse período continua enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto for suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água da superfície. Deve-se ressaltar que para materiais biológicos é difícil a existência desse período, pois as condições operacionais de secagem são tais que as resistências de transferências de massa encontram-se essencialmente no interior do produto, fazendo com que a taxa de evaporação da superfície ao ambiente seja bem superior à taxa de reposição de umidade do interior à superfície do material.

3) no período 2 a velocidade de secagem é decrescente (taxa). A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é compensada pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da migração de umidade do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, tendendo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de equilíbrio de umidade em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado.

Secador de Leito Fixo

A secagem estacionária tem sido mais usada em termos de pequena e média propriedade quando a finalidade é produção de grãos. Porém para produção de sementes em escala agroindustrial seu emprego tem aumentado em virtude de dificuldades circunstanciais encontradas para enquadrar o processo produtivo nas técnicas de operação de secadores de modo contínuo ou de modo intermitente (Carvalho, 1994).

Na secagem em leito fixo, o material é colocado em reservatório (câmara de secagem), no qual ar atravessa a massa de grãos, por meio de dutos, ou de fundo falso, formado por chapa perfurada (mínimo de 10 % de perfuração). Esse sistema é simples, de relativo baixo custo e compatível com a faixa de investimento de expressivo número de produtores (Silva & Lacerda Filho, 1984).

Na secagem em lotes com camada fixa, a eficiência térmica pode ser elevada, mas, nesse caso, a camada de grãos deve ser de, no máximo, 50 centímetros de altura. Para camadas maiores, a desuniformidade da umidade ao longo da camada constitui fator limitante. O usuário deverá optar pela economia de energia ou pela uniformidade de secagem, com uma camada mais ou menos profunda.

Para grãos sensíveis (arroz, trigo, feijão etc.) ou no caso de sementes, recomenda-se diminuir a altura da camada de secagem para dado intervalo situado entre 20 e 25 centímetros.

O sistema consiste, basicamente, em uma câmara para acomodar o produto durante a secagem, que pode ser construída com chapas metálicas, com madeira ou com tijolos. Recomenda-se construir preferencialmente com tijolos, para evitar perda excessiva de calor e para dar maior durabilidade ao sistema. Além do corpo do secador, uma fornalha (ou queimador no caso da secagem com GLP) dotada de dispositivo mecânico (ventilador) para forçar ar quente através da massa de grãos, completa o sistema. Na Figura 3, pode-se observar um modelo de secador de leite fixo descrito por Martins (1998).

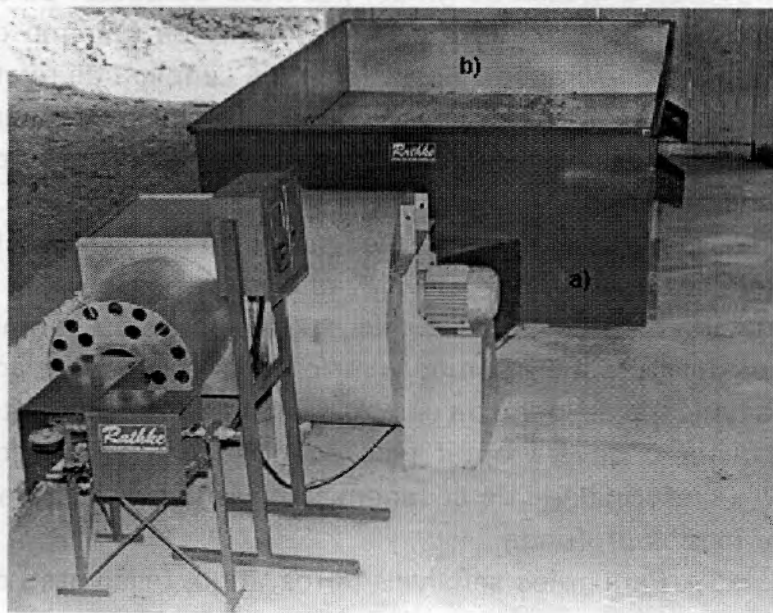


Figura 3. Vista geral de um secador de leite fixo.

A câmara de secagem é constituída basicamente de duas partes:

- a) câmara de aquecimento do ar de secagem - "plenum"; e
- b) câmara de secagem do produto.

A altura total da câmara do produto mais o "plenum" deverá ser igual a 1,0 m, sendo 0,50 m a altura mínima da câmara de aquecimento (espaço entre o piso e a chapa perfurada). A chapa perfurada deve ter furos de diâmetro tal que não permitam a passagem de grãos que se quer secar, sendo altamente recomendado o uso de tela tipo "ottis" em substituição à chapa perfurada, pois a tela possui maior área vazada, o que favorece a passagem do ar, e também pela facilidade em proceder-se à limpeza das aberturas, onde alojam-se matérias estranhas, impurezas e/ou fragmentos contidos no produto.

O ventilador deverá ser centrífugo com pás voltadas para trás, do tipo "limit load", e deve ser acoplado entre a fonte de aquecimento e a câmara de secagem para forçar ar quente através da massa de grãos ou do produto que se quer secar. Recomenda-se vazão mínima de $10 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ de área do secador, independentemente do tipo de produto a secar.

Com a finalidade de melhorar a distribuição do ar através da massa de produto, o ventilador deve ser acoplado ao "plenum" por intermédio do elemento de transição (difusor). A abertura desse elemento deve ser tal que o ângulo formado com o eixo de simetria do secador seja superior a 15° e inferior a 45° ; assim, o

comprimento da transição irá depender do ângulo adotado e, mais diretamente, da disponibilidade de espaço coberto para a construção do secador.

Segundo Dusi et al. (1998), os secadores de camada fixa apresentam as seguintes vantagens:

- são de custo inferior ao de outros tipos de secadores;
- secam qualquer tipo de produto, mesmo não trilhado;
- são eficientes, mesmo com carga incompleta; e
- são de fácil manutenção.

Como desvantagens, os mesmos autores citam:

- revolvimento manual do produto durante a fase de secagem, para uniformizar o teor de umidade do grão; e
- carga e descarga manuais.

Material e Métodos

Lotes de milho híbrido triplo HT 952305, de propriedade da Embrapa, provenientes dos campos experimentais da Embrapa Trigo – Passo Fundo, RS, foram colhidos com três teores de umidade (35, 25 e 18 % base úmida - b.u.), secos em secador experimental de leito fixo, com três temperaturas do ar de secagem: 40, 70 e 100 °C, e dispostos em esquema fatorial 3 x 3, com delineamento inteiramente casualizado, totalizando

nove tratamentos, e com uma repetição.

O secador experimental usado no trabalho (Figura 3) é constituído de uma câmara de secagem de 2,0 m de largura, 2,5 m de comprimento e 0,5 m de altura, e câmara "plenum" com altura de 0,5 m, situada na parte inferior, por onde flui o ar de secagem. Acima dessa câmara "plenum", instalou-se uma tela tipo "ottis" construída com arame galvanizado 12 (2,76 mm) e 14 (2,11 mm) com malha de 1 mm x 60 mm, respectivamente, em que os grãos são depositados.

O ar de secagem foi aquecido por um queimador de gás da marca Nofor (Série N-900), abastecido via linha de distribuição ligada a uma bateria de reservatórios (três unidades P-190) de GLP AgipLiquigás, instalada próxima ao secador.

As temperaturas do ar ambiente, da massa de ar no "plenum" e da massa de grãos (em diferentes alturas na frente de secagem) foram monitoradas por meio de termopares ligados a registrador de temperaturas com painel digital, de 10 canais, da S&E, modelo CSR-10, com precisão de leitura de $\pm 0,5$ °C. O fluxo do ar de secagem foi determinado pela média dos fluxos obtidos no decorrer de cada secagem (leituras de hora em hora). O consumo de GLP foi determinado por medidor de vazão apropriado, com leituras feitas no início e no fim de cada secagem.

Para cada teste de secagem, determinou-se teor de umidade inicial, ao abastecer-se a câmara de secagem. O fluxo médio de ar, determinado pela velocidade

do ar, por meio de anemômetro eletrônico de pás, modelo Turbo Meter, com escala de 0-44,8 m/s, da Davis Instruments, foi de $15 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ durante os testes.

As temperaturas (ambiente, grãos e leite), o teor de umidade do grão e o fluxo médio de ar foram determinados em intervalos de 1 hora.

Puzzi (1986) apresenta metodologia consideravelmente simples e de fácil aplicação em secadores comerciais para determinar a eficiência do equipamento. O princípio é baseado em que, após ter permanecido em contato com o produto, o ar sai do secador com temperatura mais reduzida e umidade relativa elevada, em virtude de ter absorvido certa porção de umidade dos grãos. Se todo ar que entrasse no secador saísse saturado, ter-se-ia a condição ideal, entretanto essa condição não é verificada na prática. Para se obter um elevado índice de eficiência, o secador deve propiciar perfeito contato de ar quente com o produto, pelo tempo suficiente para retirada máxima de umidade.

O rendimento do secador pode ser estimado pela seguinte fórmula:

$$\text{Rendimento (\%)} = (T_e - T_s) / (T_e - T_a) \times 100,$$

onde:

T_a = temperatura do ambiente

T_e = temperatura do ar quente na entrada da câmara de secagem

T_s = temperatura do ar na saída do secador

Resultados e Discussão

A seguir serão descritos os resultados obtidos em cada etapa desta pesquisa.

Teor de umidade da massa de grãos

O teor de umidade dos grãos determinou maior ou menor velocidade de secagem. Também definiu a quantidade de peso que foi deduzida da massa por conta da água retirada dos grãos

Na Tabela 1 e na Figura 4 são apresentados os valores médios do teor de umidade da massa de grãos coletados em oito pontos do secador de leito fixo (quatro camadas na posição frontal do secador e quatro camadas na posição traseira do secador) ao longo do período de secagem.

Nos teores de umidade mais elevados (35 e 25 %), as primeiras duas horas de secagem, em cada teste realizado, apresentaram rápida retirada de água. Grãos de milho, que entraram em média com 33,8 % de umidade, perderam 10,4 pontos percentuais nessas primeiras duas horas. Já os grãos que entraram com 25,5 % perderam apenas 6,8 %, em média. Entretanto, os grãos que entraram com 18 % de umidade, somente na temperatura de 100 °C perderam 7,3 % de água e ficaram secos com duas horas de secagem. Para as temperaturas de secagem de 40 e 70 °C a perda média foi de apenas 1,2 %.

Tabela 1. Teor médio de umidade da massa de grãos de milho ao longo do período de secagem, para três níveis de umidade inicial (35, 25 e 18 %) e três temperaturas do ar de secagem (40 °C, 70 °C e 100 °C)

Horas	35 % umidade			25 % umidade			18 % umidade		
	40 °C	70 °C	100 °C	40 °C	70 °C	100 °C	40 °C	70 °C	100 °C
0	36,8	33,8	30,7	27,1	25,8	23,6	19,2	17,5	19,3
1	30,4	30,2	26,7	22,7	25,7	19,1	19,5	20,6	15,6
2	27,1	23,7	19,2	20,6	20,0	15,6	18,1	16,2	12,0
3	26,7	24,4	14,9	21,9	17,3	11,2	15,0	12,9	
4	25,9	20,2	14,6	18,6	15,6		13,7	11,0	
5	24,8	18,9	13,8	17,7	13,4		13,2		
6	23,6	16,6		17,9	13,4		11,7		
7	22,3	15,0		15,6					
8	21,6			13,1					
9	21,4								
10	20,0								
11	18,5								
12	16,2								
13	15,7								
% umidade/h	1,62	2,69	3,38	1,75	2,07	4,13	1,25	1,62	3,65

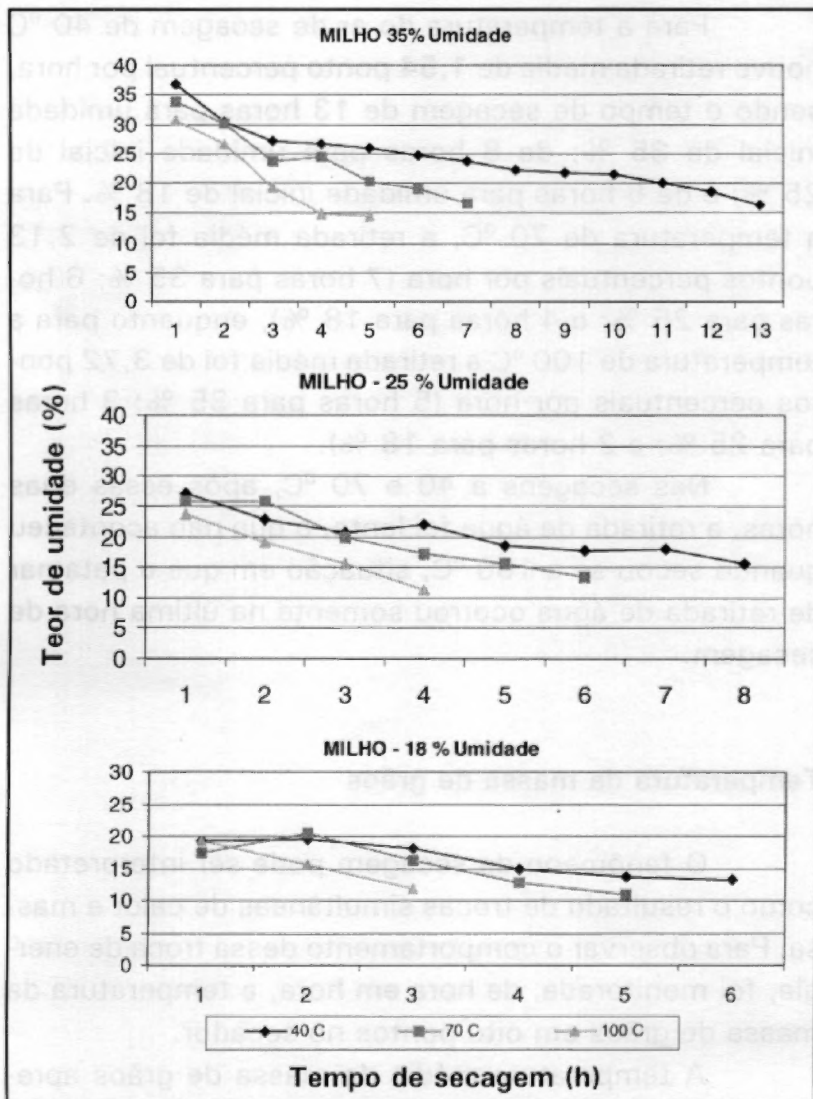


Figura 4. Variação do teor médio de umidade do grão em função do tempo de secagem, para três níveis de umidade inicial e três temperaturas do ar de secagem.

Para a temperatura do ar de secagem de 40 °C houve retirada média de 1,54 ponto percentual por hora, sendo o tempo de secagem de 13 horas para umidade inicial de 35 %; de 8 horas para umidade inicial de 25 %; e de 6 horas para umidade inicial de 18 %. Para a temperatura de 70 °C, a retirada média foi de 2,13 pontos percentuais por hora (7 horas para 35 %; 6 horas para 25 %; e 4 horas para 18 %), enquanto para a temperatura de 100 °C a retirada média foi de 3,72 pontos percentuais por hora (5 horas para 35 %; 3 horas para 25 %; e 2 horas para 18 %).

Nas secagens a 40 e 70 °C, após essas duas horas, a retirada de água foi lenta, o que não aconteceu quando secou-se a 100 °C, situação em que o patamar de retirada de água ocorreu somente na última hora de secagem.

Temperatura da massa de grãos

O fenômeno da secagem pode ser interpretado como o resultado de trocas simultâneas de calor e massa. Para observar o comportamento dessa troca de energia, foi monitorada, de hora em hora, a temperatura da massa de grãos em oito pontos no secador.

A temperatura média da massa de grãos apresentou algumas características peculiares. Para secagem a 40 °C, o processo de aquecimento da massa de grãos foi lento, como se pode observar na Tabela 2 e na Figura 5. O incremento de temperatura deu-se na pri-

meira hora de secagem, e posteriormente, à medida que a água foi sendo retirada, ocorreram pequenos acréscimos de temperatura. Na fase final de secagem do lote que entrou com 35 % de umidade, quando o teor de umidade já estava baixo (11ª hora – 18,5 % de umidade), ocorreu súbito acréscimo de temperatura, que se manteve até a secagem final do produto. Nos demais lotes, cuja umidade inicial não foi tão elevada, os acréscimos de temperatura foram mais uniformes. Para as temperaturas de secagem de 70 e de 100 °C, as primeiras horas levaram o grão quase à temperatura final.

Pode-se observar na Tabela 2 que a duração de secagem diminuiu significativamente quando a temperatura do ar quente aumentou. No entanto, não houve proporcionalidade entre esses dois parâmetros.

Temperatura do ar no leito de secagem x rendimento do secador

A secagem do grão por aquecimento foi obtida por convecção forçada de ar quente através da massa de grãos mais ou menos espessa. A passagem do ar no material granuloso torna-se possível porque o grão não é produto compacto (grãos de milho apresentam coeficiente de porosidade entre 40 e 45 %). Em razão do percurso do ar através do produto, resistência à passagem do ar vai manifestar-se e impelir sobre o fluido de secagem uma parte da carga, que será variável em função da velocidade do ar no produto e da espessura des-

te último. Assim sendo, foram monitoradas as temperaturas do ar de secagem em sete pontos. A Tabela 3 e a Figura 6 mostram a temperatura média do ar nesses diferentes pontos de coleta. A frente de secagem pode ser observada nos pontos de coleta 3, 4 e 5. O ponto 3 está localizado a 15 cm do fundo, o ponto 4 a 32 cm, e o ponto 5 a 50 cm (exaustão).

Na secagem dos grãos de milho, independentemente do teor de umidade com que entraram no secador, ocorreu variabilidade de rendimento durante o processo de secagem. Verificou-se que, na secagem a 40 °C, o rendimento térmico do secador foi de 82 % para o teor de umidade de 35 %, de 78 % para 25 % de umidade e de 89 % para 18 % de umidade. Na secagem a 70 °C o fenômeno foi semelhante. O rendimento foi de 91 % para o teor de 35 % de umidade, de 87 % para 25 % de umidade e de 88 % para 18 % de umidade. Finalmente, na secagem a 100 °C, o ganho energético foi mais representativo, chegando a 93 % de eficiência tanto para teores de umidade de 35 % quanto de 18 %. Para o teor de umidade de 25 %, o rendimento baixou para 88 %.

Em termos médios, pode-se dizer que, à medida que aumentou a temperatura do ar de secagem, aumentou o rendimento do secador (83 % a 40 °C, 89 % a 70 °C e 91 % a 100 °C). Também observou-se que os grãos com teor de umidade de 25 % sempre apresentaram a pior performance do secador (89 % de rendimento com 35 % de umidade, 84 % de rendimento com 25 % de umidade e 90 % de rendimento com 18 % de umidade).

Tabela 2. Temperatura média da massa de grãos de milho ao longo do período de secagem, para três níveis de umidade inicial (35, 25 e 18 %) e três temperaturas do ar de secagem (40 °C, 70 °C e 100 °C)

Horas	35 % umidade			25 % umidade			18 % umidade		
	40 °C	70 °C	100 °C	40 °C	70 °C	100 °C	40 °C	70 °C	100 °C
0	18,0	17,0	18,0	14,0	10,0	16,3	23,5	26,0	20,5
1	25,2	36,1	45,0	25,2	34,2	42,0	27,5	38,4	53,2
2	27,2	40,2	54,6	27,2	39,0	50,6	28,8	43,0	61,4
3	26,7	45,9	60,8	27,5	43,9	63,9	30,0	47,2	61,4
4	28,8	45,9	62,0	28,6	46,6	63,9	31,8	50,5	
5	29,2	49,1	62,0	28,9	48,9		32,6	50,5	
6	29,1	55,1		32,6	48,9		32,6		
7	31,0	55,1		33,2					
8	31,4			33,2					
9	30,9								
10	32,8								
11	38,4								
12	37,8								
13	37,8								

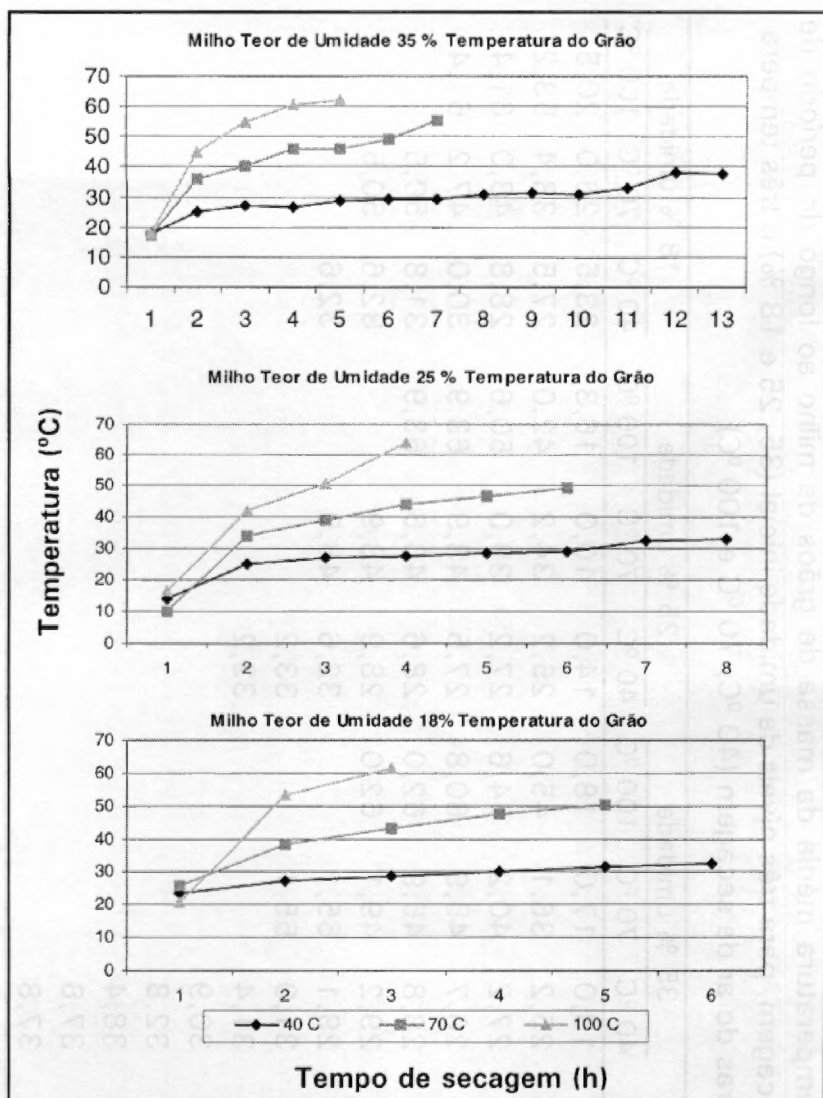
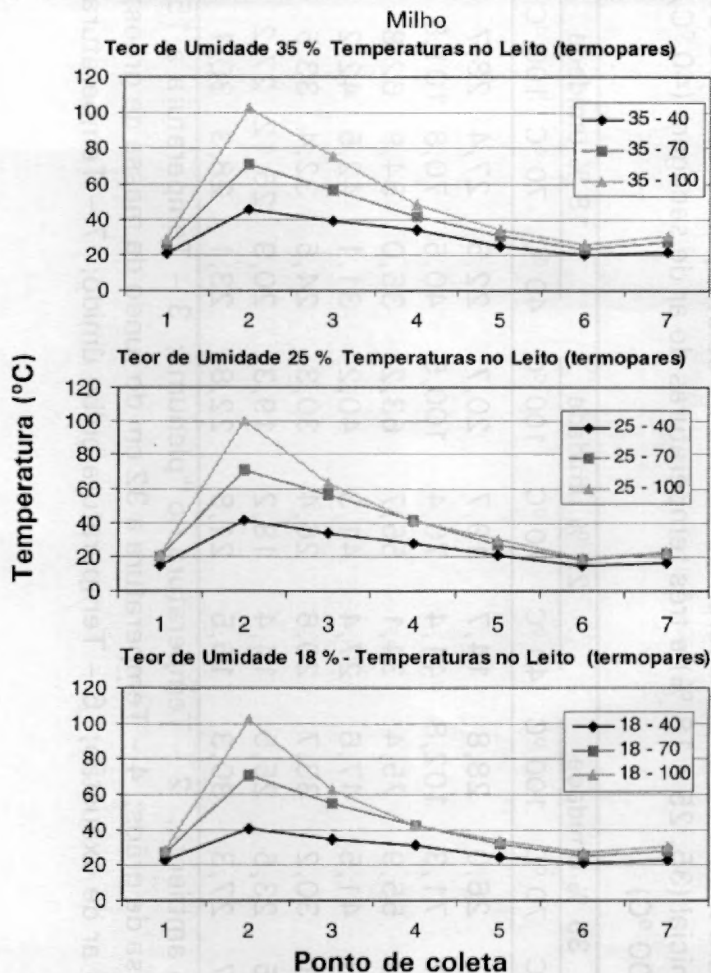


Figura 5. Variação da temperatura média da massa de grão em função do tempo de secagem, para três níveis de umidade inicial e três temperaturas do ar de secagem.

Tabela 3. Temperatura média do ar em diferentes pontos de coleta, para três níveis de umidade inicial (35, 25 e 18 %) e três temperaturas do ar de secagem (40 °C, 70 °C e 100 °C)

Ponto Coleta	35 % umidade			25 % umidade			18 % umidade		
	40 °C	70 °C	100 °C	40 °C	70 °C	100 °C	40 °C	70 °C	100 °C
1	20,7	26,0	28,8	14,7	19,7	20,7	22,5	27,4	28,7
2	45,1	71,3	102,8	41,4	70,4	100,5	40,5	70,8	101,8
3	39,3	55,9	75,4	34,1	55,7	63,2	35,0	54,9	62,8
4	33,8	41,5	47,6	27,4	41,3	40,2	31,1	42,5	42,2
5	25,1	30,2	33,7	20,6	26,4	30,3	24,5	32,4	33,5
6	19,5	23,5	25,5	14,4	18,2	19,3	20,9	25,12	27,2
7	21,7	27,3	30,3	16,5	21,8	22,8	23,1	28,3	30,1

1 – Temperatura do ambiente; 2 – Temperatura no “plenum”; 3 – Temperatura a 15 cm do fundo da massa de grãos; 4 – Temperatura a 32 cm do fundo da massa de grãos; 5 – Temperatura do ar de exaustão; 6 – Temperatura bulbo úmido; 7 – Temperatura bulbo seco.



1. Temperatura do ambiente; 2. Temperatura no "plenum"; 3. Temperatura a 15 cm do fundo da massa de grãos; 4. Temperatura a 32 cm do fundo da massa de grãos; 5. Temperatura do ar de exaustão; 6. Temperatura bulbo úmido; 7. Temperatura bulbo seco

Figura 6. Variação da temperatura média do ar na massa de grão em diferentes pontos de coleta, para três níveis de umidade inicial e três temperaturas do ar de secagem.

Consumo Energético

Na Tabela 4 observa-se o desempenho do secador de leito fixo em função dos níveis de umidade do grão e das temperaturas de secagem. O consumo médio de GLP por hora aumentou conforme a temperatura de secagem, independente da umidade inicial do grão. Para a umidade inicial de grãos de 35 % b.u., o consumo de GLP em kg por ponto percentual de umidade retirada comportou-se de forma crescente com as temperaturas de secagem usadas. Nos grãos menos úmidos, 25 % e 18 % de umidade, o consumo de GLP foi maior para a temperatura de 70 °C, o que pode ser explicado, para a temperatura de 40 °C, pela baixa vazão de gás em termos de kg de GLP por hora de secagem, e a 100 °C, pelo menor tempo de secagem. Para qualquer das umidades estudadas, o menor custo em R\$ por ponto percentual de umidade retirada foi quando se usou a temperatura de 40 °C no ar de secagem.

Neste modelo de secador de leito fixo, o menor custo médio para secagem correspondeu a R\$ 1,01 por ponto percentual de umidade, obtido com secagens a 40 °C. Para secagens a 70 °C o custo foi de R\$ 1,32 por ponto percentual de umidade, e de R\$ 1,15 por ponto percentual de umidade quando usou-se 100 °C.

Fazendo um pequeno exercício de custo de secagem, suponha-se um lote de 1.200 kg de milho (20 sacos), entrando com 27 % de umidade e saindo com

13 %, seco à temperatura de 40 °C, demorando 8 horas para secar (Tabela 1). Isso equivale a um custo de:

$$1,50 \text{ kg GLP h}^{-1} \times 8 \text{ h} \times 1,10 \text{ R\$ kg GLP}^{-1} = \text{R\$ } 13,20$$

$$\text{R\$ } 13,20 \div 20 \text{ sacos} = 0,66 \text{ R\$ sacco}^{-1}$$

A mesma situação a 70 °C no ar de secagem:

$$2,59 \text{ kg GLP h}^{-1} \times 6 \text{ h} \times 1,10 \text{ R\$ kg GLP}^{-1} = \text{R\$ } 17,09$$

$$\text{R\$ } 17,09 \div 20 \text{ sacos} = 0,85 \text{ R\$ sacco}^{-1}$$

Ou seja, gasta-se mais R\$ 0,19, correspondente a um acréscimo de 29 % no custo do saco seco, quando se altera a temperatura de secagem de 40 °C para 70 °C.

Deve-se levar em conta também o consumo de energia elétrica no processo de secagem. Para os exemplos acima destaca-se o seguinte:

- Para a temperatura de 40 °C

O motor do secador é elétrico, com potência de 3,728 Kw, e o custo do Kwh em média na zona rural é de R\$ 0,1206.

$$3,728 \text{ Kw} \times 8 \text{ h} = 29,82 \text{ Kwh}$$

$$29,82 \text{ Kwh} \times 0,1206 \text{ R\$ Kwh}^{-1} = \text{R\$ } 3,60$$

$$\text{R\$ } 3,60 \div 20 \text{ sacos} = 0,18 \text{ R\$ sacco}^{-1}$$

Tabela 4. Retirada de umidade por hora, consumo horário de GLP, consumo de GLP por ponto % de umidade e custo em R\$ por ponto % de umidade em secador de leite fixo, para três níveis de umidade inicial (35, 25 e 18 %) e três temperaturas do ar de secagem (40 °C, 70 °C e 100 °C)

Parâmetro de Secagem		Ponto % de umidade/h	Consumo de kg GLP/h	kg GLP/Ponto % umidade	Custo ¹ R\$/ponto % umidade
35 % de Umidade	40 °C	1,62	1,48	0,92	1,01
	70 °C	2,69	2,54	0,94	1,04
	100 °C	3,38	3,43	1,02	1,12
25 % de Umidade	40 °C	1,75	1,50	0,85	0,94
	70 °C	2,07	2,59	1,25	1,38
	100 °C	4,13	4,10	0,99	1,09
18 % de Umidade	40 °C	1,25	1,22	0,98	1,08
	70 °C	1,62	2,24	1,39	1,53
	100 °C	3,65	4,08	1,12	1,24

¹ Custo GLP = R\$ 1,10/kg.



- Para a temperatura de 70 °C
 $3,728 \text{ Kw} \times 6 \text{ h} = 22,37 \text{ Kwh}$
 $22,35 \text{ Kwh} \times 0,1206 \text{ R\$ Kwh}^{-1} = \text{R\$ } 2,70$
 $\text{R\$ } 2,70 \div 20 \text{ sacos} = 0,13 \text{ R\$ sacco}^{-1}$

Custo total energético (aquecimento do ar mais energia elétrica):

$$40 \text{ °C} >> 0,66 \text{ R\$ sacco}^{-1} + 0,18 \text{ R\$ sacco}^{-1} = 0,84 \text{ R\$ sacco}^{-1}$$

$$70 \text{ °C} >> 0,85 \text{ R\$ sacco}^{-1} + 0,13 \text{ R\$ sacco}^{-1} = 0,98 \text{ R\$ sacco}^{-1}$$

A secagem à temperatura de 40 °C levando-se em conta a eficiência energética, nesse exemplo, há um ganho de R\$ 0,14 a menos por saco que a secagem a 70 °C (17 % mais econômica).

Conclusões

Para as condições do presente trabalho, pode-se concluir que:

- a retirada de água dos grãos de milho foi mais intensa nas primeiras horas de secagem, sendo proporcional à temperatura do ar de secagem (1,54 ponto/h a 40 °C; 2,13 pontos/h a 70 °C e 3,72 pontos/h a 100 °C);
- não foi observada proporcionalidade entre o tempo de secagem e a temperatura do ar de secagem;

- à temperatura de 40 °C o processo de aquecimento da massa de grãos foi muito mais lento que nas demais temperaturas;
- o rendimento do secador aumentou proporcionalmente ao aumento da temperatura do ar de secagem;
- o consumo médio de GLP por hora aumentou em função da temperatura de secagem, independente da umidade inicial do grão;
- para qualquer das umidades estudadas, o menor custo em R\$ por ponto percentual de umidade retirada foi quando se usou a temperatura de 40 °C no ar de secagem;
- a secagem à temperatura de 40 °C, levando-se em conta a eficiência energética, foi 17 % mais econômica que a secagem a 70 °C.

Referências bibliográficas

- BIAGI, J.D.; VALENTINI, S.R.T.; QUEIROZ, D.M. Secagem de produtos agrícolas. In: CORTEZ, L.A.B.; MAGALHÃES, P.S.G., coord. **Introdução à engenharia agrícola**. Campinas: UNICAMP, 1992. p.245-266.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária (Brasília, DF). Perdas na agropecuária brasileira: relatório preliminar da Comissão Técnica para Redução das Perdas na Agropecuária. [Brasília], 1993. 1v.

- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York: Van Nostrand Reinold, 1992. 450p.
- CARVALHO, N.M. **A secagem de sementes.** Jaboticabal: FUNEP, 1994. 165p.
- DUSI, D.A.; SIMINSKI, E.; DALBELLO, O.; FLAMIA, R. **Armazenagem na propriedade: curso profissionalizante de armazenagem - informações técnicas.** Florianópolis: EPAGRI/GTZ, 1998. 95p. (EPAGRI. Boletim Didático, 23).
- LASSERAN, J.C. The drying of grains principles, equipment, energy savings and fire safety. In: MULTON, J.L., ed. **Preservation and storage of grains, seeds and their by-products.** Paris, Tec & Doc-Lavoisier, 1988. p.606-663.
- MARTINS, R.M. **Secagem intermitente com fluxo cruzado e altas temperaturas e sua influência na qualidade do trigo duro (*Triticum durum* L.): síntese da Dissertação de Mestrado.** Porto Alegre: EMATER-RS, 1998. 52p. (Série Textos Seleccionados, 12).
- PARK, K.J. **Secagem de produtos agrícolas.** Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 1991. 167p. Não publicado.
- PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603p.

- SILVA, J.S.; AFONSO, A.D.L.; GUIMARÃES, A.C.
Análise dos sistemas de secagem. **Engenharia na
Agricultura**, Viçosa, v.2, n.5, p.1-31, 1992.
- SILVA, J.S.; LACERDA FILHO, A.F. **Construção de
um secador para produtos agrícolas**. Viçosa: UFV,
1984. 17p. (UFV. Informe Técnico, 41).
- WEBER, E.A. **Armazenagem agrícola**. Porto Alegre:
Kepler-Weber, 1995. 400p.

Equipe Técnica Multidisciplinar da Embrapa Trigo

Chefe-geral

Benami Bacaltchuk - Ph.D.

Chefe Adjunto de Administração

João Carlos Ignaczak - M.Sc.

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

José Eloir Denardin - Dr.

Chefe Adjunto de Comunicação e Negócios

João Francisco Sartori - M.Sc.

Nome	Gra- duação	Área de atuação
Amarilis Labes Barcellos	Dr.	Fitopatologia-Ferrugem da Folha
Ana Christina A. Zanatta	M.Sc.	Recursos Genéticos
Antônio Faganello	M.Sc.	Máquinas Agrícolas
Airton N. de Mesquita	M.Sc.	Fitotecnia
Arcenio Sattler	M.Sc.	Máquinas Agrícolas
Ariano Moraes Prestes	Ph.D.	Fitopatologia-Septorias
Armando Ferreira Filho	M.Sc.	Difusão de Tecnologia
Aroldo Gallon Linhares	M.Sc.	Tecnol. de Sementes, Recurs. Genéticos
Augusto Carlos Baier	Dr.	Melhoramento de Plantas-Triticale
Cantídio N.A. de Sousa	M.Sc.	Melhoramento de Plantas-Trigo
Delmar Pöttker	Ph.D.	Fertilidade do Solo/Nutrição de Plantas
Edson Clodoveu Picinini	M.Sc.	Fitopatologia-Controle Quím. Doenças
Edson J. Iorczeski	Ph.D.	Melhoramento de Plantas
Eliana Maria Guarienti*	M.Sc.	Tecnologia de Alimentos
Emídio Rizzo Bonato	Dr.	Melhoramento de Plantas-Soja
Erivelton Scherer Roman	Ph.D.	Ecologia de Plantas Daninhas
Euclides Minella	Ph.D.	Melhoramento de Plantas-Cevada
Gabriela E.L. Tonet	Dr.	Entomologia-Pragas de Soja/de Trigo
Geraldino Peruzzo	M.Sc.	Fertilidade do Solo/Nutrição de Plantas

Nome	Gra- duação	Área de atuação
Gerardo Arias	Ph.D.	Melhoramento de Plantas-Cevada
Gilberto Bevilaqua	Ph.D.	Técnico de Nível Superior-Sementes
Gilberto Omar Tomm	Ph.D.	Culturas Alternativas-Ciclagem de N
Gilberto Rocca da Cunha	Dr.	Agrometeorologia
Henrique P. dos Santos	Dr.	Manejo e Rotação de Culturas
Irineu Lorini	Ph.D.	Entomologia-Pragas de Grãos Armaz.
Ivo Ambrosi	M.Sc.	Economia Rural
Jaime Ricardo T. Maluf	M.Sc.	Agrometeorologia
João Carlos Haas	M.Sc.	Biotecnologia
João Carlos S. Moreira	M.Sc.	Fitotecnia
José Antônio Portella	Dr.	Máquinas Agrícolas
José M.C. Fernandes	Ph.D.	Fitopatologia
José Roberto Salvadori	Dr.	Entomologia-Pragas Trigo, Feijão e Milho
Julio Cesar B. Lhamby	Dr.	Rotação Culturas-Contr. Plantas Daninhas
Leila Maria Costamilan	M.Sc.	Fitopatologia-Doenças de Soja
Leo de Jesus A. Del Duca	Dr.	Melhoramento de Plantas-Trigo
Luiz Ricardo Pereira	Dr.	Melhoramento de Plantas-Milho
Márcio Só e Silva	M.Sc.	Fitotecnia
Marcio Voss	Dr.	Microbiologia do Solo
Maria Imaculada P.M. Lima	M.Sc.	Fitopatologia
Maria Irene B.M. Fernandes	Dra.	Biologia Celular
Martha Z. de Miranda	Dra.	Tecnologia de Alimentos
Osmar Rodrigues	M.Sc.	Fisiologia Vegetal
Paulo F. Bertagnolli	Dr.	Melhoramento de Plantas-Soja
Pedro Luiz Scheeren	Dr.	Melhoramento de Plantas-Trigo
Rainoldo A. Kochhann	Ph.D.	Manejo e Conservação de Solo
Renato Serena Fontaneli	Ph.D.	Fitotecnia-Forageiras
Roque G.A. Tomasini	M.Sc.	Economia Rural
Sandra Patussi Brammer	M.Sc.	Biotecnologia
Silvio Tulio Spera	M.Sc.	Física do Solo
Sírio Wiethölter	Ph.D.	Fertilidade do Solo/Nutrição de Plantas
Wilmar Cório da Luz	Ph.D.	Fitopatologia

* Em curso de Pós-Graduação.