



TECNOLOGIA DE SECAGEM DE GRÃOS





072
ISSN 1516-5582



Tecnologia de Secagem de Grãos

*Ricardo Ramos Martins
José Boaventura da Rosa Franco
Paulo Armando V. de Oliveira*

*Passo Fundo, RS
1999*



Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Trigo

Rodovia BR 285, km 174

Fone: (54)311-3444

Fax: (54)311-3617

Caixa Postal 451

99001-970 Passo Fundo, RS

EMATER-RS

Rua Botafogo, 1051

Fone: (51)233-3144

Fax: (51)233-9598

90150-053 Porto Alegre, RS

<http://www.emater.emater.tche.br>

Tiragem: 1000 exemplares

Assessor Revisional

José Antonio Portella

Tratamento Editorial: Fátima Maria De Marchi

Capa: Liciane Duda Bonatto

Referências Bibliográficas: Maria Regina Martins

Impressão: MaraGRAF

Esta publicação faz parte das ações do Projeto de pesquisa e desenvolvimento "Manutenção quali-quantitativa dos grãos de cereais da colheita ao consumo" realizado em parceria com a Embrapa Trigo, Emater-RS, Embrapa Suínos e Aves Epagri, Implensul e Agipliquigás.

MARTINS, R.R.; FRANCO, J.B. da R.; OLIVEIRA, P.A.V. de. Tecnologia de secagem de grãos. Passo Fundo: Embrapa Trigo/EMATER/RS, 1999. 90p. (Embrapa Trigo. Documentos, 8).

Engenharia Agrícola; Pós-colheita; Secador.

CDU 631.583

CDD 631.2

© Embrapa Trigo - 1999

Apresentação

A produção de alimentos é uma necessidade mundial, pois o crescimento da população humana tem seguido uma curva ascendente, e suas necessidades têm de ser atendidas. Porém não basta aumentar a produção de grãos com o grande esforço do produtor. É essencial também conservar esses grãos para serem usados conforme as demandas do consumidor.

As safras agrícolas ocorrem em determinados períodos do ano e devem ser conduzidas com a máxima eficiência. Todavia, não menos importantes são os processos de colheita, transporte, secagem e armazenamento dos grãos cujo consumo se estende ao longo do ano.

Na pós-colheita, faz-se necessário preservar a qualidade do produto colhido e destiná-lo ao consumo com as menores perdas possíveis. Nesse sentido, é imprescindível que se adotem técnicas apuradas de manutenção dessa qualidade, sendo a secagem adequada de grãos fundamental para atingi-la, inclusive no armazenamento.

*O esforço conjunto da Embrapa e Emater/RS para a manutenção da qualidade de grãos pós-colheita permite oferecer esta publicação de "**Tecnologia de Secagem de Grãos**", que trata de diversos aspectos relacionados com a secagem de grãos na agricultura. Este trabalho, com certeza, será acrescido, em futuro próximo, de novos resultados de pesquisa que estão sendo gerados na área pelas instituições parceiras, e que visam atender à demanda do setor por esses conhecimentos.*

Certamente esta obra é uma contribuição para a melhoria da qualidade de alimentos a serem oferecidos à população humana.

Irineu Lorini

*Pesquisador em Qualidade de Grãos Armazenados
da Embrapa Trigo*

Sumário

Tecnologia de Secagem de Grãos	7
Introdução.....	7
Princípios Gerais da Secagem	11
Secagem com Ar Aquecido	16
<i>Classificação dos secadores de acordo com o fluxo de ar e o fluxo do produto.....</i>	16
Secadores Comerciais de Grãos	21
<i>Secagem em fluxo cruzado.....</i>	21
<i>Secador de fluxo cruzado estático - leito fixo</i>	27
<i>Secador de fluxo cruzado dinâmico - intermitente</i>	32
<i>Secador de fluxo misto - contínuo</i>	42
<i>Cadência de recebimento / cadência de secagem</i>	49
Considerações sobre Incêndios em Secadores.....	51
<i>Medidas preventivas e cuidados durante a secagem</i>	52
<i>Procedimentos em caso de incêndio.....</i>	53
Energia na Secagem	54
<i>Consumo específico de calor, de energia e calor latente de vaporização</i>	54
<i>Consumo energético e rendimento térmico</i>	57
<i>Fornalhas e combustíveis</i>	60
Temperaturas de Secagem e Qualidade dos Grãos	66
<i>Qualidade dos grãos utilizados como ração animal</i>	66
<i>Qualidade dos grãos utilizados na indústria</i>	73
Considerações Finais	77
Referências Bibliográficas	82

Tecnologia de Secagem de Grãos

Ricardo Ramos Martins¹

José Boaventura da Rosa Franco²

Paulo Armando V. de Oliveira³

Introdução

Um país como o Brasil, com produção de cereais e grãos leguminosos apresentando safras irregulares e população crescendo 2,5 a 3,0 % ao ano, deve ser dotado de uma rede armazenadora adequada para atender a este aumento populacional e, paralelamente a isto, necessita de pesquisas na área de secagem e armazenagem. Cerca de 80 % da produção nacional é secada de maneira natural. Somando-se a isto, é sabido que a maior parte da produção brasileira é proveniente de pequenos e médios produtores (cerca de 75 %), e que um valor reduzido da capacidade armazenadora (estimado em 5 %) é localizado na fazenda. Caracteriza-se assim um quadro em que a quase totalidade da produção não está nas mãos de seus principais produtores,

¹ *Engenheiro-Agrônomo, Extensionista Rural da EMATER/RS, Caixa Postal 61, 95880-000 Estrela, RS. e-mail: valetaq@emater.tche.br.*

² *Engenheiro-Agrônomo, Consultor Técnico, Rua Ella Horn, 230, 95880-000 Estrela, RS. e-mail: sfranco@beyondnet.com.br.*

³ *Engenheiro-Agrícola, Pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Caixa Postal 21, 89700-000 Concórdia, SC. e-mail: paolive@cnpsa.embrapa.br.*

mas sim em poder de atravessadores, grandes cooperativas e governo (Silva & Pinto, 1993).

No estado, a realidade da produção de grãos não parece ser diferente, ao observar-se a Tabela 1 constata-se que para a maioria dos produtos destinados ao consumo interno e mesmo aqueles voltados a exportação, são em sua maioria produzidos nas pequenas e médias propriedades com áreas abaixo de 50 hectares.

Tabela 1. *Cultivos de arroz irrigado, de feijão, de milho, de trigo e de soja conforme estrato de área (ha)*

<i>Estrato de área (ha)</i>	<i>Cultivos produzidos por estrato de área (%)</i>				
	<i>Arroz irrigado</i>	<i>Feijão</i>	<i>Milho</i>	<i>Trigo</i>	<i>Soja</i>
<i>0 – 50</i>	<i>47</i>	<i>83</i>	<i>77</i>	<i>80</i>	<i>78</i>
<i>Mais de 50,1</i>	<i>53</i>	<i>17</i>	<i>23</i>	<i>20</i>	<i>22</i>

Fonte: EMATER/RS, 1992.

Nas propriedades familiares pequenas e médias, a seca-gem normalmente é realizada no campo de forma natural atrassando com isto a colheita, e na armazenagem são utilizados depósitos ou paióis que estão sujeitos ao intenso ataque de insetos, roedores e ao desenvolvimento de fungos, Oliveira (1989) e Martins & Oliveira (1992). Na Tabela 2 observa-se os tipos de armazenagem praticados pelos pequenos produtores do Rio Grande do Sul.

Tabela 2. *Tipos de armazenagem praticados nas pequenas propriedades do Rio Grande do Sul*

<i>Tipo de armazenagem</i>	<i>Propriedades (%)</i>
<i>1-Galpão comum</i>	<i>84,54</i>
<i>2-Paiol tipo Chapecó</i>	<i>1,87</i>
<i>3-Tulha</i>	<i>6,84</i>
<i>4-Armazém da cooperativa</i>	<i>14,20</i>
<i>5-Paiol de tela</i>	<i>1,42</i>
<i>6-Tonel</i>	<i>4,44</i>
<i>7-Armazém da CESA ou CIBRAZÉM</i>	<i>1,20</i>
<i>8-Armazém particular</i>	<i>5,39</i>
<i>9-Colhe conforme o necessário</i>	<i>9,65</i>

Fonte: EMATER/RS, 1992.

Como as propriedades do estrato de área entre 0 – 50 ha sofrem de problemas crônicos ligados aos recursos tecnológicos e financeiros, enfrentam inúmeras dificuldades para colocar seus produtos no mercado, sujeitando-se as desvantajosas condições impostas pelos intermediários de quem dependem. Desta forma sua rentabilidade econômica é limitada, vendendo seus produtos na safra, onde historicamente verificam-se os menores preços. Podemos citar como exemplo o milho, produzido pelos pequenos agricultores, que é em parte comercializado, mesmo sabendo que terão que readquiri-lo mais tarde a preços mais altos, em decorrência das perdas elevadas pela secagem e armazenagem inadequadas. Desta forma a capacidade de investimento para aquisição de equipamentos de secagem é limitada, mesmo porque, somente a partir do início dos anos 80 e nos dias atuais é que se tem buscado alternativas de equipamentos com preços mais acessíveis aos produtores familiares.

Incentivando a armazenagem em nível de propriedade

agrícola (Tabela 3) é possível reduzir substancialmente as perdas dos produtos. No Brasil, as previsões mais otimistas indicam estarem na ordem de 25 – 30 % da produção do país.

Tabela 3. Perfil da estrutura de armazenagem de grãos no Brasil, Estados Unidos e Argentina (Percentual sobre a capacidade de armazenagem à granel).

Armazenagem	Brasil	Estados Unidos	Argentina
Fazenda	5	50	35
Coletora	88	30	25
Intermediária	2	10	20
Terminal	5	10	10
Não discriminada	-	-	10

Fonte: Silva, 1995.

Segundo Silva & Pinto (1993), no Brasil, os secadores comercialmente mais populares, na faixa de 40 t/hora, são os do tipo cascata, que consomem quantidades expressivas de componentes metálicos para sua construção e não são mais fabricados nos Estados Unidos. Outro tipo de grande difusão são os secadores de fluxo cruzado “tipo Pampeiro”, que nada mais são que cópias simplificadas dos modelos europeus e americanos, para faixas de capacidade inferior a 10 t/hora. A partir de 1980 é que se procurou estudar e adaptar às condições brasileiras os secadores de leito fixo, fluxos concorrentes e fluxos contra-correntes.

Diversos trabalhos têm sido realizados no sentido de aumentar a eficiência energética e reduzir os custos tanto de construção como de operação, com o objetivo de tornar viável a sua utilização pelas diferentes categorias de produtores, porém isto não basta, segundo Biagi et al. (1996), durante a secagem, deve-se tomar cuidado para que esta não comprometa a qualidade do

produto. Para tanto, o tempo de exposição, a temperatura e a velocidade do ar de secagem são alguns parâmetros que devem ser definidos para cada tipo de produto, em função do processo de secagem utilizado. A pouca quantidade de trabalhos de pesquisa associando os parâmetros de secagem a qualidade da matéria-prima (grãos) para fins industriais e mesmo para uso na alimentação animal limita o estabelecimento de procedimentos com vistas a manutenção da qualidade para estas finalidades.

A maioria dos produtos agrícolas (grãos, sementes e frutos) deveriam ser colhidos no ponto de maturação fisiológica quando apresentam teores máximos de amido, proteínas e óleo (variáveis segundo as espécies) e teor de umidade elevada. Sob esta última condição, a atividade metabólica do produto tem prosseguimento, além de ser propícia ao desenvolvimento de fungos e insetos conduzindo a deterioração rápida. Através da remoção da umidade pela secagem, natural ou artificial, e uma correta armazenagem, torna-se possível a conservação de produtos agrícolas durante o período de entressafra.

A presente publicação tem como principal objetivo auxiliar os iniciantes nos princípios da secagem de grãos e na operação dos equipamentos mais utilizados em nosso estado, e aos mais experientes, uma oportunidade de revisão dos conceitos básicos de uma forma simples e acessível.

Princípios Gerais da Secagem

A secagem é uma operação crítica dentro da seqüência do pré-processamento dos grãos - colheita, secagem, armazenagem, manuseio e transporte. É também consenso geral que a secagem inadequada é a maior causa de deterioração dos grãos nesta série de processos. Em função da secagem, pode ocorrer uma maior suscetibilidade a quebras em milho e soja e um de

créscimo na qualidade de moagem em trigo e arroz. Afortunadamente, a secagem de trigo⁴ e soja é menos freqüentemente requerida do que a secagem do milho e arroz (Brooker et al., 1992).

Segundo Lasseran (1988), equivalente a várias outras técnicas (filtração, centrifugação, prensagem, evaporação, liofilização, etc.), o resultado geral da secagem é a separação parcial entre o líquido (geralmente a água) e a matriz sólida. No caso dos produtos agrícolas, a matriz sólida é um alimento 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 uma movimentação da água (arraste), em virtude da diferença da 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:

$$fg > f$$

onde:

fg = pressão parcial do vapor de água na superfície do produto;

f = pressão parcial do vapor de água no ar.

se:

$$fg = f$$

⁴ *Esta afirmação é válida para o meio oeste dos Estados Unidos e alguns estados do Brasil. Já para o Rio Grande do Sul, por exemplo, a época de colheita coincide com período de chuvas, necessitando portanto de secagem artificial.*

Não ocorre secagem, mas equilíbrio higroscópico entre o produto e o ar.

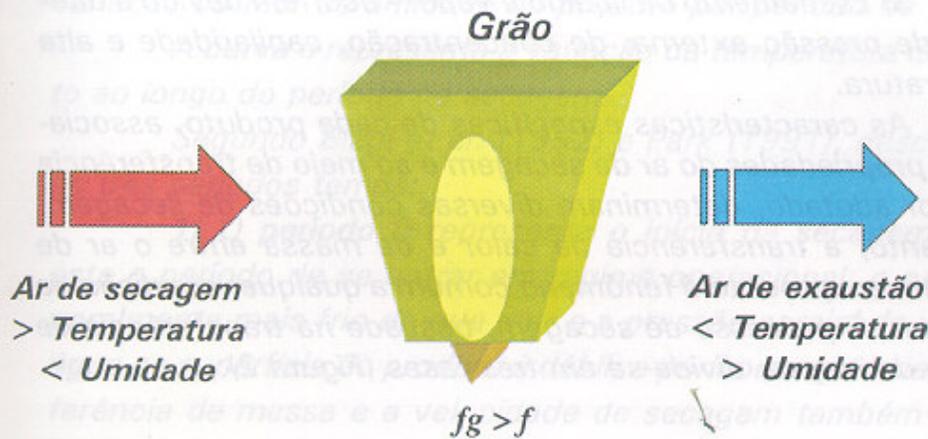


Figura 1. O princípio da secagem por movimentação de água.
Fonte: Lasseran, 1988.

A secagem de grãos envolve dois processos fundamentais quando o produto é colocado em contato com o ar quente: (1) a transferência de calor do ar para o produto pelo efeito da diferença de temperatura existente entre eles e (2) a transferência de massa para o ar 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 dos grãos durante a secagem são muito importantes. O movimento de água do interior do material até a superfície é analisada pelos mecanismos de transferência de massa, que indicam a dificuldade de secagem dos materiais. Durante a secagem, para que haja a evaporação de água da superfície do material ao ambiente, a água deve ser transportada do interior do sólido até a superfície (Hall, 1980 e Park, 1991).

Os mecanismos mais importantes são:

1) Difusão líquida - ocorre devido a existência do 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 - ocorrem devido a diferença de pressão externa, de 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):

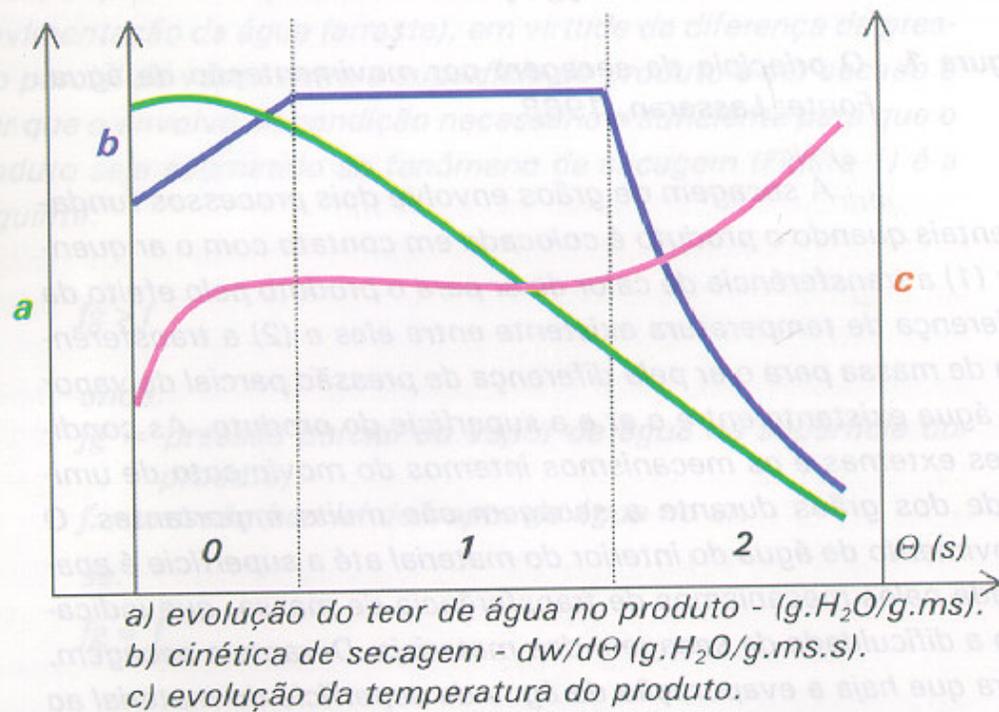


Figura 2. Curva típica de secagem. Fonte: Biagi et al., 1992.

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.

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 os três períodos temos:

1) O **período 0** representa o início da secagem, sendo este o período de se entrar em regime operacional; o produto é geralmente mais frio do que o ar e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é débil; e por conseqüência a transferência de massa e a velocidade de secagem também são débeis. 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.

2) No **período 1** a taxa de secagem é constante. Durante este período, como no anterior, a quantidade de água dentro do produto é bem grande. A água evaporada é água livre. A transferência de massa e de calor é equivalente e, portanto, a velocidade de secagem é constante. Este período continua, enquanto a migração de água do interior até a superfície do produto seja suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água da superfície. Deve-se ressaltar que para materiais biológicos é difícil a existência deste 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) **Período 2** neste período a velocidade (taxa) de secagem é decrescente. 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 umidade de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado.

Secagem com Ar Aquecido

Segundo Carvalho (1994), neste tipo de secagem, o ar que se insufla na massa de sementes é sempre aquecido, tendo-se por principal objetivo garantir uma secagem mais rápida. É freqüentemente, o tipo de secagem que mais se adapta a esquemas de produção de sementes, tendo em vista a rapidez com que os teores altos de água (acima de 15-16 %) podem afetar a germinação e o vigor, o que torna obrigatório que a secagem seja rápida também. Mesmo para a produção de grãos, principalmente para grandes quantidades, esse sistema costuma ser o mais adequado, tendo em vista possibilitar grandes reduções de investimento em ventiladores e sistemas de distribuição de ar.

Classificação dos secadores de acordo com o fluxo de ar e o fluxo do produto

*Os métodos de secagem artificial, quanto ao fluxo do produto no secador, podem ser classificados em duas categorias a) **secagem estacionária** - consiste basicamente em se forçar um fluxo de ar através da massa de sementes que permanece em repouso; b) **secagem de fluxo contínuo** - consiste em submeter as sementes a uma corrente de ar, enquanto elas fluem continuamente através do secador (Figura 3). A secagem estacionária*

se processa da base para o topo da camada de sementes, em secador de fundo falso perfurado⁵, e do centro para a periferia, em secador de tubo central perfurado; ocorre por camadas, em virtude da formação da zona de secagem, correspondente à região onde efetiva-se o intercâmbio de água da semente para o ar. Anteriormente à zona de secagem tem-se sementes secas e alta temperatura e, posteriormente, sementes úmidas e baixa temperatura (Villela, 1991).

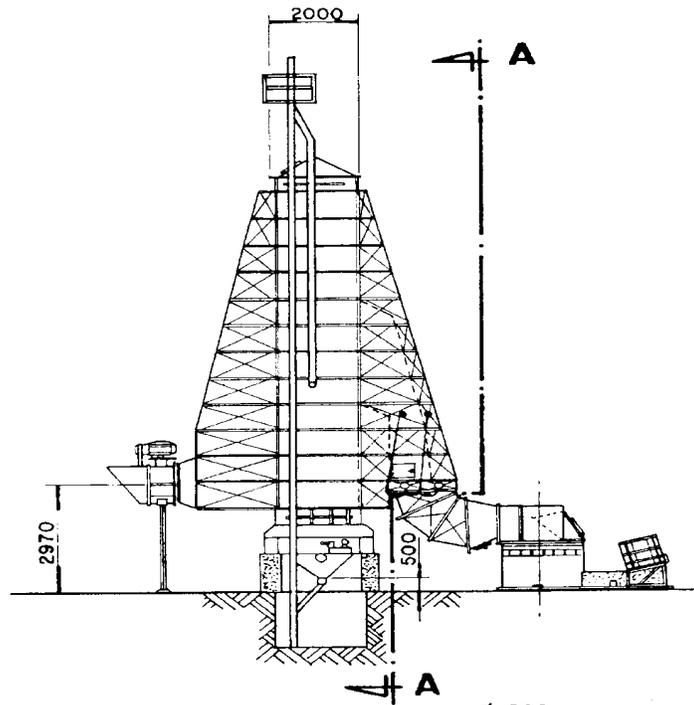


Figura 3. Secador contínuo de fluxo misto modelo CA-20 com capacidade de secagem de 20 t por hora. Fonte: CASP, s.d.

⁵ Estes secadores são largamente utilizados por pequenos produtores dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, em virtude de sua versatilidade. São conhecidos como secadores de camada fixa ou leito fixo e utilizam fluxo de ar entre $0,18$ a $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^2$, com altura de camada de até $0,5 \text{ m}$ e temperaturas de secagem na faixa de $70-110 \text{ }^\circ\text{C}$.

A secagem de fluxo contínuo, leva em conta o fluxo de ar em relação ao fluxo do produto, e os secadores podem ser classificados em quatro grupos principais, segundo Hall (1980), Bakker-Arkema (1984), Lasseran (1988), Villela (1991), Biagi et al. (1992), Brooker et al. (1992), Arnosti Junior (1993), Bakker-Arkema (1994):

Secadores de fluxos cruzados: *neste tipo de secador, o produto úmido é colocado em uma moega superior e por gravidade vai descendo pelo secador, onde é secado até um determinado teor de umidade, resfriado e descarregado na parte inferior. A secagem e o resfriamento são realizados por meio de fluxo de ar perpendicular ao fluxo de grãos. O secador possui um plenum envolvido por colunas de grãos de 30 a 40 cm de espessura e são conhecidos como secadores de lote ou de coluna. O fluxo de grãos é regulado por um mecanismo localizado no fim da coluna de secagem. Secadores de fluxo cruzado não secam o grão uniformemente (Figura 4-a). Estes equipamentos quando utilizados para milho, sem reversão de ar ou inversão de grãos apresenta gradientes no sentido transversal na coluna de até 20 % de conteúdo de umidade e 50 % de grãos trincados.*

Secadores de fluxos concorrentes: *nos secadores de fluxos concorrentes, ar e grão fluem no mesmo sentido. O ar mais quente encontra o grão mais úmido, e a alta taxa de evaporação causa rápido resfriamento desse ar. Isso possibilita o uso de temperaturas mais elevadas que as utilizadas em secadores de fluxos cruzados. O produto final é homogêneo quanto à temperatura e umidade. Muitos especialistas em secagem afirmam que os secadores de fluxos concorrentes são teoricamente, tecnicamente e operacionalmente superiores ao de fluxos cruzados e mistos, com respeito às características qualitativas do grão e eficiência*

energética (Figura 4-b).

Secadores de fluxos contracorrentes: nos secadores de fluxos contracorrentes o ar aquecido é forçado a passar pela massa de grãos em sentido contrário ao fluxo de grãos. Nesse tipo de secador, à medida que o produto vai descendo pela coluna de secagem sua temperatura vai sendo aumentada gradualmente, atingindo o valor máximo no final da coluna de secagem que coincide com o ponto de entrada do ar aquecido. É conveniente neste tipo de secador trabalhar no sistema de seca-aeração, pois o grão apresenta elevada quantidade de energia armazenada na forma de calor sensível (Figura 4-c).

Secadores de fluxos mistos: neste tipo de secador, o grão é secado pela mistura de fluxos cruzados, concorrentes e contracorrentes. No Brasil estes secadores são conhecidos como tipo cascata e são amplamente utilizados em unidades armazenadoras de grande porte, em virtude da sua capacidade de secagem (capacidades nominais variam de 10 a 250 t/h), para redução do teor de umidade de grãos de 18 para 13 %. As câmaras de secagem e resfriamento são constituídas por uma série de calhas em forma de "V" invertido, dispostas em linhas alternadas ou cruzadas dentro do corpo do secador. Os grãos movem-se para baixo, sob a ação da gravidade e sobre as calhas invertidas. O ar de secagem entra numa linha de calhas e sai nas outras imediatamente adjacentes (superior ou inferior). Os secadores de fluxos mistos são muito caros e requerem um bom sistema de controle de poluição do ar, ao contrário dos secadores de fluxos cruzados (mais baratos e com menores problemas quanto à poluição). Por estas razões, a quantidade de secadores de fluxos mistos fabricados na América do Norte vem diminuindo. No Leste Europeu, ao contrário, estes secadores continuam a predomi-

nar entre os secadores de fluxo contínuo (Figura 4-d).

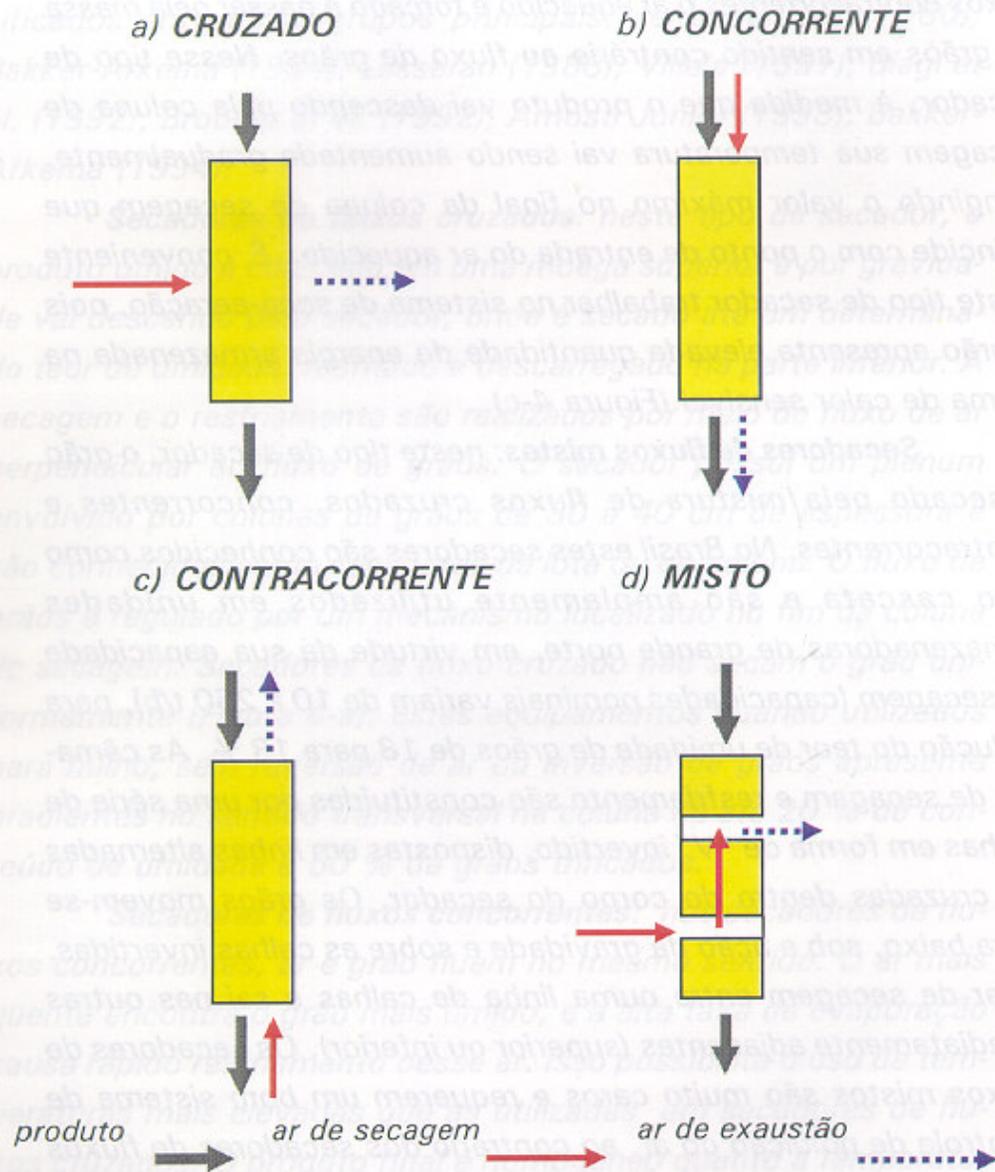


Figura 4. Desenhos esquemáticos dos 4 tipos de secadores de alta temperatura: a) fluxos cruzados, b) fluxos concorrentes, c) fluxos contracorrentes, e d) fluxos mistos.

Secadores Comerciais de Grãos

Atualmente, existe uma tendência mundial em reduzir os custos de fabricação de equipamentos e o preço dos serviços prestados, porém isto não exclui a constante busca na melhoria da qualidade do produto processado.

Segundo Bakker-Arkema (1984), o objetivo final no processo de pós-colheita é manter inalteradas as qualidades dos produtos, sendo que estas dependem do uso final a que se destinam. Para o trigo, a qualidade na panificação é essencial; para a soja, a alta extração de óleo; no caso do arroz, o alto rendimento de engenho. Vários critérios de qualidade vêm sendo utilizados para avaliar os produtos:

- ◆ *nas desinfestações térmicas do trigo utilizam-se micro-testes de cozimento com relação ao volume do pão e viabilidade da semente.*

- ◆ *conteúdo de ácidos graxos livres e rendimento de óleo durante a secagem de soja em altas temperaturas.*

- ◆ *conteúdo de lisina, coloração e susceptibilidade às quebras na avaliação de milho secado com altas temperaturas.*

No estado do Rio Grande do Sul, se classificarmos quanto ao fluxo do ar, são utilizados basicamente três tipos de secadores na secagem de grãos e sementes:

- *Fluxo cruzado estático - secador de leito fixo;*
- *Fluxo cruzado dinâmico - secador intermitente;*
- *Fluxo misto - secador contínuo.*

Secagem em fluxo cruzado

Em nível de fazenda nos Estados Unidos, segundo Loewer et al. (1994) e Bakker-Arkema & Ballinger (1983), os secadores de altas temperaturas mais utilizados são os de fluxos cruzados, podendo ser de dois tipos:

- *secadores de lote ou carga;*
- *secadores contínuos.*

O princípio básico em ambos os tipos de secadores é que trabalham com altas vazões de ar 0,66 a 1,67 m³.s⁻¹.m⁻³ (50 a 125 CFM.bu⁻¹) através de colunas pouco espessas 0,3 a 0,35 m (12 a 14 in), obtendo com isto taxas de secagem relativamente altas. O secador de lote e o contínuo são muito similares na aparência e performance. Os secadores de lote são classificados como de leito estacionário⁶. A massa de grãos não se move durante o processo de secagem, e o ar de secagem é insuflado através da coluna de grãos. A temperatura do ar de secagem nos secadores de lote está na faixa de 71 a 93 °C (160 a 200 ° F).

Os secadores de fluxo cruzado nos Estados Unidos, (Bakker-Arkema & Fontana, 1983), utilizados na secagem de arroz apresentam as seguintes características:

- a) espessura das colunas de secagem entre 0,2 a 0,4 m;*
- b) fluxo de ar entre 10 a 25 m³.min⁻¹.m⁻²;*
- c) temperatura de secagem entre 45 a 80 °C.*

O arroz permanece em contato com o ar de secagem por períodos de 10-20 min em cada passagem no secador. São removidos por passagem entre 1,0 a 3,0 pontos de umidade. Arroz com 22 % de umidade requer pelo menos 5 passagens pelo secador (com 6-24 horas de descanso entre as passagens) para secar até 13-14 %. Após a secagem em função da aeração, fica com 12 a 13 % de umidade.

Bakker-Arkema (1994) fez uma comparação entre os três principais tipos de secadores, fluxos cruzados, concorrentes e mistos (Tabela 4), com respeito a temperatura do ar de secagem, à máxima temperatura alcançada pelos grãos, e à expectativa de aumento da susceptibilidade às quebras na secagem do milho

⁶ *Semelhantes aos secadores utilizados no sul do país.*

quando foram retirados 10 pontos percentuais de umidade do grão. Segundo o autor o secador de fluxo concorrente foi o que gastou menos energia no processo, porém é o equipamento de maior preço.

Tabela 4. Efeito do tipo de secador sobre o ar de secagem, máxima temperatura do grão, e susceptibilidade a quebras em milho

Tipo de secador	Temperatura do ar de secagem (°C)	Máxima temperatura do grão (°C)	Susceptibilidade as quebras (%)
Fluxos cruzados	80-110	80-100	20
Fluxos mistos	100-130	70-100	10
Fluxos concorrentes	175-285	60-80	5

Fonte: Bakker-Arkema, 1994.

Como pode-se observar na Tabela 4, o secador de fluxos cruzados foi o que apresentou a maior temperatura dos grãos em função da temperatura do ar de secagem empregada, o que levou a uma maior susceptibilidade a quebras (20 %) dos grãos de milho.

Segundo Brooker et al. (1992), devido ao gradiente no conteúdo de umidade dos grãos, ao longo da coluna de secagem nos secadores de fluxo cruzado, a qualidade dos grãos varia, como pode-se observar na Tabela 5. Os grãos próximos à entrada do ar de secagem sofrem uma super-secagem e apresentam um aumento na susceptibilidade a quebras, comparados com os grãos remanescentes na coluna. Na Tabela 6 observa-se os danos causados pelo efeito do excesso de secagem na susceptibilidade às quebras em milho.

Gustafson & Morey (1981) realizaram vários testes com um secador automático de carga. O secador caracterizava-se por

ter colunas de 0,3 m (12 in) e fluxo de ar de aproximadamente $0,93 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ (70 CFM.Bu⁻¹). O produto utilizado foi o milho e foram analisados os conteúdos de umidade, susceptibilidade à quebra e germinação. Na Tabela 7, pode-se observar as condições em que foram realizados os testes e os resultados obtidos.

Tabela 5. Temperatura do grão, conteúdo de umidade, e susceptibilidade a quebras em diferentes pontos da coluna de grãos em secador de fluxo cruzado convencional após a secagem sem resfriamento (Umidade inicial 25,5 % e Umidade final 19 %, com temperatura de secagem de 110 °C)

Distância do ar de entrada (cm)	Temperatura do grão (°C)	Conteúdo de umidade (%)	Susceptibilidade a quebras
1,25	102	10	48
7,50	78	20	11
13,75	51	24	10

Fonte: Brooker et al., 1992.

Tabela 6. Efeito do conteúdo médio de umidade final sobre a susceptibilidade à quebra de milho com 25 % de umidade em secador convencional de fluxo cruzado (temperatura de 110 °C).

Conteúdo médio de umidade final (%)	Susceptibilidade à quebra (%)
18	11
15	18
13	27
11	39

Fonte: Brooker et al., 1992.

Tabela 7. Temperatura do ar de secagem, conteúdo de umidade inicial e final, densidade aparente, susceptibilidade às quebras e germinação na secagem de 7 lotes de milho

Lote	Temp. ar secagem	Conteúdo umidade		Densidade aparente		Susceptibilidade a quebra		Germinação	
		% bu	%	kg/m ³	%	%	%	%	
	°C	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1978									
1	93	31,0	14,9	692	707	4,9	28,8	90	11
2	93	30,5	14,4	682	700	5,7	28,6	92	5
3	93	27,0	13,4	689	713	3,4	20,2	97	3
1979									
4	116	30,8	11,2	674	688	8,3	47,9	-	-
5	116	30,5	12,4	660	690	8,7	50,0	-	-
6	93	24,8	11,2	644	660	9,8	42,3	-	-
7	93	25,9	11,7	676	688	11,4	50,0	-	-

Fonte: Gustafson & Morey, 1981.

Os estudos realizados por Bakker-Arkema (1994), Gustafson & Morey (1981) e Brooker et al. (1992), descritos neste item, são ilustrativos dos problemas que apresentam estes tipos de secadores, quando utilizam-se altas temperaturas de secagem, sem reversão do fluxo de ar ou dos grãos na coluna.

Embora este tipo de equipamento seja pouco utilizado em nosso país (havia somente uma fábrica no sul do país na cidade de Pelotas/RS), as condições de secagem são semelhantes aos secadores de camada fixa (Oliveira & Martins, 1992) e ainda aos intermitentes (Lacerda Filho et al., 1982), utilizados principalmente nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Para estes secadores e secagem em silos (com maiores alturas de camada) encontramos vários trabalhos conduzidos, avaliando a temperatura de secagem, o gradiente de umidade nas camadas, frente de secagem, a qualidade do produto, entre outras (Woodforde & Lawton, 1965; Chien et al., 1971; Bakker-Arkema & Fontana, 1983 e Dalbello, 1995).

De um modo geral, secadores de fluxos cruzados em lotes e contínuos, e ainda secadores de camada fixa e silos secadores, apresentam os seguintes comportamentos:

- 1) O tempo de secagem diminui quando aumentamos a temperatura e fluxo de ar.*
- 2) A eficiência da secagem diminui quando aumentamos o fluxo de ar mas geralmente aumenta com a temperatura do ar de secagem.*
- 3) A taxa de secagem aumenta com o aumento da temperatura e o fluxo de ar.*
- 4) O gradiente de umidade na coluna aumenta com o aumento da temperatura e da espessura de grãos, mas decresce com o aumento do fluxo de ar.*
- 5) O gasto com combustível aumenta com o fluxo de ar e geralmente decresce com a temperatura do ar de secagem.*

6) O produto próximo à entrada de ar aquecido no secador está sujeito a um maior aumento da temperatura, por isso, seca mais rápido mas em contrapartida sofre maiores danos em sua qualidade final.

Secador de fluxo cruzado estático – leito fixo

A secagem estacionária tem sido usada mais no nível de propriedade quando a finalidade é a produção de grãos, porém para a produção de sementes em escala agroindustrial, seu emprego tem aumentado em função de dificuldades circunstanciais encontradas para enquadrar o processo produtivo dentro das técnicas de operação de secadores do modo contínuo ou do modo intermitente (Carvalho, 1994).

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

Na secagem em lotes com camada fixa, a eficiência térmica pode ser alta, mas, nesse caso, a camada de grãos deve ser de pelo menos 50 centímetros de altura. Para camadas profundas, a umidade desuniforme é um fator limitante. O usuário deverá optar pela economia de energia ou pela uniformidade de secagem, com uma camada menos profunda.

Para grãos sensíveis, o uso de altas temperaturas ou mesmo as baixas temperaturas durante tempo de exposição prolongado (arroz, trigo, feijão, etc.), recomenda-se diminuir a altura da camada de secagem para um intervalo situado entre 20 à 25 centímetros.

O sistema consiste, basicamente, de uma câmara para

acomodar o produto durante a secagem que pode ser construída de chapas metálicas, madeira ou alvenaria. Recomenda-se construir preferencialmente de alvenaria, para evitar perda excessiva de calor e para dar maior durabilidade ao sistema. Além do corpo do secador, uma fornalha e um dispositivo mecânico (ventilador) para forçar o ar quente a atravessar a massa de grãos completam o sistema. Na Figura 5, pode-se observar o secador de leito fixo da Linha Bem Feita no município de Venâncio Aires/RS, que é utilizado de forma associativa por 22 agricultores.



Figura 5. Vista geral do secador de leito fixo.

Segundo Silva & Lacerda Filho (1984), a forma geométrica da câmara de secagem poderá ser a mais variada possível. Entretanto, a forma circular apresenta uma melhor uniformidade de distribuição de ar e, conseqüentemente, uma secagem mais uniforme.

A câmara de secagem é constituída basicamente de duas partes:

- Câmara "plenum",
- Câmara do produto.

A altura total da câmara do produto mais a câmara “plenum”, deverá ser igual ou maior de 100 centímetros, sendo 50 centímetros de altura mínima para a câmara “plenum” (espaço entre o piso e a chapa perfurada). A chapa perfurada, deve ter os furos de magnitude tal que não permita a passagem dos grãos que se quer secar, sendo altamente recomenda a utilização de tela tipo “ottis” em substituição a chapa perfurada, em virtude de possuir maior área vazada, o que favorece a passagem do ar e também pela facilidade em proceder a limpeza ocasionada pela obstrução das aberturas por 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 fornalha e a câmara de secagem para forçar o ar quente através da massa de grãos ou do produto que se quer secar. Recomenda-se uma vazão mínima de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 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 de um elemento de transição (difusor). A abertura deste 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.

O aquecimento do ar comumente é realizado por fornalha a lenha do tipo fogo direto, isto é, a totalidade dos gases de combustão é misturada com o ar ambiente e succionada através do ventilador. O material usado na construção da fornalha consiste basicamente de: tijolos comuns, areia de barranco e terra, as quais se adiciona melaço de cana ou açúcar nas seguintes proporções: 18 litros de areia + 18 litros de terra + 2 litros de melaço ou 3 litros de açúcar. A adição de melaço ou açúcar tem

como finalidade diminuir o coeficiente de dilatação e evitar trincas, quando a fornalha atingir altas temperaturas. A espessura da parede da fornalha deve ser de dois tijolos, com o volume e área de grelha calculadas em função da vazão total do ventilador e a diferença de temperatura (DT) entre a temperatura média regional do ar ambiente e a temperatura desejada no ar de secagem.

Para impedir a injeção de partículas (cinzas e fagulhas) na câmara de secagem e evitar riscos de incêndio, um ciclone cilíndrico, com parede de espessura de um tijolo, é colocado entre a fornalha e o duto de conexão do ventilador. No ciclone, os gases de combustão e o ar ambiente entram tangencialmente nas partes inferior e superior do ciclone. Além disso, na parte inferior do ciclone existe uma pequena entrada para limpeza, que deverá estar sempre fechada, quando em funcionamento. O ciclone, à semelhança da fornalha, deve ser construído com a mesma argamassa (Silva & Lacerda Filho, 1984).

Algumas regras básicas devem ser seguidas na operação dos secadores de leito fixo:

- 1) Proceder a limpeza das chapas perfuradas e da câmara "plenum" antes de colocar o produto no secador. Estas providências são necessárias para desobstruir o leito de secagem, melhorando a circulação de ar na câmara do produto, e evitando os riscos de incêndio no secador.*
- 2) O produto deve estar bem nivelado no secador, o que elimina a formação de caminhos preferenciais do ar no leito de secagem, proporcionando uma maior uniformidade na umidade final do produto.*
- 3) O produto deve ser colocado no secador somente após verificar-se o perfeito aquecimento da fornalha, este procedimento evita a contaminação dos grãos com **fumaça**, principalmente tratando-se de secagem de produto com alto teor de umidade*

inicial.

4) *Antes de descarregar o produto no final da secagem, deve-se resfriar a massa de grãos fechando-se a entrada do ar quente da fornalha e abrindo-se as entradas do ar ambiente. Quando não for necessário descarregar o secador imediatamente, pode-se proceder o resfriamento no dia seguinte, este procedimento evita choques térmicos no produto, diminuindo o aparecimento de excesso de grãos trincados, além de aproveitar o calor sensível contido nos grãos para uma retirada de umidade adicional.*

5) *A secagem pode ser encerrada quando o produto estiver com 14 % de umidade expressa em base úmida (bu), através da retirada de amostra da camada superficial e utilizando-se um determinador de umidade (método indireto), ou ainda, quando não se dispõe de equipamento, de forma expedita, quando a camada superficial estiver com temperatura próxima a camada intermediária da massa de grãos.*

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

- *É bem mais barato do que outros tipos de secadores;*

- *Seca qualquer tipo de produto, mesmo não trilhado;*

- *Funciona bem com carga incompleta;*

- *É de fácil manutenção.*

Como desvantagens os mesmos autores citam:

- *Revolvimento manual⁷.*

- *Carga e descarga manuais.*

⁷ *Pode ser evitado aumentando-se o fluxo de ar e ao mesmo tempo que diminui-se a temperatura de secagem.*

Secador de fluxo cruzado dinâmico - intermitente

A secagem intermitente é semelhante à seca-aeração⁸, porém, com as duas primeiras etapas repetindo-se continuamente em menores intervalos de tempo, e o resfriamento no final da secagem (com o mesmo fluxo do ar aquecido) quando atingida a umidade desejada.

Os secadores intermitentes são muito difundidos no Brasil, por possuírem capacidade ampla desde 25 sacos até 1000 sacos por carga, principalmente para a secagem de café, de trigo, de arroz e mais recentemente na secagem de milho, de feijão e de soja.

Este secador pode ser classificado como de fluxos cruzados, porém, os grãos são submetidos à ação do ar aquecido durante intervalos regulares de tempo, intercalados por períodos sem aquecimento, denominados períodos de repouso ou equalização. A intermitência permite que ocorra o transporte de água do interior para a superfície do grão ou semente durante o período de repouso, reduzindo o gradiente de sua concentração no interior do produto (Villela, 1991).

Outra característica destes secadores intermitentes são as colunas de secagem que apresentam espessura reduzida em relação aos equipamentos de fluxos cruzados contínuos (espessura da camada aproximadamente 14 cm).

Na Figura 6, pode-se observar um exemplo de secador intermitente largamente utilizado em nosso país.

No Brasil foram desenvolvidos vários trabalhos com secagem intermitente para arroz (produto com mercado exigente), em virtude principalmente do baixo rendimento de engenho quando

⁸ *A descrição do processo de seca-aeração é apresentado na secagem a corpo inteiro (secadores contínuos de fluxo misto).*

secado de modo incorreto e poucos em milho, soja e trigo, (Rosa, 1966; Miranda, 1978; Lacerda Filho et al., 1982; Luz, 1986; Faroni et al., 1986-1987; Nogueira, 1991; Villela, 1991; Campos et al., 1992 e Zimmer et al., 1992).

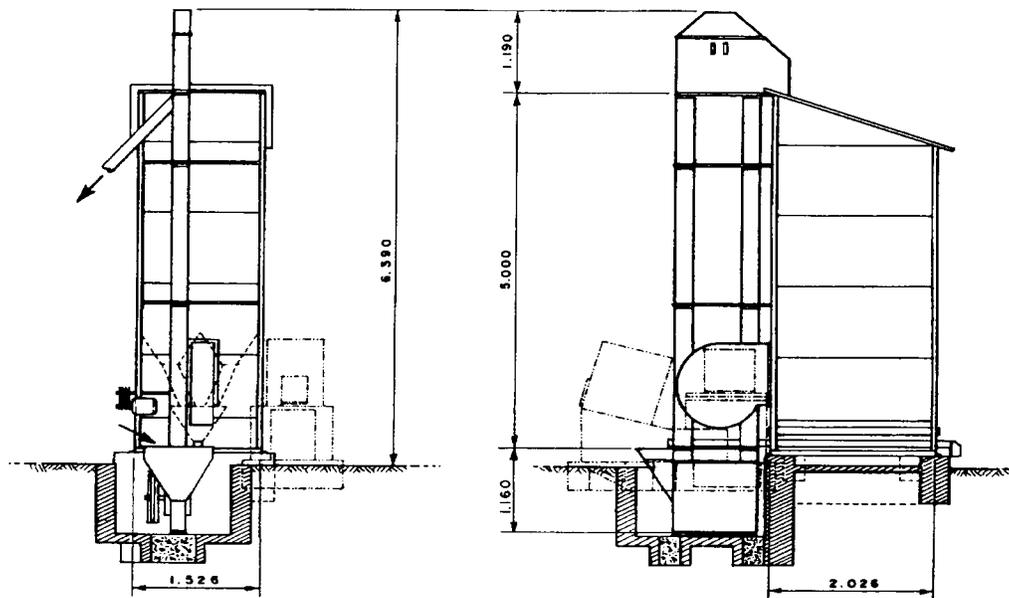


Figura 6. *Secador intermitente, modelo 93 BL, com capacidade de carga de 9000 litros. Fonte: CASP, s.d.*

A pequena quantidade de trabalhos com milho e trigo, pode ser explicada pelos seguintes pontos:

- *O milho é usado largamente como fonte energética para rações (suínos e aves principalmente); sendo assim, o produto teoricamente pode sofrer um tratamento no pré-processamento menos cuidadoso do que aquele destinado à indústria alimentícia (por exemplo, para extração de amido).*
- *A utilização em larga escala do trigo importado (de alta qualidade), que prevalece até os dias de hoje, conduz a um*

baixo nível de exigência do trigo nacional quanto a sua qualidade junto aos moinhos, e conseqüentemente aos consumidores finais (donas de casa, padarias, indústria de massas, etc.).

No trabalho de Rosa (1966), foi utilizado um secador intermitente marca Pampeiro (modelo 90), com capacidade de carga de 4.500 kg. Este secador se caracteriza por possuir uma pequena câmara de secagem e uma contínua circulação do produto. Nessa circulação os grãos sofrem ação do calor de forma intermitente por pequenos espaços de tempo (menos de 1 minuto), enquanto passam na câmara de secagem. Esses períodos são intercalados com grandes espaços de tempo (10 minutos) em que os grãos estão apenas circulando dentro do secador, até passarem novamente na câmara de secagem⁹.

Nas Tabelas 8 e 9, são apresentados respectivamente os efeitos da secagem de trigo, em função da temperatura e do tempo de exposição sobre a germinação, e os resultados das análises de germinação de amostras de semente que foi secada nas diversas temperaturas e após diversos períodos de armazenagem.

Pode-se observar na Tabela 8, que não houve perda imediata de germinação quando foram utilizadas as temperaturas de 40 a 90 °C. A 100 °C houve uma acentuada e progressiva perda do poder germinativo.

⁹ *Estes secadores não são mais fabricados sendo que para os equipamentos atuais foi ampliada a câmara de secagem e aumentado o tempo de residência, com a finalidade de melhorar o rendimento do equipamento (secar maior quantidade por hora).*

Tabela 8. Efeito das temperaturas de secagem no secador sobre a germinação de trigo (germens normais)

Temperatura de secagem (°C)	Germinação antes da secagem (%)	Germinação após um período de secagem (h)									
		0:30	1:00	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	3:00	3:30	
40	91	91	93	94	-	91	-	93	91	91	
50	91	88	89	91	-	92	-	90	92	-	
60	89	87	89	89	-	85	-	-	-	-	
70	97	93	92	92	-	91	-	90	-	-	
80	91	93	92	94	-	91	-	93	-	-	
90	93	94	89	89	-	88	88	-	-	-	
100	91	84	71	68	59	-	-	-	-	-	

Fonte: Rosa, 1966.

Tabela 9. Comparação dos resultados de germinação de semente de trigo seco às temperaturas de 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 °C, e da mesma semente após diversos períodos de armazenagem.

Temperatura de secagem (°C)	Dia em que foi realizada a secagem	Germinação ao sair do secador (%)	Germinação após armazenagem		
			28/5	12/6	26/6
40	16/4	91	90	-	86
50	23/4	92	90	-	89
60	24/4	85	89	-	91
70	7/5	90	91	-	93
80	8/5	93	91	-	91
90	31/5	88	-	76	76
100	28/5	59	-	22	43

Fonte: Rosa, 1966.

Na Tabela 8, não foi verificado efeito posterior sobre a germinação nos lotes de sementes em que a temperatura de secagem esteve compreendida entre 40 e 80 °C. Quando o trigo foi seco a 90 e 100 °C verificou-se um efeito retardado e prejudicial da temperatura de secagem sobre a germinação. Nas análises de germinação de amostras da semente que foi seca a 100 °C e efetuadas logo após o término da secagem, Rosa (1966) verificou um aumento progressivo da percentagem de plântulas anormais, em maior número quanto maior foi o tempo de secagem. A anormalidade apresentada se caracterizou, essencialmente, pela falta de desenvolvimento do sistema radicular¹⁰.

Embora o trabalho mostrado acima avalie somente o trigo como semente, este é de grande utilidade, pois segundo alguns autores como Kreyger (1972), Staudt & Ziegler (1973) e Nellist (1982), que demonstraram que pode-se relacionar os danos causados por excesso de temperatura no grão de trigo destinado a semente com o grão destinado à moagem.

A relação da perda de poder germinativo do trigo semente torna-se mais estreita em relação às perdas de qualidade do produto destinado à moagem, principalmente, quanto maior for a temperatura de secagem e a umidade do grão.

É importante voltar a salientar que para este tipo de secador, de fluxos cruzados, ocorre na câmara de secagem um gradi-

¹⁰ *Este fato pode ser caracterizado em virtude da radícula (primórdio da raiz) estar mais próxima à região de inserção do grão na espiga e portanto mais sujeita a ação do calor.*

ente de temperatura e umidade, conforme observa-se na Tabela 5, e portanto, não é suficiente a determinação da temperatura média dos grãos como temperatura ideal de secagem, no caso 77 °C, uma vez que a temperatura variou de 51 °C até 102 °C. A exata determinação da temperatura atingida pela massa de grãos que se encontram mais próximos ao ar de entrada deve ser estabelecida, sob pena de estarmos desqualificando o produto para o uso final pré-estabelecido.

Na Figura 7, pode-se observar um dos modelos de secador intermitente utilizado em nosso país para a secagem principalmente de arroz. Embora não tenha câmara para o resfriamento dos grãos, o que não lhe confere a característica de secador contínuo, este secador trabalha com temperaturas elevadas e alto rendimento de grãos inteiros. Além do arroz, pode secar outros produtos, o que o torna versátil e de grande utilidade para produtores de porte médio, ou mesmo pequenos produtores se operados de forma comunitária. Este secador, como todos o demais secadores intermitentes, tem no controle da temperatura da massa de grãos o seu ponto forte, a descarga permite aumentar ou diminuir a velocidade de descida dos grãos, de tal forma que a temperatura da massa não atinja e, especialmente, para o caso do arroz 42 °C, condição para se obter a máxima eficácia a mínimo custo e com o máximo rendimento de grãos inteiros (Weber, 1995).

Segundo Dusi et al. (1998), podemos apontar as seguintes vantagens dos secadores intermitentes:

- A carga e a descarga são mecanizadas;*
- O revolvimento é mecânico;*
- Alternância de secagem com descanso.*

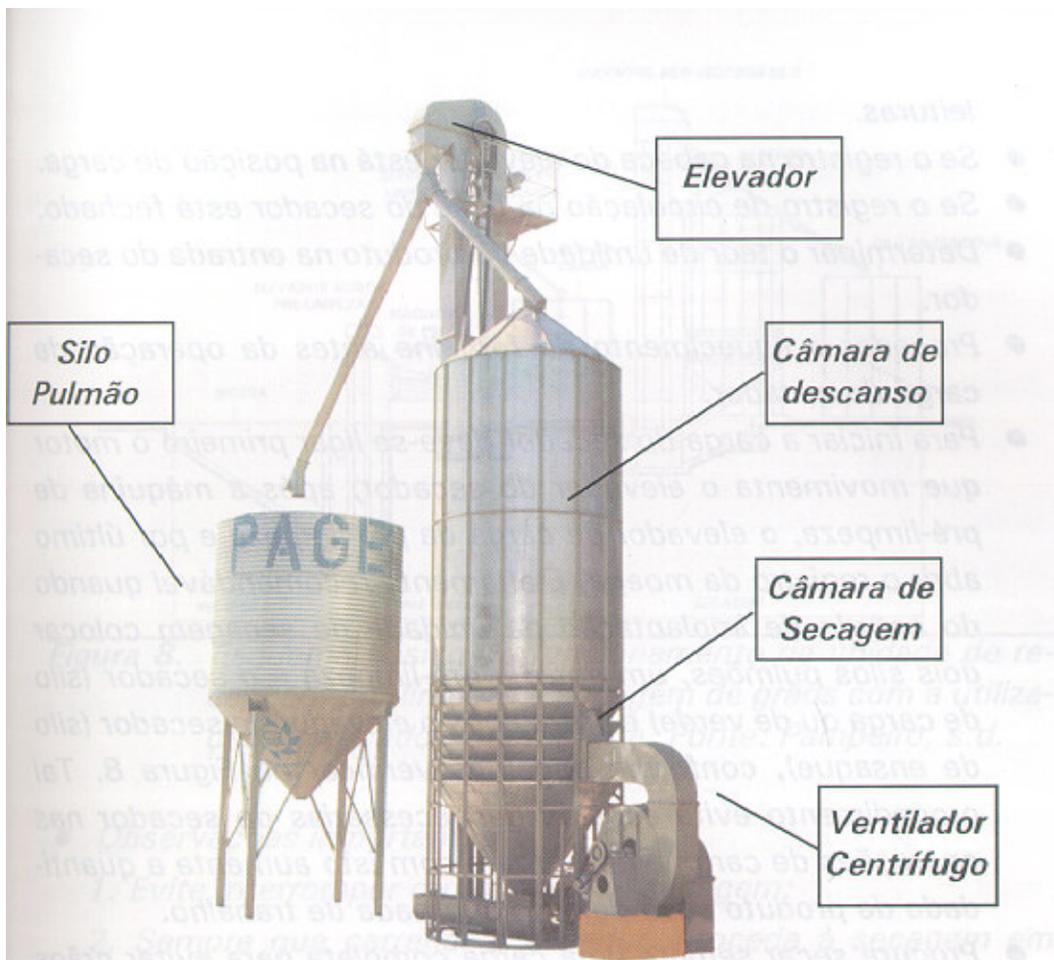


Figura 7. Secador de fluxo cruzado dinâmico (intermitente). Fonte: Pagé, s.d.

Como desvantagens os mesmos autores citam:

- Custo elevado do equipamento;
- Só seca produtos debulhados;
- Só funciona bem com carga completa.

A seguir são apresentadas as operações básicas necessárias para a realização da secagem com este tipo de equipamento (Dusi et al., 1998):

- Verificar se todas as correias estão na posição normal e esticadas.
- Se os termômetros não estão danificados para evitar falsas

leituras.

- *Se o registro na cabeça do elevador está na posição de carga.*
- *Se o registro de circulação na base do secador está fechado.*
- *Determinar o teor de umidade do produto na entrada do secador.*
- *Proceder o aquecimento da fornalha antes da operação de carga do secador.*
- *Para iniciar a carga do secador deve-se ligar primeiro o motor que movimenta o elevador do secador, após a máquina de pré-limpeza, o elevador de carga da pré-limpeza e por último abrir o registro da moega. É altamente recomendável quando do estudo de implantação da unidade de secagem colocar dois silos pulmões, um entre a pré-limpeza e o secador (silo de carga ou de verde) e outro após o elevador do secador (silo de ensaque), conforme podemos verificar na Figura 8. Tal procedimento evita esperas desnecessárias do secador nas operações de carga e descarga e com isto aumenta a quantidade de produto seco durante a jornada de trabalho.*
- *Procure secar sempre uma carga completa para evitar grãos quebrados, principalmente no caso do feijão e nunca trabalhe com a carga menor do que a mínima recomendada pelo fabricante do equipamento.*
- *A fornalha deve ser carregada continuamente com lenha seca e rachada. Não alternar momentos de muita lenha com momentos de pouca lenha na fornalha. Suspenda o abastecimento de lenha na fornalha quando o teor de umidade estiver 1 % acima da desejada.*
- *Abaixar lentamente a temperatura para resfriar o produto, evitando soprar ar frio sobre o produto quente pois isto causará trincas nos grãos.*

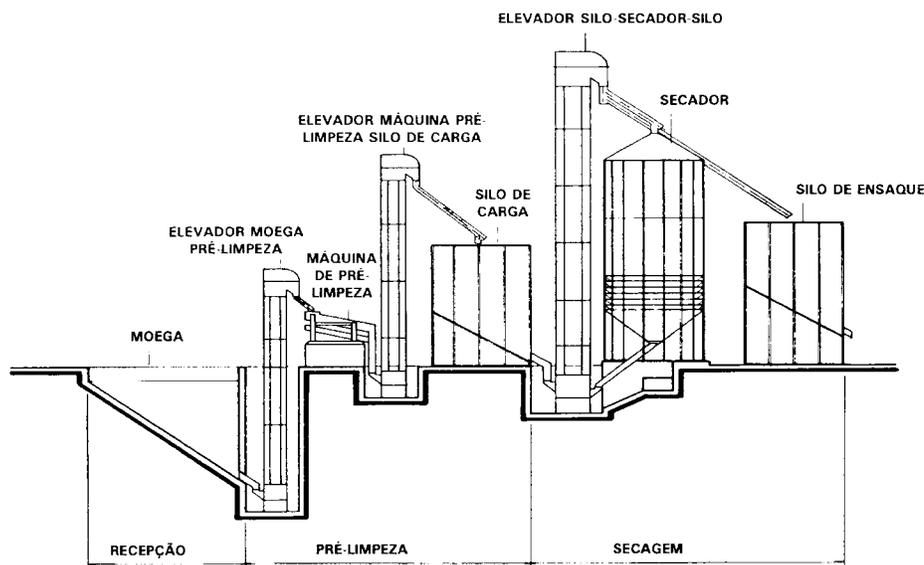


Figura 8. Esquema básico de funcionamento de unidade de recepção, pré-limpeza e secagem de grãos com a utilização de secador intermitente. Fonte: Pampeiro, s.d.

● **Observações importantes:**

1. Evite interromper o processo de secagem;
2. Sempre que carregar o secador, proceda à secagem em seguida. Não deixe para secar de um dia para outro;
3. Sempre que por algum motivo tiver que parar o secador, cancele o fornecimento de calor da fornalha para o secador, alguns secadores possuem válvulas de desvio. Em equipamentos de menor porte pode-se retirar a lenha da câmara de combustão;
4. Após a secagem, verifique se não existem impurezas presas nas bandejas da câmara de secagem. Faça limpeza periodicamente para evitar os riscos de incêndio;
5. Se ocorrer um embuchamento, desligue imediatamente o motor do elevador e feche imediatamente o registro de entrada de grãos. Retire todo o produto do pé do elevador,

ligue novamente o motor e abra em seguida o registro. Os embuchamentos são causados principalmente pelo excesso de carga nas canecas, correias frouxas, canecas frouxas, parada de energia elétrica, queda de fase e excesso de impurezas, entre outras.

Secador de fluxo misto - contínuo

Os secadores de fluxo misto - contínuo são máquinas de grande produção se comparados a outros tipos de secadores, segundo Nellist (1982), estes equipamentos são mais eficientes e usam na ordem de 40 % menos ar do que os de fluxo cruzado, além disto, sendo a camada de grãos menos espessa, necessitam de ventiladores com menor pressão estática o que permite a opção de operar com ventiladores do tipo axial.

Quanto à fonte calorífica podem ser:

- ***A fogo direto***, quando o calor gerado na fornalha é misturado ao ar ambiente e lançado diretamente na massa de grãos.

- ***A fogo indireto***, onde pode-se encontrar dois processos mais freqüentemente utilizados:

- a) *quando o calor gerado é utilizado para aquecer água produzindo vapor ou água quente sob pressão, que em geral passa por um sistema misto, ou seja, radiadores por onde passa o ar que demanda à parte interna do secador e um trocador de calor constituído de uma tubulação, distribuída internamente, que tem por finalidade aquecer diretamente o produto;*

- b) *quando o calor gerado nas fornalhas passa por trocadores de calor - radiadores ou tubos de troca - que aquecem o ar que vai passar pela massa de grãos.*

Descrição do equipamento

Na Figura 9 tem-se uma visão geral de um secador contínuo de fluxo misto, onde observa-se, o ventilador do tipo axial (1), os difusores de ar (2) e o sistema de descarga (3).

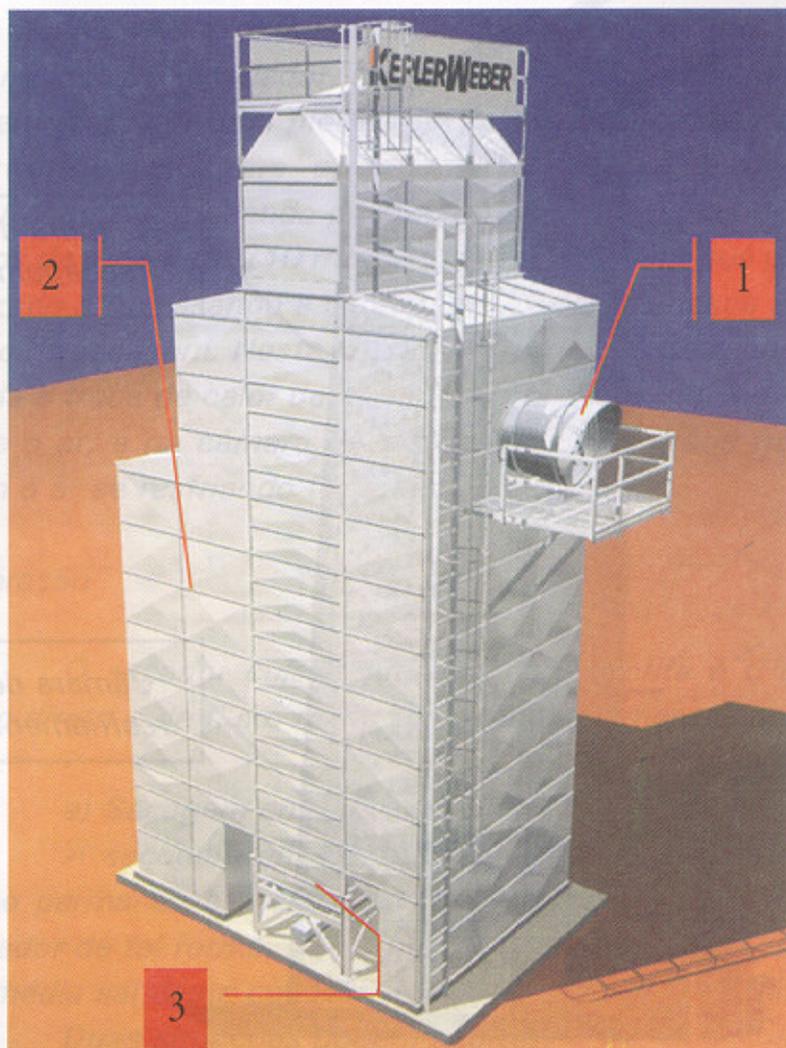


Figura 9. Secador contínuo de fluxo misto. Fonte: Kepler Weber, 1999.

O equipamento é dotado de uma torre de secagem (Figura 10), e nela se processa a secagem e o resfriamento dos grãos, normalmente de forma contínua. A torre possui na parte superior a câmara de secagem e na inferior a câmara de resfriamento.

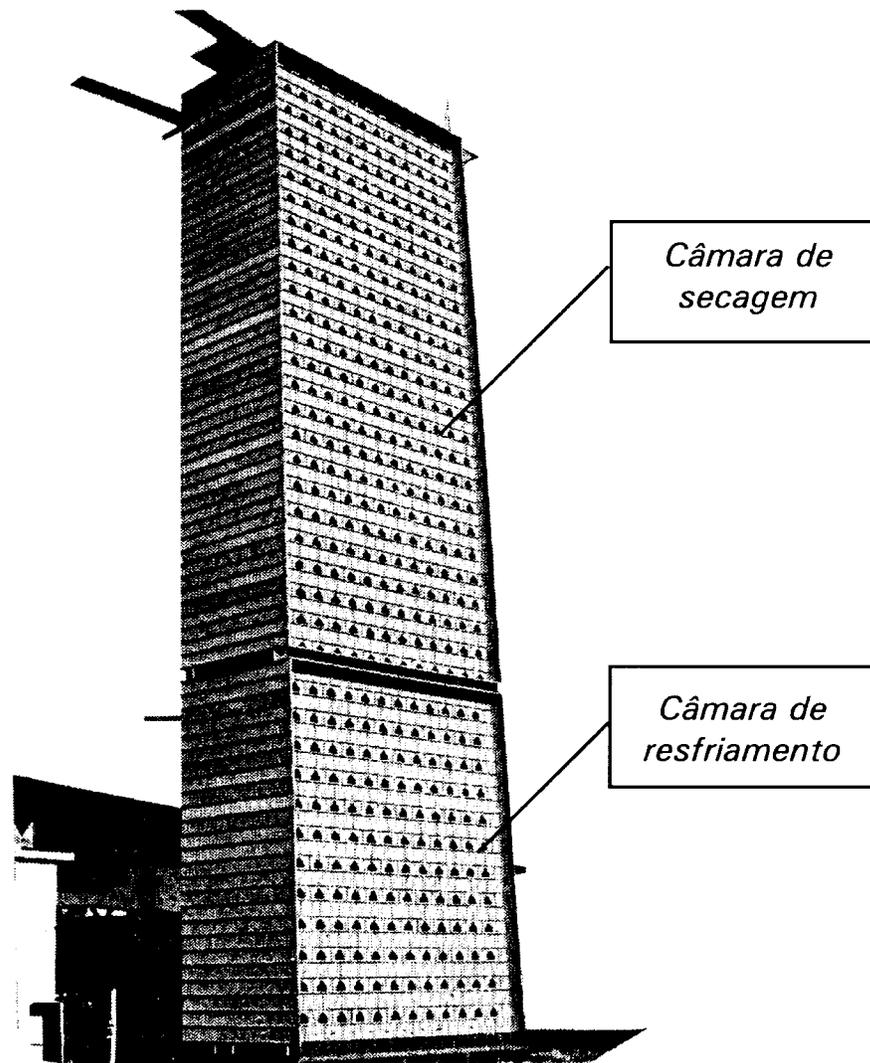


Figura 10. Torre de secagem com os diferentes componentes.
Fonte: Kepler Weber, s.d.

O sistema construtivo da torre de secagem permite que o ar aquecido pela fornalha e succionado pelo ventilador, entre por uma fileira de calhas (dutos), e saia pelas fileiras imediatamente superior e inferior, pois as mesmas possuem espelhos, sendo abertos os do lado da fornalha, numa fileira, e fechados do lado do ventilador; na fileira imediatamente superior e inferior, a posição dos espelhos é inversa, fechados no lado da fornalha e abertos no lado do ventilador. Este sistema de montagem permite ao ar, entrando por uma fileira horizontal de dutos, sair do secador descendo, sistema concorrente, ou subindo, sistema contracorrente, fazendo com que o ar atravesse uma camada de grãos da ordem de 210 mm. Admite-se também que ocorra fluxo cruzado atravessando a camada de grãos que desce ao longo da torre de secagem. Neste percurso, na câmara de secagem, é que se dá a troca de calor do ar para os grãos e a umidade dos grãos para o ar, e na câmara de resfriamento, os grãos trocam calor com o ar se resfriando (Weber, 1995).

Operação

O secador cuja operação será descrita é o contínuo a fogo direto e de fluxo misto (os mais comumente encontrados).

a) Secagem em fluxo contínuo

A secagem em fluxo contínuo é aquela em que há um fluxo permanente e contínuo de produto entrando e saindo do secador de tal forma, que o produto que entra com certa umidade média sai deste com uma umidade média mais baixa.

Duas situações podem ocorrer:

- 1. Produtos com baixo teor de umidade excedente.*
- 2. Produtos com alto teor de umidade excedente.*

No primeiro caso, em geral é suficiente passar o produto pelo secador uma única vez para deixá-lo com o teor de umidade

desejado.

Já no segundo caso, quando a umidade inicial do produto é muito elevada, pode ser necessário passar o produto pelo secador mais de uma vez ou adotar uma das seguintes alternativas:

Primeira alternativa: secar parcialmente o produto, armazenando-o com umidade acima da desejada para, oportunamente, secá-lo em definitivo.

Segunda alternativa: secar o produto reduzindo a cadência de forma a mantê-lo durante mais tempo no estágio de aquecimento, fazendo passar, assim, maior quantidade de ar seco e quente pelo produto. Neste caso poderão surgir dificuldades para o resfriamento da massa de grãos visto que, quando o produto passar pelo estágio de resfriamento do secador, estará com temperatura mais elevada e como já não tem excesso de vapor d'água perderá calor mais dificilmente.

Na maioria dos secadores contínuos o estágio de resfriamento corresponde a aproximadamente um terço da altura da coluna do secador, o que poderá não ser suficiente para resfriar um produto grandemente aquecido.

É boa prática observar-se que o produto à saída do secador tenha uma temperatura de no máximo 6 à 8 °C acima da temperatura ambiente.

b) Secagem intermitente em secadores contínuos

A secagem intermitente, também chamada de secagem em lotes, caracteriza-se por ser um processo em que o produto é submetido a períodos, nos quais recebe fluxo de ar aquecido, intercalados por períodos de repouso ou de equalização. Para que isto seja possível o produto deverá circular em circuito fechado, ou seja, passar por aquecimento e logo após por um período de repouso ou equalização e novamente retornar ao aquecimento e assim, tantas vezes quantas forem necessárias até que o produto

esteja com 1,5 ou 2,0 % de umidade acima da umidade final desejada; esta umidade remanescente será retirada durante o resfriamento.

Completada a secagem, o produto passará por resfriamento que poderá ser a "corpo inteiro" (resfriamento rápido), ou apenas no estágio que foi o de aquecimento (resfriamento lento); a escolha do método de resfriamento dependerá do tipo de produto, por exemplo, para o arroz é recomendável resfriamento lento.

É interessante observar que os secadores contínuos devem ser convenientemente manejados para possibilitar que se realize este processo.

Como a maioria dos secadores contínuos possui um único ventilador, que aspira simultaneamente o ar do estágio de aquecimento e do de resfriamento, sugere-se que seja suprimido o fluxo de ar no estágio de resfriamento, passando o mesmo a funcionar como câmara de equalização quando da secagem em lotes. Esta prática fará com que haja muito maior fluxo de ar no estágio de aquecimento aumentando consideravelmente a eficiência do secador, neste caso deve ser redobrada a atenção, pois com o aumento do fluxo e portanto da velocidade do ar em determinado setor do secador poderá ocorrer aquecimento demasiado da massa de grãos.

c) Secagem a corpo inteiro

Em alguns processos de secagem como, por exemplo, o de seca-aeração o resfriamento da massa de grãos é feito por aeração forçada no interior de um silo. Nestas condições é possível e também muito conveniente que se utilize toda a coluna do secador (secção de aquecimento mais secção de resfriamento) como coluna de secagem aumentando-se, desta forma, o rendimento do secador. A tecnologia chamada seca-aeração

(dryeration), foi desenvolvida em meados da década de 60, com a finalidade de reduzir a quebra e aumentar a qualidade dos grãos secados, (Sabbah et al., 1972 e Gustafson et al., 1978), e também no caso do arroz, o rendimento de engenho (Steffe et al., 1979). Este método consta de três etapas:

a) *Rápida secagem com ar quente, deixando o produto 2 ou 3 pontos percentuais de umidade acima da umidade final desejada;*

b) *Descanso (**tempering**) do produto sem o uso de fluxo de ar durante um tempo estabelecido;*

c) *Resfriamento do grão lentamente com baixo fluxo de ar para remover a umidade restante (2 a 3 pontos percentuais) utilizando o calor sensível contido no grão.*

Segundo Puzzi (1986), a massa de grãos quentes é retirada do secador com um teor de umidade mais elevado que o teor final desejado e, logo após, é transportado para um silo equipado com sistema de aeração, onde os grãos permanecem em “descanso” entre 4 a 6 horas. Os grãos quentes, durante esta fase, transpiram e a umidade existente na parte interna do grão migra para a superfície, onde ela pode ser facilmente evaporada.

Por outro lado, quando se está secando produtos com altos teores de umidade (acima dos 26 %) mesmo que não se caracterize a seca-aeração o processo pode ser utilizado visando aumentar a capacidade de secagem e fazendo-se o resfriamento, posteriormente, retornando o produto ao secador apenas para resfriá-lo.

Na Figura 11 pode-se observar, um secador de fluxo misto contínuo onde mostra-se a coluna de secagem e resfriamento transformada em coluna de secagem somente.

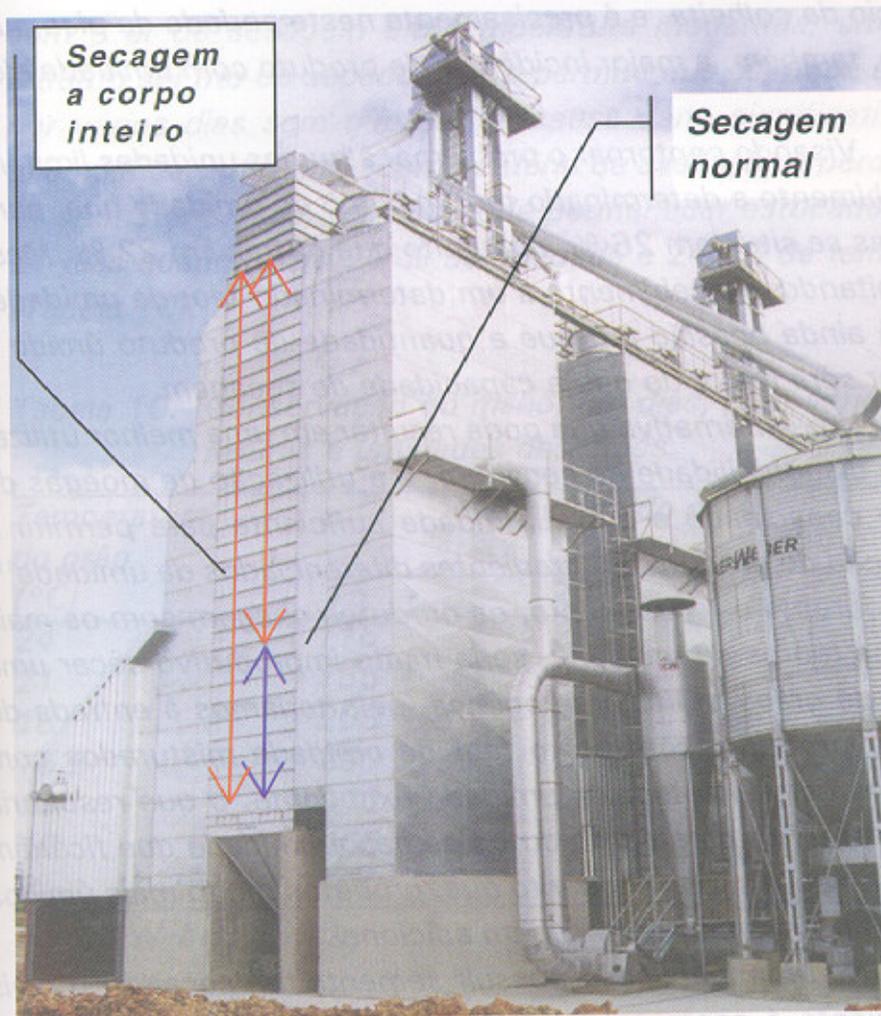


Figura 11. Secador de fluxos mistos contínuo onde observa-se a secagem normal e a secagem a corpo inteiro.

Ar quente ↔ Ar frio. ↔ Fonte: Kepler Weber, 1999.

Cadência de recebimento / cadência de secagem

Nas Unidades Armazenadoras chamadas de Coletoras, as que recebem produtos diretamente das lavouras, ocorre um aumento da demanda de serviços principalmente após alguns dias

do início da colheita, e é precisamente neste período de pico que ocorre, também, a maior incidência de produto com umidade elevada.

Visando contornar o problema, algumas unidades limitam o recebimento a determinado teor máximo de umidade que, para algumas se situa em 26 %, enquanto que outras em 22 %. Mesmo limitando o recebimento a um determinado teor de umidade, haverá ainda ocasião em que a quantidade de produto úmido a receber será maior do que a capacidade de secagem.

Uma alternativa que pode resultar em uma melhor utilização da disponibilidade de secagem, é a utilização de moegas de grande capacidade e em quantidade suficiente para permitir a separação do produto em gradientes diferenciados de umidade¹¹. Como durante o recebimento, os produtos chegam com os mais variados teores de umidade, seria muito improdutivo secar uma massa de grãos muito heterogênea, pois teríamos à entrada do secador produtos com baixo teor de umidade misturados com produtos com alto teor de umidade excedente, o que resultaria em um prejuízo para os produtos de baixa umidade que ficariam extremamente secos enquanto que, produtos muito mais úmidos necessitariam ainda de secagem adicional.

Se uma instalação possuir somente um secador, o mais conveniente é secar completamente os produtos recebidos ao início da safra enquanto a demanda ainda é pequena. Já quando a demanda aumenta muito acima da capacidade diária de secagem, é o momento de mudar de procedimento e secar parcialmente a maior quantidade possível de produto estocando-o para fazê-lo retornar ao secador posteriormente.

Quando se faz uma secagem a plena cadência do secador

¹¹ Como sugestão: moega 1 – umidade até 17 %; moega 2 – de 18 a 22 %; moega 3 – acima de 23 %.

com o ar de secagem em temperatura moderada, em geral o produto sai frio do secador e isto permite que ele fique estocado por vários dias sem que se lhe cause dano significativo. Para exemplificar, utilizando como critério de avaliação a perda de 0,5 % de matéria seca, o milho pode permanecer estocado durante 21 dias quando com 20 % de umidade e 24 °C de temperatura (Tabela 10).

Tabela 10. Conservação do milho, em dias, para várias temperaturas e umidades dos grãos

Temperatura do grão (°C)	Umidade do grão (% bu)			
	15	20	25	30
24	116	21	4	2
21	155	21	5	3
18	208	22	8	5
15,5	260	27	10	6
13	330	35	12	8
10	466	48	17	10
2	1100	110	38	22

Fonte: Weber, 1995.

Considerações sobre Incêndios em Secadores

Há muitos fatores que podem determinar a ocorrência de incêndios em secadores, entre eles podemos citar:

- *Fornalhas mal dimensionadas ou com sistema “corta fogo” inadequado.*
- *Utilização de lenha com baixo poder calorífico, o que faz com que se mantenha a câmara de combustão excessivamente abastecida para a manutenção da temperatura ideal de secagem.*

- Ventiladores mal dimensionados que proporcionem fluxo de ar com pressão e vazão inadequadas.
- Operação inadequada do secador, por exemplo; operação com carga incompleta.
- Excesso de impurezas na massa de grãos.

*De todos os fatores apontados como determinantes de incêndios em secadores, a presença de **quantidade elevada de impurezas** na massa de grãos que demandam ao secador é o que ocorre com maior frequência. Estas impurezas, no caso da secagem de trigo, na sua maioria constituídas de pedaços do colmo, pontas da espiga, pedaços de barbantes ou de outros materiais, ficam presas sobre os cavaletes reduzindo o espaço livre por onde deve passar o produto.*

Principalmente nos secadores contínuos (de cavaletes) as impurezas podem amontoar-se se entrelaçando e acabando por localizar-se em algum ponto do secador. Isto poderá impedir o fluxo normal do produto fazendo com que parte deste, juntamente com as impurezas, estacione, criando um espaço vazio logo abaixo e recebendo, durante um tempo prolongado o ar quente e seco proveniente da fornalha. Deste modo o produto e as impurezas ali estacionados acabam por secar demasiadamente e acumular grande quantidade de calor elevando grandemente sua temperatura e chegando facilmente ao chamado ponto de fulgor. Para exemplificar; o ponto de fulgor para a madeira é de 150 °C e para a casca de arroz é de 155 °C.

Medidas preventivas e cuidados durante a secagem

- Estabelecer como rotina de trabalho a limpeza diária do secador, retirando de seu interior todas as impurezas que ficam acumuladas sobre os cavaletes.
- Utilizar lenha de boa qualidade e o mais homogênea possível

em suas dimensões.

- *Observar constantemente o secador verificando se não há fumaça na exaustão ou desprendimento de cheiro característico de produto queimado.*

Procedimentos em caso de incêndio

Quando se constata a presença de fogo no interior do secador, o procedimento mais adequado é:

- 1. Desligar o ventilador do secador.*
- 2. Fechar todas as entradas de ar do secador.*
- 3. Continuar com o fluxo normal de produto (abastecendo normalmente o secador).*
- 4. Verificar à saída do secador o momento em que começa a surgir produto queimado desviando-o para o descarte até que não saia mais.*
- 5. Continuar a operar, ainda sem ventilação, agora em circuito fechado, verificando o produto na saída até que se esteja seguro de que não há mais focos de produto queimado ou queimando no interior do secador.*
- 6. Esvaziar o secador e proceder a uma rigorosa limpeza e inspeção para avaliar a causa do incêndio.*
- 7. Uma vez estando certo de que não há mais problemas, prosseguir normalmente com a secagem.*

Observação: *Jamais se deve tentar extinguir com água um incêndio em secador, pois este procedimento poderá inutilizar o equipamento que estando grandemente aquecido receberia um choque térmico que certamente deformaria a maioria de seus componentes.*

Energia na Secagem

Consumo específico de calor, de energia e calor latente de vaporização

A eficiência energética pode ser definida como a razão entre a energia requerida para evaporar a água do produto e a quantidade de energia fornecida ao sistema de secagem. A quantidade de energia fornecida ao processo de secagem inclui a energia para o aquecimento do ar, além da potência elétrica utilizada no sistema. Considerando-se que na secagem com temperaturas elevadas, o consumo de energia pode chegar a 60 % ou mais do total energético gasto com a produção e o processamento dos produtos agrícolas, deve-se procurar soluções que aumentem a eficiência energética dos secadores (Silva et al., 1992a).

A quantidade de energia requerida para evaporar uma determinada quantidade de água (no Sistema Internacional utiliza-se MJ.kg^{-1} de água evaporada), é denominada por Nellist (1982), como consumo específico de calor ou, se o consumo de energia elétrica é incluída, chama-se de consumo específico de energia. O calor latente de vaporização da água (consumo específico de calor) é de $2,45 \text{ MJ.kg}^{-1}$ (585 Kcal.kg^{-1}) e o consumo específico de energia para secadores de grãos situa-se na faixa de $3,5$ a 10 MJ.kg^{-1} (836 a $2.388 \text{ Kcal.kg}^{-1}$). Em geral, o consumo específico de energia na secagem de grãos diminui com o aumento da temperatura do ar de secagem e com o aumento da umidade relativa do ar de exaustão (Brooker et al., 1992).

Intimamente ligado à secagem dos produtos agrícolas, em termos de necessidade de energia requerida, está o calor latente de vaporização, que dependendo do produto a ser secado, do seu conteúdo de umidade e do tipo de equipamento utilizado

vai demandar uma menor ou maior quantidade energética¹². Várias pesquisas foram conduzidas no passado especialmente as de Gallaher (1951), Johnson & Dale (1954) e Thompson & Shedd (1954) com a finalidade de melhor predizer a relação energética produto/ água livre.

Recentemente, Cenkowski et al. (1992) desenvolveram uma metodologia para calcular a relação hfg^*/hfg usando a fórmula desenvolvida por Gallaher (1951), porém acrescentando coeficientes pré-estabelecidos para cada produto (Tabela 11).

$$\frac{hfg^*}{hfg} = [1 + a \exp(bM)]$$

onde:

hfg^*/hfg = relação entre calor latente do produto e da água livre,

a e b = coeficientes.

Nas Figuras 12 e 13 pode-se observar as curvas que representam a relação entre o calor latente de vaporização da água contida nos grãos e o calor latente de vaporização da água livre para as faixas de conteúdo de umidade dos grãos especificados na Tabela 11. Para teores de umidade dos grãos acima de 0,166 existe uma pequena diferença entre o calor de vaporização da água contida nos grãos, hfg^* , e o da água livre, hfg . Observa-se uma diferença significativa na relação hfg^*/hfg entre o trigo duro (*T. durum* L.) e os trigos "hard" e "soft" (*T. aestivum* L.) (Cenkowski et al., 1992).

¹² Segundo Lasseran (1988), o calor latente de vaporização (entalpia de vaporização) diminui quando a temperatura aumenta, mas em temperatura constante somente sofre acréscimo quando o conteúdo de umidade for menor que 15 %.

Tabela 11. Coeficientes a e b para equação (3) dos grãos com maior importância econômica

Grão	Coeficientes		Faixa de conteúdo de umidade
	a	b	
Cevada	1,0	-19,9	$0,08 \leq M \leq 0,18$
Feijão	0,5	-16,0	$0,08 \leq M \leq 0,22$
Milho	2,1	-17,0	$0,09 \leq M \leq 0,19$
Arroz	3,2	-21,7	$0,09 \leq M \leq 0,12$
Sorgo	1,2	-19,6	$0,09 \leq M \leq 0,19$
Soja	0,4	-13,9	$0,06 \leq M \leq 0,21$
Trigo, "durum"	0,8	-18,1	$0,09 \leq M \leq 0,21$
Trigo, "soft"	1,7	-17,6	$0,09 \leq M \leq 0,17$
Trigo, "hard"	3,9	-23,6	$0,09 \leq M \leq 0,21$
Trigo, (Gallaher 1951)	23,0	-40,0	$0,09 \leq M \leq 0,15$

Fonte: Cenkowski et al., 1992.

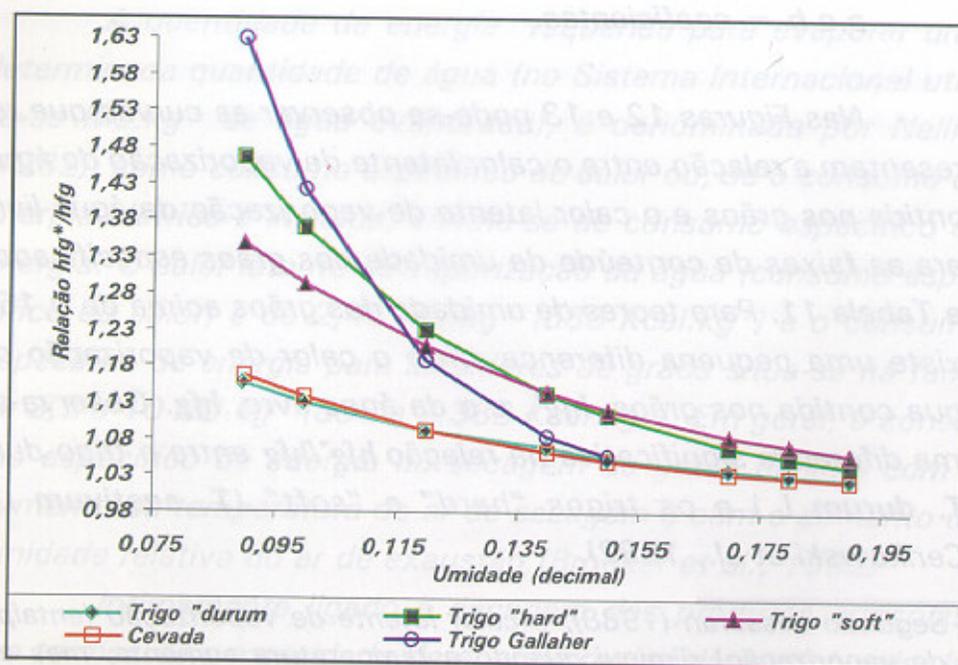


Figura 12. Relação entre hfg^*/hfg para o trigo "durum", trigo "hard", trigo "soft", cevada e trigo Gallaher.

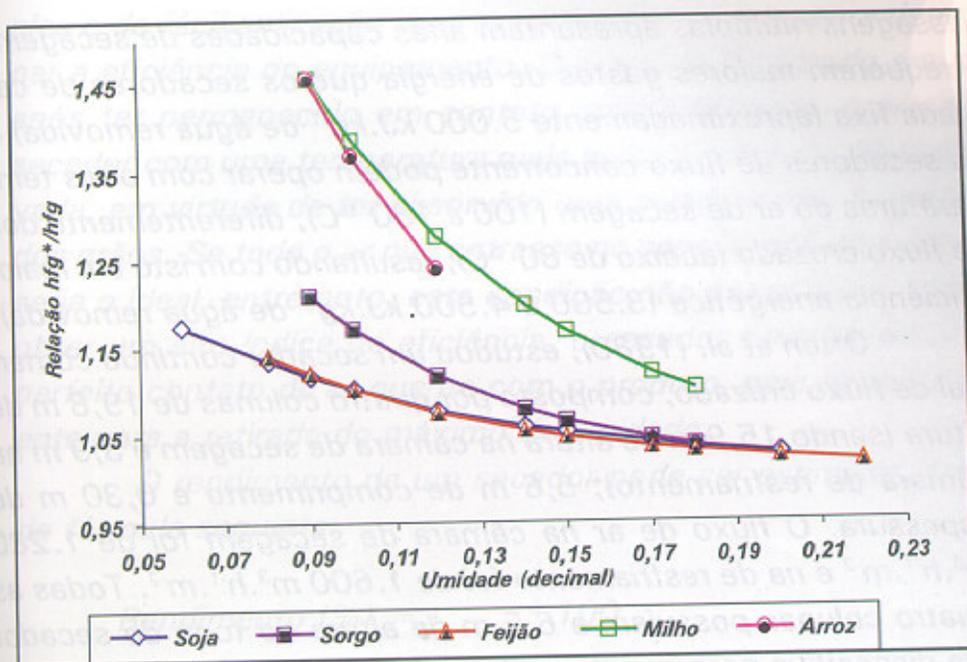


Figura 13. Relação entre hfg^*/hfg para a soja, sorgo, feijão, milho e arroz.

Consumo energético e rendimento térmico

Segundo Nellist (1982), secadores de fluxo cruzado convencionais usam entre 5.000 e 9.000 kJ de energia calorífica por quilo de água removida. Este mesmo equipamento funcionando com parte do ar de exaustão em recirculação, usa 42 % menos energia que o modelo convencional (Stevens & Thompson, 1976).

Bakker-Arkema & Fontana (1983), realizaram estudo comparando métodos de secagem para arroz (secagem em camada fixa em silos, em secadores de fluxo cruzado e concorrentes). A conclusão do estudo aponta que a secagem em camada fixa em silos é um sistema de baixa capacidade e alta eficiência energética (3.000 kJ.kg^{-1} de água removida); secadores de fluxo cruzado de

passagens múltiplas apresentam altas capacidades de secagem, e requerem maiores gastos de energia que os secadores de camada fixa (aproximadamente 5.000 kJ.kg⁻¹ de água removida) e os secadores de fluxo concorrente podem operar com altas temperaturas do ar de secagem (100 a 180 °C), diferentemente dos de fluxo cruzado (abaixo de 80 °C), resultando com isto em maior eficiência energética (3.500 a 4.500 kJ.kg⁻¹ de água removida).

Otten et al. (1980), estudou um secador contínuo comercial de fluxo cruzado, composto por quatro colunas de 19,8 m de altura (sendo 15,9 m de altura na câmara de secagem e 3,9 m na câmara de resfriamento); 5,6 m de comprimento e 0,30 m de espessura. O fluxo de ar na câmara de secagem foi de 1.280 m³.h⁻¹.m⁻² e na de resfriamento foi de 1.600 m³.h⁻¹.m⁻². Todas as quatro colunas possuíam a 6,5 m de altura do topo do secador um dispositivo para inverter o fluxo de grãos. Foram realizados 8 testes de secagem de milho, com umidade média inicial e final respectivamente de 26 e 14,6 %, sendo o consumo específico de energia médio de 5.801 kJ.kg⁻¹.

Segundo Loewer et al. (1994), as despesas da secagem incluem o custo da mão-de-obra, eletricidade, combustível e equipamento. Destes itens, a mão-de-obra é o menor gasto na maioria dos sistemas de secagem, e o combustível usado para aquecer o ar é o maior.

Silva et al. (1992b), avaliando o desempenho de um secador de fluxos cruzados, intermitente e com reversão do fluxo de ar na secagem de milho, para temperaturas de 60, 80 e 100 °C, verificou que:

- *As eficiências energéticas para as temperaturas de 60, 80 e 100 °C foram de 6.638, 6.432 e 5.608 kJ.kg⁻¹ de água evaporada, respectivamente;*

- *As maiores parcelas para o custo de secagem foram devidas à mão-de-obra e aos custos fixos (90 % do total).*

Puzzi (1986) apresenta uma metodologia bastante sim-

ples 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 uma temperatura mais baixa e umidade relativa elevada, em virtude de ter absorvido uma certa porção de umidade dos grãos. Se todo o ar que entrasse no secador saísse saturado, seria o ideal, entretanto, esta condição não é verificada. Para se obter um alto índice de eficiência, o secador deve propiciar um perfeito contato de ar quente com o produto, pelo tempo suficiente para a retirada do máximo de umidade.

O rendimento de um secador pode ser estimado através da fórmula seguinte:

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Te} - \text{Ts}}{\text{Te} - \text{Ta}} * 100$$

onde:

$$\frac{\text{Te} - \text{Ts}}{\text{Te} - \text{Ta}}$$

Ta = Temperatura de ar ambiente;

Te = Temperatura do ar quente na entrada da câmara de secagem;

Ts = Temperatura do ar secante na saída do secador.

Fica evidenciado que o ar secante deve sair do secador com o máximo de umidade e a sua temperatura de saída (Ts) deve ser mínima para um bom rendimento.

Segundo Tosello (1946) apud Puzzi (1986), experiências realizadas com café, com a temperatura de 63 °C, em um secador de carga, demonstraram que, no início da secagem, a temperatura de saída foi de 35 °C, passou em seguida para 45 °C e no final da operação, a temperatura chegou a 50 °C. Quanto menor o teor de umidade dos grãos, dentro do secador, maior será a temperatura de saída e, conseqüentemente, menor o rendimento térmico da secagem.

Fornalhas e combustíveis

*Nos anos 50 e 60 , no Brasil, a grande maioria dos secadores agrícolas utilizavam fornalhas à lenha e outros resíduos orgânicos, como a casca de arroz. Para manter estes equipamentos em funcionamento, os grandes produtores de grãos, especialmente as Cooperativas, implantaram grandes áreas de reflorestamento. Nos anos 60 e 70, passou-se a utilizar em larga escala as fornalhas a óleo, tipo **fuel oil**, que apresentavam vantagens sobre a lenha, especialmente no que diz respeito ao manuseio, regulação e manutenção estabilizada da temperatura, aos estoques do combustível e preservavam as nossas já poucas reservas florestais. Com a crise do petróleo em nível mundial, entretanto, o uso dos derivados do petróleo se tornaram proibidos para uso da secagem agrícola, no ano de 1981. Voltaram as fornalhas a lenha que permanecem, na sua grande maioria, até a atualidade. Recentemente o óleo voltou a ser liberado, oportunidade em que muitas unidades armazenadoras e especialmente indústrias, voltaram a usar óleo, agora utilizando a própria fornalha a lenha como câmara de combustão e diminuindo sensivelmente o custo desta adaptação (Weber, 1995).*

*Por estas razões, no custo de secagem, a mão-de-obra assume um papel importante, pois há necessidade de constante abastecimento, operação realizada manualmente para as fornalhas a lenha, além do monitoramento das entradas de ar secundário (abrindo ou fechando) para manter a uniformidade da temperatura. Nas fornalhas a lenha, a temperatura na câmara de queima deve estar acima de 500 °C para evitar a contaminação do produto com fagulhas (risco de incêndio) e **fumaça** (provocada pela queima incompleta do combustível). Infelizmente existem poucos estudos das fornalhas utilizadas em secadores comerciais em nosso país. A Fundação de Ciência e Tecnologia, CIENTEC (1979), estudou uma fornalha a lenha da CASP S.A., sendo que as características do ensaio pode-se observar abaixo:*

- *Ar ambiente*
 - ◆ *16,8 °C (temperatura média do termômetro de Bulbo Seco);*
 - ◆ *12,6 °C (temperatura média do termômetro de Bulbo Úmido);*
- *Pressão atmosférica média - 703 mmHg;*
- *Ar primário - vazão 292,2 m³.h⁻¹;*
- *Vazão dos gases de secagem - 19.937 m³.h⁻¹;*
- *Temperatura média dos gases de secagem - 103 ± 2 °C;*
- *Consumo de combustível - 132,9 kg.h⁻¹;*
- *Poder calorífico inferior do combustível, em base como recebido (14,7 % de umidade) - 15.830 kJ.kg⁻¹ (3.781 kcal.kg⁻¹);*
- *Quantidade de calor utilizável para secagem - 1.705.007 kJ.h⁻¹ (407.234 Kcal.h⁻¹);*
- *Quantidade de calor desenvolvido pelo combustível - 2.103.846 kJ.h⁻¹ (502.495 Kcal.h⁻¹);*
- *Eficiência térmica do equipamento - 81 %;*
- *Concentração de materiais particulados ou de substâncias absorvidas pelo ar de secagem (Tabela 12).*

Tabela 12. *Concentração de materiais particulados ou de substâncias absorvidas pelo ar de secagem.*

<i>Material</i>	<i>Concentração no ar quente (mg.m⁻³)</i>
<i>Sólidos totais</i>	<i>76,9</i>
<i>Cinza</i>	<i>16,3</i>
<i>Alcatrão</i>	<i>Isento</i>
<i>Enxofre</i>	<i>traços</i>

Fonte: CIENTEC, 1979.

Na fornalha em questão os gases de combustão não apresentaram contaminações importantes por metais (Chumbo, Cromo, Níquel, etc.).

Segundo Weber (1995), os combustíveis gasosos podem-se tornar uma opção interessante, pois oferecem simplicidade no sistema, fácil operação e excelente controle da temperatura, favorecendo em muito a automação da secagem. O gás GLP, derivado do petróleo, também adequado, está fora de uso pelo seu preço elevado, entretanto, o gás natural é altamente indicado e econômico. Em países como a Bolívia, Argentina, em vários locais da Europa e nos EUA, estes queimadores já são ou podem vir a ser largamente utilizados, mesmo porque são países que dispõem de gás natural. No Brasil, tão logo se conclua a ligação por gasoduto com os países produtores, Bolívia e Argentina, especialmente as regiões agrícolas ao longo do gasoduto deverão contar com as fornalhas a gás. O GLP, hoje mais caro, poderá vir a ser uma alternativa econômica na secagem de produtos agrícolas, uma vez que se prevê uma diminuição de consumo em virtude da entrada do gás natural, havendo excedentes o preço deverá ser menor.

Outra questão muito importante é a qualidade da combustão. A lenha, é um combustível sólido de queima relativamente difícil, libera durante o processo de combustão quantidade muito grande de produtos químicos, alguns de periculosidade comprovada. Estes produtos, entre os quais se encontram famílias inteiras de aromáticos poli-nucleados (APN) contaminam os produtos durante a secagem. Outros componentes conferem cor e cheiro aos produtos secados, numa segura indicação de contaminação química. Os APN são famílias de produtos com características mutagênicas e carcinogênicas comprovadas. É quase impossível evitar a contaminação dos produtos com fuligem e cinzas

volantes, que às vezes causam incêndios em secadores (Wongtschowski, 1998).

Combustíveis gasosos de cadeia curta, produzem muito menos APN do que os fuel oils ou combustíveis sólidos. A fuligem, que são partículas de carbono com superfície ativa, absorvem grandes quantidades dos outros produtos da combustão incluindo os APN (Winkler, 1977 apud Hutt et al. , 1978).

*Segundo Hutt et al. (1978), que pesquisaram a contaminação dos grãos durante a secagem utilizando aquecimento direto, concluíram não ocorrer um aumento importante na contaminação dos produtos com APN carcinogênicos, quando da utilização de combustíveis gasosos (Propano e gás industrial), o mesmo ocorrendo para fornalhas de **fuel oil** de chama azul. Já as fornalhas de **fuel oil** de chama amarela causam aumentos significativos de APN nos produtos principalmente quando se tem um aumento significativo de contaminações por fuligem nos grãos.*

Observa-se em vários secadores comerciais fabricados em nosso país o incorreto dimensionamento das fornalhas a lenha, principalmente no tocante ao volume (excesso de velocidade do ar na fornalha) e a área de grelha e; quando as dimensões estão corretas, a inadequada operação principalmente com o uso de lenha verde ou úmida ou a falta de regularidade no abastecimento da câmara de combustão. Estes fatores vem acompanhados como tem-se observado, por altas contaminações dos grãos com fumaça, sendo detectado inclusive a rejeição das rações produzidas com milho contaminado, pela combustão imperfeita, pelos suínos, aves e gado leiteiro. Estes fatos tenderão a ser agravados na medida em que orientar-se a colheita antecipada dos produtos agrícolas com altos teores de umidade.

*Outra questão importante, é que, com a combustão imperfeita das fornalhas a lenha, ocorre uma produção de **gases***

ácidos o que vem ocasionando uma diminuição da vida útil dos equipamentos pela excessiva corrosão.

Tanto secadores a fogo direto quanto a fogo indireto podem ter como fonte calorífica os mais diversos combustíveis, a saber:

- *Sólidos:*
 - ◆ *lenha;*
 - ◆ *casca de arroz;*
 - ◆ *Briquetes compactados de polpa de madeira ou de resíduos agrícolas;*
 - ◆ *Carvão e outros.*

- *Líquidos:*
 - ◆ *Óleo diesel;*
 - ◆ *Óleo BPF (baixo ponto de fusão);*
 - ◆ *Óleo APF (alto ponto de fusão);*
 - ◆ *Óleo OC4 (óleo combustível tipo 4).*

- *Gasosos:*
 - ◆ *gás natural;*
 - ◆ *gás GLP.*

Há ainda secadores contínuos cuja fonte calorífica é a energia elétrica, onde o ar é aquecido através de resistências e que são utilizados em situações especiais em locais onde há sobra de energia de muito baixo custo, sendo que neste caso não ocorre contaminação dos produtos semelhante aos secadores com vapor ou água quente e mesmo trocadores de calor.

Na Figura 14, observa-se o desenho de uma fornalha própria para queima de lenha e casca em forma de “L”.

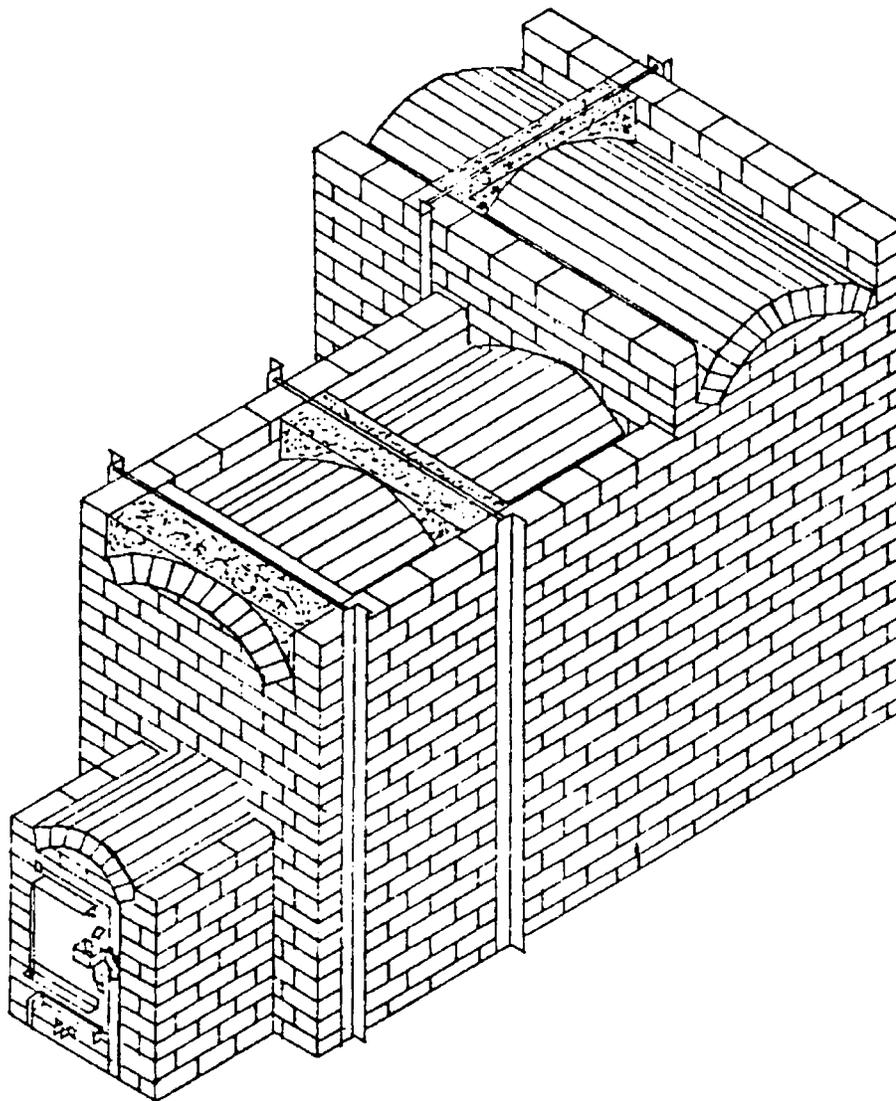


Figura 14. *Fornalha para queima de lenha e casca. Fonte: Pampeiro, s.d.*

Na Tabela 13, pode-se observar diversos combustíveis e respectivos valores de poder calorífico inferior.

Tabela 13. Diversos combustíveis e poder calorífico inferior (PCI)

<i>Combustível</i>	<i>poder calorífico (kj.kg⁻¹)</i>
<i>Cabreuva</i>	<i>17.396</i>
<i>Canelinha</i>	<i>16.789</i>
<i>Cedro</i>	<i>16.705</i>
<i>Eucaliptos</i>	<i>11.723-13.983</i>
<i>Figueira</i>	<i>14.193</i>
<i>Ipê</i>	<i>16.830</i>
<i>Jacarandá</i>	<i>15.826</i>
<i>Jequitibá</i>	<i>16.663</i>
<i>Peroba</i>	<i>15.574</i>
<i>Pinho</i>	<i>13.816</i>
<i>Bagaço de cana</i>	<i>9.210</i>
<i>Serragem (pinho)</i>	<i>10.467</i>
<i>Casca de arroz</i>	<i>13.816</i>
<i>Casca de tanino úmido</i>	<i>3.349</i>
<i>Palha de trigo</i>	<i>13.397</i>
<i>Palha de amendoim</i>	<i>12.979</i>
<i>Gás – glp</i>	<i>4.6054</i>
<i>Gás natural</i>	<i>37.262-74.525</i>
<i>Fuel – oil</i>	<i>40.193</i>
<i>Carvão</i>	<i>18.421</i>

Fonte: Weber, 1995.

Temperaturas de Secagem e Qualidade dos Grãos

Qualidade dos grãos utilizados como ração animal

Segundo Brooker et al. (1992), em virtude das altas temperaturas de secagem desnaturarem as proteínas do milho e ainda conduzirem à gelatinização do amido, é esperado que rumi-

nantes e não ruminantes reajam diferentemente a rações compostas por milho seco a altas temperaturas. Na Tabela 14 pode-se observar os efeitos das altas temperaturas de secagem (60 a 127 °C) de milho e seus efeitos na performance de novilhos de engorda.

Tabela 14. *Efeito da temperatura do ar de secagem em milho e o seu valor nutritivo para ruminantes (novilhos de engorda) (21-24 % para 14 % de umidade)*

	Temperatura de secagem			
	60	82	104	127
Ganho médio diário (kg)	1,75	1,81	1,82	1,80
Consumo diário de milho (kg)	10,34	10,14	10,13	9,79
Conversão alimentar	5,93	5,61	5,57	5,47

Fonte: Overfield et al., 1976 apud Brooker et al., 1992.

O ganho de peso médio diário, consumo diário de alimento, e conversão alimentar dos novilhos de engorda não são significativamente diferentes para as quatro temperaturas estudadas.

Em trabalho realizado por Rivera et al. (1978), com não ruminantes (ratos), foi utilizado milho seco a várias temperaturas (Tabela 15), em estufa com ar forçado. As temperaturas foram de 25 °C (secagem natural), 50 °C (42 horas com umidade final de 7 %), 50 °C (10 horas), 75 °C (4 horas), 100 °C (3 horas) e 125 °C (2,5 horas). As umidades finais do produto ficaram em torno de 11-12 %, com exceção do milho seco a 50 °C por 42 horas.

Tabela 15. Efeito da temperatura do ar de secagem no valor nutritivo para não ruminantes (ratos), do milho seco de 28 % para 11-12 %

	Temperaturas de secagem (°C)					
	25	50 ¹	50 ²	75	100	125
Ganho de peso total (g)	45,2	28,1	40,1	37,9	28,9	9,4
Consumo de ração (g)	202	228	267	272	257	195
Conversão alimentar	4,47	8,11	6,66	7,18	8,89	20,74

Fonte: Rivera et al., 1978.

¹ 50 °C (42 horas - umidade final 7 %).

² 50 °C (10 horas - umidade final 11-12 %).

Fica evidente que a eficiência alimentar e por conseguinte o valor nutritivo do milho foi afetado com temperaturas a partir de 50 °C.

Jensen et al. (1960), utilizou um secador portátil de lote (capacidade de 13,21 m³ e fornalha a gás propano), para secar milho e confeccionar rações a serem utilizadas em quatro experimentos envolvendo 48 suínos com 2 semanas de idade e 48 suínos em crescimento e terminação. Na Tabela 16 pode-se observar as temperaturas, as umidades (inicial e final) e o tempo de secagem.

Tabela 16. Temperatura, umidade e tempo de exposição na secagem artificial de milho

Temperatura do ar de secagem °C	Umidade inicial %	Umidade final %	Tempo de exposição a secagem artificial
60,0	21,1	11,5	2 horas 30 minutos
82,2	21,7	12,5	1 hora 27 minutos
104,4	21,3	12,6	0 hora 55 minutos

Fonte: Jensen et al., 1960.

Os resultados dos diversos tratamentos em relação ao ganho médio e eficiência alimentar não apresentaram diferenças significativas.

Semelhantes resultados obtiveram Nordstrom et al. (1971), quando utilizaram um secador de fluxo contínuo, com temperaturas variando de 49,82 e 116 °C, com o milho contendo 22 % de umidade inicial e sendo secado até 12 % de umidade final. No trabalho foram utilizados suínos recém desmamados e ratos. Os mesmos autores secaram pequenos lotes de milho Opaco-2 em camadas finas (1 grão de espessura), em uma estufa de ar forçado com temperaturas de 49, 116 e 182 °C. No milho seco a 182 °C foi marcante o escurecimento dos grãos bem como o cheiro de queimado. Ganhos médios de peso em ratos recém desmamados com dietas de milho (95 %) não contendo adição suplementar de proteína e após 28 dias foram 4,7; 4,7 e 2,0 g/dia para o milho seco a 49, 116 e 182 °C, respectivamente. Adicionando-se 0,3 % de L-Lisina na dieta baseada em milho seco a 182 °C, resulta em significativos ($P < 0.01$) incrementos no ganho (3,3 g.dia⁻¹). Este ganho no entanto é significativamente mais baixo do que os ganhos do milho seco a temperaturas mais baixas (49 e 116 °C), indicando com isto que outros nutrientes em adição a lisina são danificados quando o milho Opaco-2 é seco a 182 °C.

Pickett et al. (1963), estudou a secagem acelerada em milho utilizando um secador experimental (secador rotativo de tambor), com 15,24 cm de diâmetro e 304,8 cm de comprimento, sendo que os dados experimentais na secagem podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17. Temperatura do ar, temperatura do grão, umidade e tempo de secagem do milho

Temperatura do ar (°C)	Temperatura do grão (°C)		Umidade (%)		Tempo de secagem (min)	Umidade do grão usado nos ensaios (%)
	Inicial	Final	Inicial	Final		
260	8,3	101,7	21,8	16,7 ¹	5,85	11,5
371	8,3	110,0	21,5	17,3 ¹	3,38	11,1
482	14,2	133,3	22,0	15,8 ¹	2,45	10,3

Fonte: Pickett et al., 1963.

¹ A secagem foi completada, para uma armazenagem segura, através de ar ambiente forçado em um silo de pequeno porte.

Foram realizados ensaios durante 30 dias com suínos jovens, sendo que o milho foi utilizado na quantidade de 53 % da ração. Na Tabela 18 pode-se observar os resultados dos ensaios.

Tabela 18. Sumário dos resultados de alimentação de suínos jovens com milho exposto a altas temperaturas

	Temperaturas de secagem (°C)			
	260	371	482	Controle ¹
Média de peso inicial (kg)	4,81	4,99	4,85	4,35
Ganho médio diário (kg)	0,299	0,299	0,295	0,299
Ganho por kg de alimento (kg)	0,60	0,60	0,58	0,59
Consumo médio diário de alimento (kg)	0,499	0,499	0,512	0,508

Fonte: Pickett et al., 1963.

¹Secagem natural a campo.

Os resultados dos ensaios de nutrição indicam que não houve um decréscimo no valor nutritivo do milho durante a exposição a altas temperaturas. As diferenças dos tratamentos com a temperatura no ganho médio diário, ganho por kg de alimento e

consumo médio diário de alimento não foram estatisticamente significativos.

*Martins (1998), investigou a secagem intermitente com fluxo cruzado e altas temperaturas e sua influência na qualidade do trigo duro (*Triticum durum* L). Os tratamentos utilizados foram três temperaturas (80, 100 e 120 °C) e dois tempos de residência na câmara de secagem (5 e 10 minutos) e ainda uma secagem ao sol sobre lona. A matéria-prima utilizada foi o trigo duro IAC1002 sem qualidade para a indústria de farinha, conforme testes realizados (farinografia, alveografia, teste de panificação, teste de cozimento do macarrão, etc.). Os resultados indicaram que os tratamentos com temperaturas de secagem mais elevadas e maior tempo de residência na câmara de secagem, apresentam melhor rendimento térmico, menor tempo de secagem e conseqüentemente maior taxa de secagem e menor consumo específico de calor. Temperaturas do ar de secagem mais baixas e tempo de residência menor foram menos eficientes do que a secagem ao sol portanto desaconselhados para este tipo de equipamento. As secagens artificiais apresentaram taxas decrescentes de perda de umidade praticamente ao longo de todo o processo de secagem.*

O trigo seco foi avaliado ainda quanto a sua granulometria na moagem e na nutrição de frangos de corte machos sexados da linhagem ROSS na fase inicial de crescimento (1 aos 21 dias). A granulometria do trigo indicou que a secagem a altas temperaturas parece reduzir o Módulo de Finura (MF), o Diâmetro Geométrico Médio e altera o Índice de Uniformidade (IU), quando comparados com o produto seco ao sol.

Quanto à nutrição dos frangos notou-se que existe uma tendência a um maior peso final aos 21 dias ($P=0,20$) (Figura 15) para os tratamentos que utilizaram temperaturas mais altas e maior tempo de residência na câmara de secagem. A melhoria verificada no desempenho das aves, que consumiram ração onde

o trigo foi elevado a temperaturas mais altas, pode ser explicado provavelmente em virtude do aumento da digestibilidade dos carboidratos e solubilização parcial das proteínas, semelhante ao que ocorre no processo de peletização segundo Moran (1987) apud Penz & Maiorka (1996).

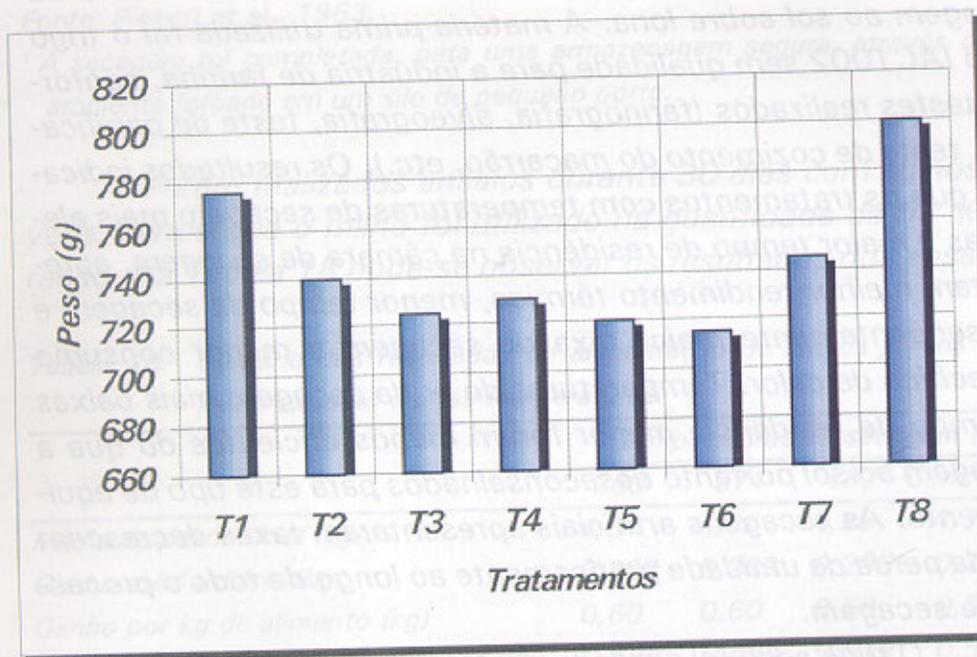


Figura 15. Peso dos frangos em gramas por tratamento aos 21 dias de idade ($P=0,20$) sendo T1, T2, e T3 rações confeccionadas a partir do trigo seco respectivamente à 120, 100, 80 °C e tempo de residência de 10 min; T4, T5 e T6 rações confeccionadas a partir do trigo seco respectivamente à 120, 100, 80 °C e tempo de residência de 5 min; T7 ração confeccionada com trigo seco ao sol e T8 ração confeccionada com trigo seco ao sol mais adição de 0,25 % de L-Lisina. Fonte: Martins, 1998.

Qualidade dos grãos utilizados na indústria

Se considerarmos o trigo como exemplo veremos que, ao mesmo tempo que a secagem incorreta está retirando água do grão, também está deteriorando a qualidade para panificação, ao alterar a estrutura molecular das proteínas que formam o gluten e as enzimas. Segundo Marsans (1987), temperaturas de secagem que levem o grão a mais de 55 °C produzem a desnaturação das proteínas mencionadas; temperaturas superiores (70 °C) desnaturam a α -amilase, e mais de 75 °C o fazem com a amilase (responsáveis pela transformação do amido em açúcares solúveis que servem de substrato às bactérias da levedura).

A medida que o conteúdo de umidade do grão é mais alto, os cuidados com a temperatura de secagem devem ser maiores. Maior umidade inicial no grão de trigo, menor temperatura de secagem.

O critério de qualidade normalmente utilizado para o trigo é o volume do pão produzido, as Tabelas 19 e 20 ilustram os efeitos da temperatura de secagem sobre vários parâmetros de avaliação.

As informações contidas nas Tabelas 19 e 20 indicam que a faixa de temperatura crítica para secagem de trigo com umidade entre 16-19 % está entre 70 e 80 °C. Com altos conteúdos de umidade a temperatura crítica fica abaixo de 70°C; e baixas umidades iniciais estaria acima de 80 °C.

Para os grãos destinados a sementes, a máxima temperatura de secagem depende do conteúdo inicial de umidade bem como do tempo que estes são mantidos a uma determinada temperatura. Na Tabela 21, pode-se observar o efeito que o conteúdo de umidade exerce sobre a máxima temperatura possível para realizar-se uma secagem segura; neste caso, é assumido que a semente é colocada em contato com o ar de secagem acima de uma hora de tempo total de exposição.

Tabela 19. *Influência da temperatura de secagem dos grãos no conteúdo de umidade, viabilidade, e volume do pão em trigo com 21,6 % de umidade inicial (bu)*

Temperatura do grão °C	Tempo de secagem (min)	Conteúdo de umidade (% bu)	Viabilidade (%)	Volume do pão (%)
60	0	21,6	99	100
	100	11,0	98	89
	250	7,3	99	90
70	0	21,6	99	100
	20	14,8	84	98
	60	10,7	86	82
80	0	21,6	99	100
	15	15,9	33	62
	40	10,7	9	54
90	0	21,6	90	100
	9	15,6	2	50
	20	11,8	1	47

Fonte: Wasserman & Mühlbauer, 1980 apud Brooker et al., 1992.

Tabela 20. *Influência do conteúdo inicial de umidade na umidade final, viabilidade e volume do pão de trigo seco a 80 °C*

Umidade inicial (% bu)	Tempo de secagem (min)	Conteúdo de umidade (% bu)	Viabilidade (%)	Volume do pão (%)
15,5	0	15,5	100	100
	10	12,5	100	91
	20	10,9	97	94
19,0	0	19,0	99	100
	6	15,9	67	81
	30	10,0	48	61
21,6	0	21,6	99	100
	15	15,9	33	62
	40	10,7	9	54

Fonte: Wasserman & Mühlbauer, 1980 apud Brooker et al., 1992.

Tabela 21. Efeito do conteúdo de umidade (% bu) e às máximas temperaturas admitidas dos grãos destinados à sementes¹.

Conteúdo de umidade (% bu)	Temperatura (°C) ²
18	67
20	65
22	63
24	61
26	59
28	57
30	55

Fonte: Nellist, 1978 apud Brooker et al., 1992.

¹ Assume-se que as sementes são mantidas nestas temperaturas por um longo período.

² Estas temperaturas são consideradas bem acima da faixa situada entre 38-43 °C, usualmente recomendada de forma mais conservadora pela maioria dos pesquisadores.

O efeito do tempo de exposição sobre a viabilidade da semente é ilustrado na Tabela 22, para uma umidade inicial em milho de 32 % (bu) e uma faixa de temperatura de secagem situada entre 40 e 75 °C.

Como observa-se na Tabela 22, a 65 °C o grão de milho com alto teor de umidade mantém a viabilidade próxima de 90 % aos 5 minutos; no entanto, após 10 minutos de exposição a viabilidade caiu abaixo de 20 %; desta maneira, sistemas de secagem que mantenham os grãos destinados a sementes em altas temperaturas por curtos períodos de tempo, são capazes de secar o produto sem afetar sua viabilidade.

Tabela 22. *Influência da temperatura de secagem sobre a viabilidade de sementes de milho com conteúdo de umidade de 32 % (bu)*

<i>Temperatura secagem (°C)</i>	<i>Tempo de secagem (min)</i>	<i>Viabilidade (%)</i>
75	0	95
	2,5	43
	5,0	5
	10,0	0
65	0	95
	2,5	93
	5,0	87
	10,0	18
40	0	95
	2,5	95
	5,0	95
	10,0	92

Fonte: Adaptado Brooker et al., 1992.

A armazenagem de soja secada com ar aquecido foi estudada por White et al.(1976) apud White et al (1979). Soja que sofreu processo de aquecimento na faixa de 24-74 °C foi armazenada com dois conteúdos de umidade (12 e 17 %) e três temperaturas (10, 21 e 32 °C). Foi notado o desenvolvimento de fungos muito mais rapidamente nas sementes estocadas com alto conteúdo de umidade e que haviam sido secas às mais altas temperaturas. Isto pode ser explicado pelo aumento do número de sementes com a casca rompida, bem como cotilédones partidos em função das altas temperaturas. A percentagem de sementes com casca rompida foi ao redor de 30 % com temperaturas de secagem de 24 °C contra 84 % quando secas a 74 °C.

Temperaturas elevadas na secagem não somente reduzem os níveis de germinação no início da armazenagem, mas afetam também o poder germinativo remanescente ao longo da armazenagem em comparação com a soja seca a temperaturas mais baixas. A percentagem de ácidos graxos livres tende a aumentar durante a estocagem em função da umidade, temperatura e tempo de armazenagem do produto. O aumento de grãos de soja trincados em virtude das altas temperaturas de secagem causam um maior desenvolvimento dos fungos o que geralmente corresponde a um aumento nos ácidos graxos livres, pois o metabolismo dos fungos incrementa a umidade e conseqüentemente a temperatura dos grãos.

Considerações Finais

Segundo Moechnig (1994), o propósito primordial da secagem é reduzir o conteúdo de umidade do grão para que não se venha a perdê-lo antes de sua utilização. Muitas combinações de tempo e temperatura secarão com segurança o grão com alto conteúdo de umidade antes que seja danificado pelo desenvolvimento de fungos. O tempo necessário varia de maneira inversa à temperatura empregada. A escolha da melhor combinação a ser utilizada dependerá de quanto grão deverá ser seco, do tipo de secador e do conteúdo de umidade do grão.

Os fatores que exercem grande influência na operação de secagem dos grãos são a temperatura e umidade do ar, o aumento da temperatura do ar no secador, o fluxo de ar, o conteúdo de umidade do grão, a temperatura do grão, a velocidade do grão no secador, o tipo de grão e o destino final (semente, consumo humano, consumo animal, etc.).

A temperatura e a umidade relativa do ar afetam o transporte de umidade e a capacidade de resfriamento do produ-

to no secador. A capacidade de transportar umidade aumenta conforme diminui a umidade relativa do ar e/ou aumento da temperatura do ar. Aproximadamente cada aumento de 11 °C na temperatura do ar de secagem, teoricamente, duplica sua capacidade de transportar umidade. Com temperaturas de secagem superiores a 43-48 °C, a umidade relativa do ar ambiente tem pouco efeito na secagem. Por isto, não existem problemas com a operação de secadores de alta temperatura durante os dias de chuva ou neblina.

As temperaturas do ar que se usam na secagem tem um efeito na eficiência, esta sempre deve ser superior a 82 °C e preferencialmente superior a 93 °C. Quanto mais alta a temperatura, mais eficiente será o processo de secagem. Os queimadores devem ter a capacidade suficiente para aquecer o ar ambiente a essas temperaturas durante o clima mais frio esperado durante a estação de secagem. De maneira ideal para um maior rendimento térmico do secador, deve-se usar as temperaturas mais altas com o grãos mais frios e úmidos, o que normalmente não é possível em virtude da necessidade da manutenção da qualidade do produto. Conforme aumenta a temperatura do grão e diminui o conteúdo de umidade, deve-se reduzir a temperatura do ar de secagem para evitar que as temperaturas dos grãos subam acima do níveis desejados, descritos anteriormente.

De um modo geral, os fluxos de ar mais utilizados estão entre 0,4 e 1,7 m³.s⁻¹.m⁻³ para os secadores de fluxo contínuo. Os fluxos maiores eliminam a umidade com maior rapidez, porém, a quantidade de vapor de água que se retira por unidade de volume de ar é menor que as quantidades extraídas com menores fluxos. Os fluxos de ar mais altos podem causar maior contaminação do ambiente, em virtude que o ar recolhe mais particulados conforme se move através da massa de grãos. Também ocorre um aumento das pressões estáticas através da coluna de secagem com fluxos de ar maiores.

O conteúdo de umidade do grão afeta o ritmo da secagem. Quanto mais alto for o conteúdo de umidade, esta evaporará com maior facilidade e a secagem será mais rápida. Em menores conteúdos de umidade, a água contida no grão deve sair do centro para a periferia para que se tenha uma maior taxa de evaporação e com isto, há uma diminuição na taxa de secagem em virtude desta ser dependente da velocidade de difusão da água no grão. Quando queremos secar demasiado rápido com menores conteúdos de umidade, existe uma tendência de aumentar a susceptibilidade de trincamento dos grãos.

A temperatura do grão deve ser um dos principais fatores limitantes na operação de secadores. Para a maior parte dos grãos, sua temperatura não deve ser superior a 40 °C quando destinados a sementes, 60 °C para os grãos utilizados em moinhos e 83 a 93 °C para os grãos destinados ao consumo animal. Durante o processo de secagem a temperatura dos grãos é consideravelmente mais baixa que a temperatura do ar de secagem, até que o grão esteja quase seco. Em geral, é necessário ao redor de 10 minutos para que o grão totalmente saturado de umidade, se aqueça na temperatura capaz de esfriar o ar de secagem. Para um ar de secagem com 93 °C, essa temperatura seria de 35 a 40 °C durante o início da secagem.

O fluxo de ar no secador afeta o tempo em que o grão pode ficar exposto ao ar de secagem. As temperaturas usadas nos secadores de alta temperatura poderiam secar o grão até 1 a 2 % de umidade, se esses estiverem expostos a elas por tempo suficiente. Existe uma relação geral entre o tamanho do grão e a dificuldade para a secagem. Por exemplo, o milho requer 60 % de tempo adicional para secar do que o trigo. As temperaturas máximas possíveis nos grãos também dependem do tipo, o trigo é mais tolerante as temperaturas mais altas que a aveia, milho e centeio nesta ordem.

Brooker et al.(1974) apud Cavariani (1996), enfatizam que temperaturas de secagem devem ter, como referência, a da massa de sementes; assim, valores situados entre 40,5 e 43,3 °C são considerados como máximos e, acima dos quais, danos físicos ou químicos podem ser gerados. No entanto, em função da diferença das temperaturas do ar insuflado e a da massa de sementes depender do tipo de secador, espécie considerada e resistência ao movimento do ar, torna-se necessário estabelecer o padrão de temperatura para cada tipo de secador e para cada espécie de grão.

Pelo exposto nesta publicação, verifica-se que a eficiência térmica dos secadores que operam com altas temperaturas, contrapõem-se aos conceitos mais modernos de qualidade exigidos atualmente pelo mercado de produtos agrícolas e portanto, recomenda-se muita cautela na determinação da temperatura possível de ser atingida pela massa de grãos. Existe uma urgente necessidade de estudar-se melhor os diferentes parâmetros que interferem na secagem dos equipamentos comerciais nacionais, uma vez que estes secadores são diversos daqueles em uso em outros países e nestes casos, às conclusões oriundas de trabalhos de pesquisa estrangeiros podem ter duvidosa aplicabilidade para as nossas condições, principalmente quando visa-se a manutenção da qualidade dos produtos colhidos.

Na Tabela 23 apresenta-se as temperaturas máximas recomendadas na secagem mecânica, em função dos produtos e destino final (alimentação ou sementes).

Tabela 23. Temperaturas máximas na massa de grãos durante a secagem

<i>Produto</i>	<i>Destino</i>	<i>Temperatura da massa de grãos (°C)</i>
Cereais		
Milho	Semente	44
	Amido	55
Arroz em casca	Alimentação animal	82
	Mais de 20 % de umidade	40
	Menos de 20 % de umidade	44
	Semente > 24 % umidade	44
	Semente < 24 % umidade	49
Trigo	Moagem	66
	Semente	44
Sorgo	Amido	60
	Alimentação animal	82
Leguminosas		
Soja	Semente	38
	Agroindústria	48
Feijão	Semente	38
	Alimentação	45
Amendoim	Semente	37

Fonte: Weber (1995).

Referências Bibliográficas

- ARNOSTI JUNIOR, S. *Análise da influência da velocidade e temperatura do fluido na secagem de sementes em leito deslizante e escoamentos cruzados*. São Carlos: UFSCar, 1993. 95p. *Dissertação Mestrado*.
- BAKKER-ARKEMA, F.W. *Selected aspects of crop processing and storage: a review*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.30, p.1-22, 1984.
- BAKKER-ARKEMA, F.W. *High-temperature grain drying*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE GRÃOS, 1993, Canela. *Anais...* Canela: CESA / FAO, 1994. p.163-176.
- BAKKER-ARKEMA, F.W; BALLINGER, M. *Stack-type crossflow grain dryer*. ASAE, St.Joseph: ASAE, 1983. 7p. (ASAE. Paper n.83-3015).
- BAKKER-ARKEMA, F.W.; FONTANA, C. *Comparison of rice drying systems*. Chicago: ASAE, 1983. 14p. (ASAE. Paper n.83-3532).
- BIAGI, J.D.; SILVA, L.O.N. da; MARTINS, R.R. *Importância da qualidade dos grãos na alimentação animal*. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL E SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIA DA PRODUÇÃO DE RAÇÕES, 1996, Campinas. *Anais...* Campinas: CBNA, 1996. p. 21-45.
- 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.

- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. *Drying and storage of grains and oilseeds*. New York: Van Nostrand Reinold, 1992. 450p.**
- CAMPOS, M.G.; HARA, T.; VIEIRA, M. Percentual de grãos inteiros no beneficiamento de arroz em casca, em relação à temperatura do ar e ao tempo de residência na câmara de secagem. *Engenharia Agrícola*, n.12, p.9-17, 1992.**
- CARVALHO, N.M. *A secagem de sementes*. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 165p.**
- CASP (Amparo, SP). *Secadores contínuos CA-8, CA-15 e CA-20*. Amparo, [19—]. 16p.**
- CASP (Amparo, SP). *Secadores CASP*. Amparo, [19—]. 65p.**
- CAVARIANI, C. *Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar*. Piracicaba: USP-ESALQ, 1996. 85p. Tese Doutorado.**
- CENKOWSKI, S.; JAYAS, D.S.; HAO, D. Latent heat of vaporization for selected foods and crops. *Canadian Agricultural Engineering*, v.34, n.3, p.281-286, July-Sept. 1992.**
- CHIEN, K.S.; MATTHES, R.K.; VERMA, B.P. Dimensional analysis of seed-moisture movement in deep-bed drying. *Transactions of the ASAE*, v.14, p.277-281, 1971.**
- CIENTEC (Porto Alegre, RS). *Laudo de estudo de fornalha a lenha de fogo direto da CASP S. A.* Porto Alegre, 1979. Não publicado.**

- DALBELLO, O. *Eficiência do processo de secagem do amendoim (Arachis hypogaea L.) e milho pipoca (Zea mays L.)*. Campinas: UNICAMP, 1995. 112p. Dissertação Mestrado.**
- 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).**
- EMATER-RS. *Pesquisa rural (estudo de situação)*. Porto Alegre, 1992. 223p. Não publicado.**
- FARONI, L.R.D.; HARA, T.; DALPASQUALE, V.A. *Determinação do rendimento do arroz (cultivar IR 841) após secagem às temperaturas de 50°, 60°, 70°C, para períodos de repouso de 30, 60, 120 e 180 minutos*. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, v.11/12, p.26-30, 1986/1987.**
- GALLAHER, G.L. *A method of determining the latent heat of agricultural crops*. *Agricultural Engineering*, v.32, n.1., p.34-38, Jan. 1951.**
- GUSTAFSON, R.J.; MOREY, R.V. *Moisture and quality variations across the column of a crossflow grain dryer*. *Transactions of the ASAE*, v.24, n.2, p.1621-1625, 1981.**
- GUSTAFSON, R.J.; MOREY, R.V.; CHRISTENSEN, C.M. et.al. *Quality changes during high-low temperature drying*. *Transactions of the ASAE*, v.21, p.162-168, 1978.**
- HALL, C.W. *Drying and storage of agricultural crops*. Westport: Avi Publishing Company, 1980. 381p.**

- HUTT, W.; MEIERING, A.; OELSCHLAGER, W. Grain contamination in drying with direct heating. **Canadian Agricultural Engineering**, v.20, n.2, p.103-107, Dec. 1978.
- JENSEN, A.H.; TERRILL, S.W.; BECKER, D.E. Nutritive value of corn dried at 140°, 180° and 220° fahrenheit for swine of different ages. **Journal of Animal Science**, v.19, p.629-638, 1960.
- JOHNSON, H.K.; DALE, A.C. Heat required to vaporize moisture. **Agricultural Engineering**, v.35, n.10, p.705-709, 714, Oct. 1954.
- KEPLER WEBER (Panambi, RS). **Secador contínuo de fluxo misto série KW-DRM**. Panambi, 1999. 4p. Folder.
- KEPLER WEBER (Panambi, RS). **Secador contínuo de fluxo misto para arroz modelos 120-A, 220-A e 320-A**. Panambi, 1999. 4p. Folder.
- KREYGER, J. **Drying and storing grains , seeds and pulses in temperate climates**. Wageningen: Institute for Storage and Processing of Agricultural Produce-IBVL, 1972. 333p.
- LACERDA FILHO, A.F. de; QUEIROZ, D.M.; ROA, G. Avaliação experimental de secador comercial intermitente de arroz. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.7, p.39-49, 1982.
- 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.

- LOEWER, O.J.; BRIDGES, T.C.; BUCKLIN, R.A. **On-farm drying and storage systems**. [S.I.]: American Society Agricultural Engineers, 1994. 650p.
- LUZ, C.A.S. **Secagem de sementes de arroz em secador intermitente lento**. Pelotas: UFPel, 1986. 103p. *Dissertação Mestrado*.
- MARSANS, G.J. **Manejo y conservación de granos**. Buenos Aires: Hemisferio Sur, 1987. 266p.
- MARTINS, R.M.; OLIVEIRA, P.A.V. de. **Secagem comunitária de milho: uma solução para pequenas propriedades**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina. *Anais...* Londrina: SBEA, 1992. p.1622-1632.
- 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).
- MIRANDA, T.R. **Secagem intermitente lenta de sementes de soja (*Glycine max* L. Merrill)**. Pelotas: UFPel, 1978. 93p. *Dissertação Mestrado*.
- MOECHNIG, B. **Secado y ventilación del grano**. In: MCELLHINEY, R.R., ed. **Tecnología para la fabricación de alimentos balanceados**. Arlington: AFIA, 1994. p.532-537.
- NELLIST, M.E. **Developments in continous flow grain driers**. *The Agricultural Engineer*, p.74-80, 1982.

- NOGUEIRA, A.C.L. Avaliação de secagem de arroz (*Oryza sativa* L.) por fluxo cruzado em escala de laboratório.** Campinas: UNICAMP, 1991. 122p. Dissertação Mestrado.
- NORDSTROM, J.W.; MEADE, R.J.; SOWERS, J.E.** Effect of drying temperatures on nutritive value of opaque-2 corn. *Journal of Animal Science*, v.33, p.237-238, 1971.
- OLIVEIRA, P.A.V. de. Sistemas de armazenagem de milho para pequenas propriedades produtoras de suínos.** Campinas: UNICAMP, 1989. 107p. Dissertação Mestrado.
- OLIVEIRA, P.A.V. de; MARTINS, R.R.** Secador de grãos pré-fabricado em cimento para pequenas propriedades. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1992. 5p. (EMBRAPA-CNPSA. Comunicado Técnico, 193).
- OTTEN, L.; BROWN, R.; ANDERSON, K.** A study of commercial crossflow grain dryer. *Canadian Agricultural Engineering*, v.22, n.2, p.164-170, Dec. 1980.
- PAMPEIRO (Barra do Ribeiro, RS). Conjunto de secagem intermitente pampeiro 220: manual de produto.** [Barra do Ribeiro, 19—]. 41p.
- PARK, K.J. Secagem de produtos agrícolas.** Campinas: FEAGRI / UNICAMP, 1991. 167p. Não publicado.
- PENZ, A.M.; MAIORKA, A.** Uso de rações com diferentes graus de granulometria para frangos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO'1996 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1996, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FACTA, 1996. p.153-170.

PICKETT, L.K.; PINKERTON, J.W.; YOERGER, R.R. Accelerated drying of corn. *Transactions of the ASAE*, v.6, n.2, p.151-157, 1963.

PUZZI, D. *Abastecimento e armazenamento de grãos*. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603p.

RIVERA, P.H.; PEO, E.R.; MOSER, B.D. Effect of drying temperature on nutritional quality and availability of amino acids in normal and opaque-2 corn for rats. *Journal of Animal Science*, v.46, n.5, p.1275-1286, May 1978.

ROSA, O.S. Temperaturas recomendadas para a secagem de sementes de trigo e arroz utilizando o método intermitente. In: SEMINÁRIO PANAMERICANO DE SEMILLAS, 5., 1966, Maracay. *Anais...* Maracay: [s.ed.], 1966. 27p.

SABBAH, M.A.; FOSTER, G.H.; HAUGH, C.G. Effect of tempering after drying on cooling shelled corn. *Transactions of the ASAE*, v.15, p.763-765, 1972.

SILVA, J.S. *Pré-processamento de produtos agrícolas*. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. 405p.

SILVA, J.S.; AFONSO, A.D.L.; GUIMARÃES, A.C. Análise do sistema de secagem. *Engenharia na Agricultura, Viçosa*, v.2, n.5, p.1-31, 1992a.

SILVA, J.S.; LACERDA FILHO, A.F. *Construção de um secador para produtos agrícolas*. Viçosa: UFV, 1984. 17p. (UFV. Informe Técnico, 41).

- SILVA, J.S.; PINTO, F. de A de C. *Secagem e armazenagem de grãos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. Anais... Ilhéus: SBEA/CEPLAC, 1993. p.1141-1157.*
- SILVA, J.S.; SABIONI, P.M.; AFONSO, A.D.L. *Avaliação de secadores e custo de secagem de produtos agrícolas. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.2, n.2., p.1-19, 1992b.*
- STAUDT, E.; ZIEGLER, E. *Flour chemistry. Switzerland: Buhler Brothers, 1973. 200p.*
- STEFFE, J.F.; SINGH, R.P.; BAKSHI, A.S. *Influence of tempering time and cooling on rice milling yields and moisture removal. Transactions of the ASAE, v.22, p.1214-1218, 1224, 1979.*
- STEVENS, G.R.; THOMPSON, T.L. *Improving crossflow grain dryer design using simulation. Transactions of the ASAE, v.19, n.4, p.778-781, 1976.*
- THOMPSON, H.J.; SHEDD, C.K. *Equilibrium moisture and heat of vaporization of shelled corn and wheat. Agricultural Engineering, v.35, n.11, p.786-788, Nov. 1954.*
- VILLELA, F.A. *Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho. Piracicaba: USP-ESALQ, 1991. 104p. Tese Doutorado.*
- WEBER, E.A. *Armazenagem agrícola. Porto Alegre: Kepler Weber, 1995. 400p.*

WHITE, G.M.; ROSS, I.J.; EGLI, D.B. *Drying methods and the effect on soybean quality. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 2., 1979, Boulder. Proceedings...* Boulder: WESTVIEW PRESS, 1979. p.501-518.

WONGTSCHOWSKI, R. *Secagem de produtos agrícolas. São Paulo: ULTRAGÁZ, [1998]. 6p. Não publicado.*

WOODFORDE, J.; LAWTON, P.J. *Drying cereal grains in beds six inches deep. Journal of Agric. Engineering Research, v.30, p.146-171, 1965.*

ZIMMER, G.J.; VILLELA, F.A.; TILLMANN, M.A.A. *Aeração seca para sementes de arroz. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.27, n.9, p.1371-1378, set. 1992.*