

# MONITORAMENTO DA QUALIDADE FÍSICA DE SECAGEM DE SEMENTES DE MILHO EM SECADORES ESTACIONÁRIOS<sup>1</sup>

EBERSON DIEDRICH EICHOL<sup>2</sup>, WOLMER BROD PERES<sup>3</sup>

**RESUMO** - Foi analisado o comportamento físico da secagem estacionária com distribuição axial de ar, com utilização de um secador comercial, em comparação com protótipos para secagem de sementes de milho, em camada de 0,70m. A temperatura do ar de secagem foi de  $47 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , no secador comercial e de  $40 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , nos protótipos de secador. Foram considerados o tempo de operação, a posição das sementes na massa e o efeito na qualidade física. Para tanto, foram caracterizados o ar ambiente, o ar de secagem, as temperaturas e os teores de água na massa de sementes e realizados exame visual de fissuras internas e teste de coloração com tintura de iodo. Com baixa umidade relativa ocorre super secagem na camada inferior e retardamento na camada superior, resultando em gradientes de umidade das sementes, no final da secagem, de até 4,5 pontos percentuais. O aumento da temperatura do ar de secagem determina uma elevação na taxa de remoção de água e aumento da porcentagem de sementes de milho com fissuras internas e quando a camada de sementes mais próxima da entrada do ar aquecido atinge teor de água inferior a 14%, se inicia a secagem da camada seguinte.

Termos de indexação: *Zea mays*, secagem estacionaria de fluxo axial, fissuras internas.

## MONITORING THE PHYSICAL QUALITY OF MAIZE SEEDS DRIED IN A STATIONARY DRYER

**ABSTRACT** - The present study analyzed the physical performance of the stationary dryer with axial air flow distribution, using a commercial dryer compared with prototypes. Corn seeds were used in a 0.70m layer. The temperature of the drying air was  $47 \pm 3^{\circ}\text{C}$ , in the commercial bean dryer and  $40 \pm 1^{\circ}\text{C}$  in the prototype dryer. The operation time, seed position in the mass and the effect on the physical quality were considered. For this, the ambient and drying air temperatures and the seed moisture content were characterized, internal fissures were examined visually and coloration test with iodine dye was applied. It was concluded from the results that with low relative humidity lower there is over drying of the lower layer and a delay in drying the upper layer, resulting in seed moisture gradients, at the end of the drying process of more than 4.5 percentile points; the increase in the drying air temperature determined the rise in the water removal rate and increases in the percentage of corn seeds with internal fissures and that the second layer of seeds began to dry when the first layer reached moisture content lower than 14%.

Index terms: *Zea mays*, stationary flow drying, internal fissures.

<sup>1</sup> Submetido em 26/06/2007. Aceito para publicação em 18/01/2008. Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, apresentada a FAEM/UFPEL, Pelotas/RS. <sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, aluno do curso de pós-graduação

em Ciência & Tecnologia de Sementes da FAEM/UFPEL. <sup>3</sup>Engenheiro Agrícola, Dr., Professor do curso de Ciência & Tecnologia de Sementes da FAEM/UFPEL

## INTRODUÇÃO

Sementes de milho são freqüentemente colhidas com teores de água acima dos níveis compatíveis ao seu manuseio ou armazenamento seguro. Após a colheita, elas devem ser então submetidas à secagem, uma etapa crítica na produção de sementes, com freqüente promoção de danos (Rosa et al., 2000).

Mais do que a secagem de grãos, a de sementes é, na prática, uma operação mais crítica, que requer um maior gerenciamento da qualidade, porque tanto a qualidade fisiológica quanto a física devem ser preservadas (Baudet et al., 1999). A permanência das sementes com elevados teores de água, durante o período compreendido entre a colheita e a secagem, contribui para o processo de deterioração devido à elevada atividade metabólica que, além de consumir as substâncias de reserva, libera energia e água favorecendo o desenvolvimento de microorganismos e insetos (Peske e Villela, 2003).

O processo de secagem visa à retirada parcial da água da semente, pela transferência simultânea de calor do ar para a semente e de massa, por meio do fluxo de vapor de água, da semente para o ar. É um processo dinâmico, em função da umidade relativa do ar (Peske e Villela, 2003; Villela e Peres, 2004).

Na secagem, o ar é usado para transportar a umidade das sementes para fora do sistema. Ar forçado e quente serve para aquecer as sementes, fazendo com que a umidade interna migre para a superfície externa das sementes e seja evaporada da periferia, para assim diminuir a umidade da massa de sementes que está sendo secada (Baudet et al., 1999; Peske e Villela, 2003; Peres, 2001).

Os métodos de secagem obtidos pela exposição das sementes, num secador, a um fluxo de ar aquecido, ou não, podem ser divididos, conforme o fluxo das sementes no secador, em estacionário e de fluxo contínuo (Villela e Peres, 2004).

A secagem estacionária consiste basicamente no insuflamento de ar continuamente, na maioria das situações, através de um volume de sementes que permanece estático. A secagem processa-se em camadas, com a formação de zonas de secagem. A região, onde mais efetivamente verifica-se a cedência de água das sementes para o ar, é denominada de frente de secagem (Rangel et al., 1997; Cavariani et al., 1999; Peske e Villela, 2003; Villela e Peres, 2004).

Existe uma relação inversamente proporcional entre velocidade de secagem e umidade relativa do ar (Cavariani et al., 1999) e, segundo os autores, a utilização do ar de

secagem com baixa umidade relativa pode provocar fissuras e trincas na cobertura protetora das sementes.

A presente pesquisa foi realizada com o objetivo de acompanhar o monitoramento físico da secagem de sementes de milho, empregando secadores estacionários com fundo falso perfurado e fluxo axial de ar, e seus efeitos na qualidade física das mesmas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS) da União das Associações Comunitárias do Interior de Canguçu (UNAIC), situada em Canguçu/RS e no Laboratório de Ciência e Tecnologia de Sementes do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” (FAEM) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas/RS.

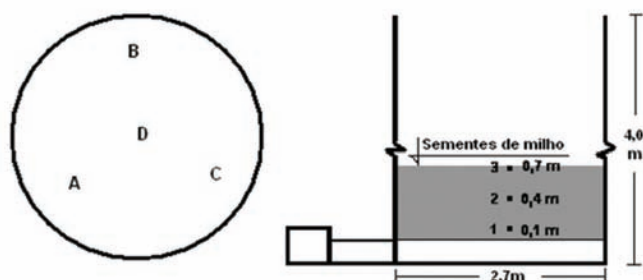
Foram utilizados seis lotes de sementes de milho, denominados L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub> e L<sub>6</sub>, da variedade Fundacep 35, produzidos na safra 2003/04. Após a colheita manual e debulha em batedor da marca Vencedor, as sementes foram transportadas em sacos de polietileno trançado para a UBS, onde se procederam às etapas de pré-limpeza e secagem. A pré-limpeza das sementes foi realizada em máquina de ar e peneiras da marca Vitória, com duas peneiras planas e uma coluna de ar, aproveitando-se as sementes que passaram pelas perfurações redondas da peneira superior de 11,0mm e que deslizaram sobre a peneira inferior de perfuração 4,0mm.

Para a avaliação da secagem foram realizados dois estudos. Para tanto foram monitoradas as secagens dos lotes L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub>, nos dias 04, 11 e 18 de agosto de 2004 em secador comercial e dos lotes L<sub>4</sub>, L<sub>5</sub> e L<sub>6</sub>, no dia 23 de agosto de 2004 em protótipos de secador. Anteriormente a cada secagem, coletaram-se amostras que imediatamente foram expostas ao sol, em camada de 2cm de espessura. As sementes foram submetidas a movimentação freqüente até atingir o teor de água entre 11 e 12%.

O primeiro estudo referiu-se à secagem artificial realizada em secador estacionário de fluxo axial de ar, com fundo falso perfurado, adaptado para secagem em leito fixo, da marca Vitória, com capacidade estática de 7.000kg, diâmetro de 2,7m, altura de 4,0m e equipado com uma fornalha de alvenaria com calor irradiado (fogo indireto), empregando lenha para combustão. Foi determinado o fluxo do ar de entrada do sistema, pela medição das áreas das tubulações irradiantes de calor e da velocidade do ar por meio de anemômetro digital de fio quente. Foram realizadas três secagens com camada de sementes de 0,7m de altura,

submetidas ao ar aquecido até atingirem o teor de água na camada superior de 13,5%, utilizando um fluxo de ar de  $5,0\text{m}^3\text{min}^{-1}\text{t}^{-1}$  e temperatura média do ar aquecido de  $47^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ . No secador foram demarcados quatro pontos denominados A, B, C e D, de onde foram coletadas amostras em três alturas,  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$ , equidistantes (0,3m), sendo  $H_1$  o ponto mais próximo da entrada do ar de secagem, estando a 0,1m do *plenum*, conforme Figura 1. Foram utilizados nesta etapa os lotes  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ .

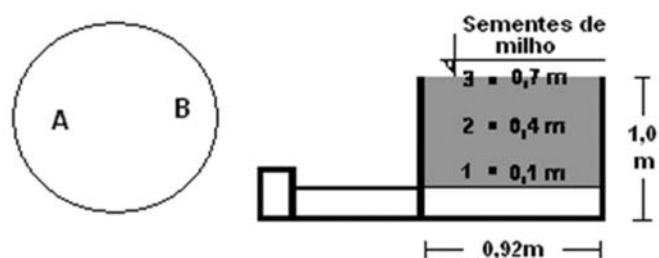
**FIGURA 1. Pontos (1,2,3) de coleta de dados durante secagem estacionária de sementes de milho, realizada em secador comercial - Canguçu/RS - 2004.**



O segundo estudo referiu-se à secagem artificial realizada no Laboratório de Produção de Sementes do Departamento de Fitotecnia da FAEM/UFPel, onde se utilizaram três protótipos de secador estacionário de distribuição axial de ar, com fundo falso perfurado, da marca Vitória, com capacidade estática de 320kg, diâmetro de 0,92m, altura de 1,0m e aquecimento do ar com resistência elétrica. Foram realizadas três secagens em protótipo de secador com camada de sementes de 0,7m de altura, submetidas ao ar aquecido até atingirem o teor de água na camada superior de 13,5%. Utilizou-se um fluxo de ar de  $5,0\text{m}^3\text{min}^{-1}\text{t}^{-1}$  e temperatura de entrada do ar aquecido de  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ . Para cada repetição foram demarcados dois pontos denominados A e B, de onde foram coletadas amostras em três alturas,  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$ , equidistantes (0,3m), sendo  $H_1$  o ponto mais próximo da entrada do ar de secagem situado a 0,1m do *plenum*. Utilizaram-se nesta etapa os lotes  $L_4$ ,  $L_5$  e  $L_6$ , conforme Figura 2.

Ao final da secagem, para verificar os efeitos na qualidade física das sementes de milho, foram coletadas subamostras em vários pontos da massa de sementes e homogeneizadas, para obter uma amostra representativa.

**FIGURA 2. Referente aos pontos de coleta de dados durante secagem estacionária de sementes de milho, realizada em protótipos de secador - Capão do Leão/RS - 2004.**



Durante a secagem, em intervalos regulares de 2h30min, foram retiradas amostras das diferentes alturas, para em seguida ser determinada a temperatura da massa de sementes e, posteriormente, a determinação de seu teor de água. As sementes coletadas foram acondicionadas em embalagens de plástico impermeáveis até a determinação do teor de água.

Características avaliadas nas sementes coletadas durante a secagem:

**Frente de secagem** - para monitorar o avanço da frente de secagem, foram retiradas amostras de diferentes alturas da camada de sementes ( $H_1 = 0,1\text{m}$ ;  $H_2 = 0,4\text{m}$  e  $H_3 = 0,7\text{m}$ ), em cada um dos pontos (A, B, C e D), a cada 2h30min. O monitoramento expedito do teor de água das sementes foi realizado com equipamento modelo Dole 400, durante a secagem até a identificação de seu término.

**Determinação do teor de água** - Foi utilizado o método da estufa a  $105 \pm 3^\circ\text{C}$  durante 24 horas, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

**Temperatura da massa de sementes** - as sementes coletadas em cada ponto de amostragem foram colocadas imediatamente em recipientes semi-adiabáticos (caixas de isopor), sendo a temperatura determinada com um termômetro analógico, acoplado perpendicularmente à tampa do recipiente, inserido na massa de sementes por 2 minutos. Concomitantemente, foram realizadas, as determinações da temperatura do ar de entrada no secador, com termômetro analógico localizado no duto de entrada de ar aquecido no secador e da umidade relativa do ar e da temperatura ambiental, empregando um psicrômetro instalado nas imediações do ponto de coleta do ar pelo ventilador de secador durante a operação de secagem.

**Perfil da umidade no final da secagem** - no final da secagem, verificou-se, pela coleta das amostras nas diferentes

alturas, o comportamento da umidade no perfil da massa de sementes.

**Teste de coloração com tintura de iodo (%)** - executado com duas repetições de 100 sementes por amostra, colocadas em copos plásticos e, a seguir, cobertas com solução de tintura de iodo a 4%, por um período de 5 minutos. Em seguida, eliminado o excesso da solução, as sementes foram lavadas em água corrente e distribuídas sobre folhas de papel toalha para a contagem do número de sementes danificadas. Realizou-se a contagem considerando dano severo (trincas profundas independentemente da região de ocorrência ou trincas leves na região próxima e/ou no embrião da semente) e dano leve (no pericarpo, na região superior da semente oposta à localização do embrião). As sementes danificadas, mesmo que apresentassem várias trincas, foram contadas uma só vez, considerando o dano mais grave.

**Exame visual de sementes com fissuras internas (%)** - realizado com duas repetições de 100 sementes por amostra, retiradas da fração semente pura, após a análise de pureza física. As sementes foram analisadas individualmente e classificadas em sementes com e sem dano mecânico interno visível. Para serem representativas, foram coletadas amostras, nas diferentes alturas da camada de sementes ( $H_1$ ;  $H_2$  e  $H_3$ ), em cada um dos pontos (A, B, C e D).

Os dados de teor de água, em função do tempo de secagem, foram submetidos à análise de regressão polinomial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das variáveis estudadas foram apresentados separadamente, por meio de médias dos resultados originais, com a finalidade de facilitar a exposição, a visualização e a interpretação das características avaliadas.

Realizou-se uma caracterização inicial dos lotes cujos dados obtidos são apresentados na Tabela 1, verificando-se similaridade de resultados nos exames de sementes com fissuras internas e dano mecânico e nas determinações do teor de água.

Pelos resultados apresentados na Tabela 2, comparados com os da Tabela 1, visualiza-se que a danificação mecânica pelo teste de iodo não mostrou diferenças consideráveis, porém o exame de sementes com fissuras internas colocou em evidência o efeito do uso de temperaturas altas ( $47 \pm 3^\circ\text{C}$ ), apresentando nos lotes  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  acentuada danificação, ao passo que nos lotes  $L_4$ ,  $L_5$  e  $L_6$ , que foram secados com temperatura de  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ , esta danificação foi menos expressiva.

**TABELA 1. Dados referentes às determinações para caracterização qualitativa - valores médios - dos lotes  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  (secador comercial) e dos lotes  $L_4$ ,  $L_5$  e  $L_6$  (protótipos de secador) antes da secagem estacionária.**

Determinação (%)	Secador comercial ( $L_1, L_2$ e $L_3$ )	Protótipos de secador ( $L_4, L_5$ e $L_6$ )
<b>Teor de água</b>	18,0	17,9
<b>Dano mecânico</b>	<b>Severos</b>	14,0
	<b>Leves</b>	36,0
<b>Fissuras internas</b>	2,0	1,5

**TABELA 2. Dados em valores médios referentes às determinações realizados nos lotes  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  (secador comercial) e dos lotes  $L_4$ ,  $L_5$  e  $L_6$  (protótipos de secador) após a secagem estacionária.**

Determinação (%)	Secador comercial ( $L_1, L_2$ e $L_3$ )	Protótipos de secador ( $L_4, L_5$ e $L_6$ )
<b>Teor de água</b>	11,0	11,1
<b>Dano mecânico</b>	<b>Severos</b>	14,0
	<b>Leves</b>	37,0
<b>Fissuras internas</b>	41,3	13,0

Na Tabela 3, encontram-se os resultados da análise visual de fissuras internas realizada após término da secagem dos lotes  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$  (secador comercial), onde observa-se, na camada mais próxima à entrada do ar aquecido ( $H_1$ ), um número de sementes bastante elevado com fissuras internas, possivelmente resultado da baixa umidade relativa do ar de secagem (16 %) por um longo período de exposição (20h00min). Na camada ( $H_2$ ), esta tendência foi mantida, porém com menor intensidade, sendo que o tempo de exposição a alta temperatura diminuiu. Na camada ( $H_3$ ), por ser a mais distante da entrada do ar aquecido, a quantidade de sementes que apresentavam fissuras internas foi cinco vezes menor que na camada inferior, possivelmente devido à temperatura da massa não ter ultrapassado  $38^\circ\text{C}$  (Tabela 4) e à umidade maior neste ponto. Tais resultados estão de acordo com os relatados por Baudet (1992), que afirma ocorrer aumento na danificação das sementes de milho quando a

umidade relativa do ar de secagem for inferior a 40%.

**TABELA 3. Resultados percentuais da análise visual de fissuras internas nas sementes de milho nas diferentes alturas de camada (H<sub>1</sub>; H<sub>2</sub> e H<sub>3</sub>) em cada um dos pontos (A, B, C e D), realizada após término da secagem dos lotes L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> (secador comercial).**

Pontos	A	B	C	D
H1	63	64	64	61
H2	51	50	51	49
H3	10	12	11	11
Média	41	42	42	40

Na Tabela 4, observa-se que a temperatura do ar ambiente variou entre 15 e 18°C e a umidade relativa do ar ambiente entre 81 e 89%. Com o aquecimento do ar de secagem para 47 ±3°C, na temperatura do ar ambiente, levada ao gráfico psicrométrico, para a pressão atmosférica de 733mm de

mercúrio (Peske e Villela, 2003), foi possível determinar que o ar aquecido passou a apresentar umidade relativa bastante baixa, variando entre 14 e 18%. As temperaturas da massa de sementes no ponto H<sub>1</sub> mantiveram-se crescentes até 15h00min de secagem, permanecendo a partir daí praticamente constante. No ponto H<sub>2</sub> ocorreu um acréscimo considerável nas primeiras 2h30min de secagem, permanecendo por um período de 05h00min praticamente invariável. Isto porque nesse período o calor foi quase em sua totalidade consumido na primeira camada (H<sub>1</sub>), fato que retardou o início da secagem desta. Na camada H<sub>3</sub>, por ser a mais distante em relação à entrada do ar, observou-se um aumento na temperatura da massa de sementes, na primeira coleta de dados após início da secagem, sendo que deste momento em diante houve pouca variação até 10h00min, quando iniciou a ocorrer aumento na temperatura da massa, permanecendo assim até o término da secagem. Ainda na Tabela 4, quando analisadas as diferenças de temperaturas entre as camadas, observa-se que as diferenças de temperatura entre as camadas H<sub>1</sub> e H<sub>2</sub> aumentam até 07h30min. A partir daí, ocorrem reduções nesta diferença, fato que possivelmente esteja relacionado com a chegada da frente de secagem, ocorrendo aumentos na temperatura da massa na camada (H<sub>2</sub>).

**TABELA 4. Dados referentes a média das determinações realizadas durante a secagem estacionária das sementes de milho empregado nos lotes L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub> e L<sub>3</sub> (secador comercial), utilizando temperatura de entrada do ar de secagem de 47 ±3°C.**

Tempo de secagem	Ambiente		UR(%) do ar insuflado	T(°C) da massa de sementes			Δ=H <sub>1</sub> -H <sub>2</sub>	Δ=H <sub>1</sub> -H <sub>3</sub>
	T (°C)	UR (%)		H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>		
00h00min	15	84	15	--	--	--	--	--
02h30min	15	81	14	25	22	21	03	04
05h00min	17	84	15	32	25	24	07	08
07h30min	18	84	18	38	26	26	12	12
10h00min	17	88	15	40	29	26	11	14
12h30min	18	87	17	43	34	27	09	16
15h00min	17	89	16	45	37	28	08	17
17h30min	17	87	17	44	40	33	04	11
20h00min	16	87	16	44	41	38	03	06

Ainda na Tabela 4, quando analisadas as diferenças de temperaturas entre as camadas, observa-se que as diferenças de temperatura entre as camadas H<sub>1</sub> e H<sub>2</sub> aumentam até 07h30min. A partir daí, ocorrem reduções nesta diferença, fato que possivelmente esteja relacionado com a chegada da

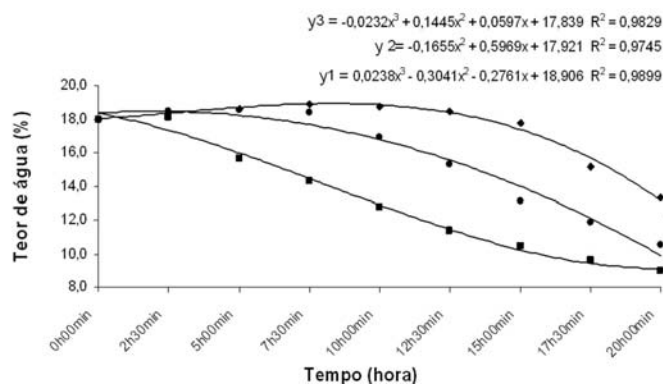
frente de secagem, ocorrendo aumentos na temperatura da massa na camada (H<sub>2</sub>).

A Figura 3 representa o comportamento do teor de água em função do tempo e da altura da camada, na secagem estacionária de sementes de milho, registrando a evolução da

frente de secagem em cada camada de sementes. Na camada inferior ( $H_1$ ), constata-se uma redução de umidade maior nas primeiras horas, provavelmente, devido ao gradiente de umidade na camada. Nas últimas horas, a água livre já foi eliminada, tornando esse processo mais difícil, conforme relatam Peske e Villela (2003) que quanto mais úmida a semente estiver, mais fácil é a remoção da água, porque, com alto grau de umidade, grande parte da água contida na semente pode ser considerada livre. A camada intermediária ( $H_2$ ) iniciou a secagem de forma efetiva depois de decorrido um período de tempo, correspondendo com a chegada da frente de secagem à posição, juntamente com o aumento da temperatura, justificada pelo fato de nesse período o calor ter sido empregado na evaporação da água e aquecimento da primeira camada ( $H_1$ ). Na parte superior da massa de sementes ( $H_3$ ), a mais distante em relação à entrada do ar, inicialmente ocorreram acréscimos no teor de água pela transferência de umidade das camadas inferiores às superiores. Somente nas últimas coletas foi observada redução do teor de água de forma representativa, visto que as camadas inferiores estão mais secas, possibilitando que o ar permanecesse com poder secante. As tendências de secagem também estão de acordo com Romano Filha (1997), ao afirmar que o processo de secagem de um produto, sob condições constantes de temperatura, umidade relativa e fluxo do ar, pode ser dividido em um período de velocidade de secagem constante e outro decrescente.

Analisando-se em conjunto a Tabela 4 e a Figura 3, observa-se que, conforme aumenta a temperatura da massa de sementes, vai se reduzindo o teor de água da massa nas alturas correspondentes.

**FIGURA 3. Curvas de secagem representando o comportamento do teor de água das sementes de milho em função do tempo e da altura da camada. Secagem estacionária lotes L1, L2 e L3 (secador comercial).**



Na camada ( $H_2$ ), a temperatura da massa começou a aumentar a partir das 10h00min, correspondendo ao momento em que se observa na Figura 3 o início da redução do teor de água. O mesmo ocorre para a altura ( $H_3$ ), onde se observa o aumento da temperatura e o início da secagem da camada a partir da 15h00min de secagem.

Na Tabela 5 estão apresentados os dados referentes às determinações conduzidas durante a secagem estacionária dos lotes  $L_4$ ,  $L_5$  e  $L_6$  (protótipos de secador), observando-se que a temperatura média do ar de secagem alcançou  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ , enquanto que a temperatura do ar ambiente variou entre 15 e  $19^\circ\text{C}$ . Esta alteração, aplicada ao gráfico psicrométrico, considerando a umidade relativa do ar, permitiu determinar que o ar aquecido passou a apresentar a umidade relativa em torno de 25%.

A temperatura da massa de sementes no ponto  $H_1$  manteve-se crescente até 17h30min de secagem, permanecendo a partir daí praticamente invariável, alcançando a temperatura do ar de secagem e entrando em equilíbrio. No ponto  $H_2$  ocorreu um acréscimo considerável nas primeiras 2h30min de secagem, permanecendo após, por um período de 10h00min, praticamente invariável. Isto porque nesse período, como nas secagens descritas anteriormente, o calor foi quase em sua totalidade consumido na primeira camada ( $H_1$ ), fato que retardou o início da secagem na camada ( $H_2$ ). Na camada  $H_3$ , por ser a mais distante em relação à entrada do ar, foi observado um aumento na temperatura da massa de sementes, na primeira coleta de dados após início da secagem, sendo que deste momento em diante permaneceu quase que invariável por 17h30min, quando iniciou a ter aumentos apreciáveis na temperatura da massa, permanecendo assim até o término da secagem.

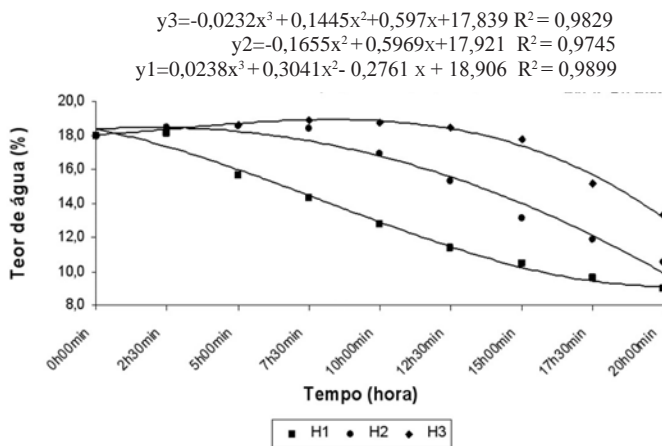
Na Tabela 5, quando observam-se as diferenças de temperaturas da massa de sementes entre as camadas, nota-se que a diferença de temperatura entre  $H_1$  e  $H_2$  aumenta até 12h30min, sendo que a partir daí ocorrem decréscimos nesta diferença; o mesmo ocorre com  $H_1$  e  $H_3$  a partir das 17h30min de secagem.

Na Figura 4 podem ser observadas as tendências da evolução da frente de secagem nas camadas de sementes, sendo semelhantes às encontrados nos lotes  $L_1$ ,  $L_2$  e  $L_3$ . Sendo assim, pode-se afirmar, de um modo geral, que o comportamento da curva de secagem em todos os lotes foi semelhante. Permite afirmar também que a temperatura da massa de sementes cresce lentamente da camada inferior para superior, atingindo, na massa de sementes da primeira camada, temperatura igual a do ar de entrada de sementes, estabelecendo-se em equilíbrio.

**TABELA 5. Dados referentes às determinações realizadas durante a secagem estacionária das sementes de milho empregado nos lotes L4, L5 e L6 (protótipos de secador), utilizando temperatura de entrada do ar de secagem de 40 +/-1°C.**

Tempo de secagem	Ambiente		UR(%) do ar insuflado	T(°C) da massa de sementes			$\Delta=H_1-H_2$	$\Delta=H_1-H_3$
	T (°C)	UR (%)		H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>		
00h00min	18	93	25	--	--	--	--	--
02h30min	18	90	25	24	22	22	02	02
05h00min	18	92	23	26	25	25	01	01
07h30min	19	100	27	31	25	24	06	07
10h00min	19	100	26	35	26	25	09	10
12h30min	18	100	25	37	26	25	11	12
15h00min	17	100	25	38	29	26	09	12
17h30min	16	100	25	40	33	26	07	14
20h00min	15	95	22	39	36	28	03	11
22h30min	16	100	25	39	38	33	01	06
25h00min	15	95	24	39	38	37	01	02

**FIGURA 4. Curvas de secagem representando o comportamento do teor de água das sementes de milho em função do tempo e da altura da camada. Secagem estacionária lotes L4, L5 e L6 (protótipos de secador).**



Quando comparou-se a secagem do secador comercial (47 ±3°C) com os protótipos de secador (40 ±1°C), devido à variação das temperaturas, observa-se que houve redução de 0,35 para 0,27 pontos percentuais de água por hora, significando mais 5h00min no tempo de secagem. Estes resultados confirmam os obtidos por Romano Filha (1997), em que aumentando a temperatura de 35°C para 50°C reduz à metade o tempo de secagem.

A variação do teor de água das sementes nas diferentes alturas da camada apresentou uma diferença de 4,5 pontos percentuais entre a camada superior e a inferior, mantendo-

se na camada intermediária (H<sub>2</sub>) 1,6 pontos percentuais acima da inferior e 2,9 pontos percentuais abaixo da superior (Tabela 6). Tal fato permite afirmar que as sementes da camada superior, por estarem mais afastadas da entrada do ar aquecido, sofreram menor influência. Isto vai ao encontro da afirmação de Peske e Villela (2003) em que a secagem estacionária caracteriza-se por ocorrer em sucessivas camadas, ou seja, quando as sementes da primeira camada atingem o equilíbrio higroscópico com o ar de secagem, as sementes da segunda camada estão intercambiando água com o ar da frente de secagem e as sementes da terceira camada permanecem úmidas por estarem adiante da frente de secagem.

**TABELA 6. Dados referentes às determinações do perfil do teor de água nas camadas de sementes, logo após término da secagem estacionária, dos lotes L1, L2 e L3 (secador comercial) e L4, L5 e L6 (protótipos de secador).**

Pontos	Secador comercial	Protótipos de secador
	L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> e L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub> , L <sub>5</sub> e L <sub>6</sub>
H <sub>1</sub> (0,10 m)	9,0	8,9
H <sub>2</sub> (0,40 m)	10,6	10,6
H <sub>3</sub> (0,70 m)	13,5	13,4
Média do teor de água (%)	11,0	11,1
$\Delta=H_1-H_3$ (%)	4,5	4,5

Utilizando secador estacionário de fluxo radial na secagem de sementes de milho, Cavariani et al. (1999) verificaram, ao final da secagem, que os gradientes de umidade oscilaram entre 2,6 e 4,7 pontos percentuais. Segundo os autores, valores próximos foram verificados em sementes de arroz (Correa, 1981) e de soja (Pasin, 1991), submetidas à secagem em equipamento semelhante. Para Dalpasquale et al. (1987), gradientes de quatro a cinco pontos percentuais normalmente não causam efeitos prejudiciais às sementes, uma vez que, na descarga do secador, ocorre mistura suficiente para equalizar a distribuição de umidade pela massa.

As médias dos teores de água das sementes no final da secagem atingiram 11%, enquanto que a camada superior apresentou 13,5% e a camada inferior, que sofreu uma super secagem, atingiu nove pontos percentuais.

Em função dos resultados obtidos e baseado na literatura, recomenda-se que na secagem estacionária, utilizando alta temperatura e baixo fluxo do ar, a umidade relativa do ar de secagem seja aumentada para 40% após 12 horas de operação, reduzindo-se os riscos do trincamento e super secagem das sementes na camada mais próxima da entrada do ar. Não se recomenda o emprego de temperaturas superiores a 40°C, devido aos eventuais riscos de trincamento das sementes na camada mais próxima da entrada do ar aquecido.

## CONCLUSÕES

Na secagem estacionária, ocorre uma super secagem na camada inferior e retardamento na camada superior, resultando em gradientes de umidade das sementes, no final da secagem, de até 4,5 pontos percentuais;

A elevação da temperatura permite maior velocidade de secagem, com consequente aumento da percentagem de sementes de milho com fissuras internas;

Quando a camada de sementes mais próxima da entrada do ar aquecido, atinge teor de água inferior a 14%, se inicia a secagem da camada seguinte.

## REFERÊNCIAS

- BAUDET, L.M. Avanços em tecnologia de pós-colheita. In: **Anais... ENCONTRO SOBRE AVANÇOS EM TECNOLOGIA DE SEMENTES**, 1992, Pelotas. Pelotas: UFPel, 1992. p.69-78.
- BAUDET, L.M.; VILLELA, F.; CAVARIANI, C. Princípios de secagem. **Seed News**, Pelotas, n. 10, p. 20 - 22, 1999.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, SNDA/DNDV/CLAV, 1992. 365 p.
- CAVARIANI, C.; SILVA, W.R.; MIRANDA, L.C.; NACAGAWA, J.; BELGIORNO, D.C. Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo do ar. II – Andamento físico. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v.21, n. 1, p. 7-17, 1999.
- CORREA, C.F. **Secagem de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) em secador com distribuição radial de ar**. 1981. 85f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- DALPASQUALE, V.A.; QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M.; SINÍCIO, R. **Secagem de sementes em altas temperaturas**. Viçosa: CENTREINAR, 1987. 47p.
- PASIN, N.H. Secagem estática de sementes de soja. **Informativo ABRATES**, Londrina. v.2, n.1, p. 33-39, 1991.
- PERES, W.B. **Manutenção da qualidade de grãos e sementes**. Pelotas: UFPel, 2001. 78p.
- PESKE, S.T.; VILLELA, F. Secagem de sementes. In: PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M.; ROTA, G.R.M. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: UFPel, 2003, p. 283-322.
- RANGEL, M.A.S.; ZIMMER, G.J.; VILLELA, F.A. Secagem estacionária de sementes de arroz com ar ambiente. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.32, n.10, p. 1081-1090, 1997.
- ROMANO FILHA, M.L. **Alta temperatura de secagem na qualidade de sementes de milho (*Zea mays* L.)**. 1997. 28f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- ROSA, S.D.V.F.; VON PINHO, É.V.R.; CARVALHO, M.G.; VEIGA, R.D. Eficácia do teste de condutividade elétrica para o uso em estudos de danos de secagem em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.22, n. 1, p. 54-63, 2000.
- VILLELA, F.A.; PERES, W.B. Coleta, secagem e beneficiamento de sementes. In: FERREIRA, A.G.; BORGUETTI, R. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: ARTMED, 2004. p. 265-281.