**EFEITOS DA SECAGEM INTERMITENTE SOBRE A QUALIDADE
DE SEMENTES DE MILHO**

FRANCISCO AMARAL VILLELA
Engenheiro Agrícola

Orientador: Prof. Dr. WALTER RODRIGUES DA SILVA

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz",
da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de Concentração:
Fitotecnia.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Maio - 1991

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Villela, Francisco Amaral

V735e Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade
de sementes de milho. Piracicaba, 1991.
104p. ilus.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Milho - Secagem - Efeito 2. Milho - Semente -
Efeito da secagem 3. Milho - Semente - Qualidade I.
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Pi-
racicaba.

CDD 633.15

**EFEITOS DA SECAGEM INTERMITENTE SOBRE A QUALIDADE
DE SEMENTES DE MILHO**

FRANCISCO AMARAL VILLELA

Aprovada em: 14.06.1991

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva	ESALQ/USP
Prof. Dr. Júlio Marcos Filho	ESALQ/USP
Prof. Dr. Sílvio Moure Cícero	ESALQ/USP
Prof. Dr. João Nakagawa	FCA /UNESP
Prof. Dr. João Domingos Biagi	FEA/UNICAMP

Prof. Dr. WALTER RODRIGUES DA SILVA

Orientador

A meus pais (in memoriam) pelos
princípios de magnanimidade
indulgência e honradez.

A minha esposa, Lúcia,
pelo incentivo, apoio,
dedicação e paciência.

A Deus, pelos
meus filhos
Luciano e Arthur.

A todo aquele que, por
falta de oportunidade,
permanece na ignorância.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Walter Rodrigues da Silva, pela orientação e assistência.

Ao Corpo Docente da ESALQ/USP, especialmente aos professores Júlio Marcos Filho, Sílvio Moure Cícero, Paulo Yoshio Kageyama, Jairo Teixeira Mendes Abrahão e José Otávio Machado Menten, pela amizade e apoio.

Aos colegas de curso, em especial, aos amigos Maria Elizabete Doni, Luiz Doni Filho, Nilson Lemos de Menezes e José Garcia, pelo estímulo e colaboração espontânea.

Aos servidores da ESALQ/USP, em especial à Engenheira - Agrônoma Maria Heloísa Duarte Moraes e à Técnica Administrativa Ilze Helena Cândida de Gaspari das Neves, pelo auxílio e sorriso oportuno.

Aos cunhados Marco e Beth, pela atenção e incentivo permanente.

À UFPel e à CAPES/PICD pelo suporte financeiro.

Aos colegas do Departamento de Física, IFM/UFPel, pela oportunidade de aperfeiçoamento concedida. Em particular, à professora Eny da Rosa Barboza pelo incentivo e apoio constantes.

À Sementes AGROCERES S/A, Unidade de Santa Cruz das Palmeiras, SP, pela cessão das sementes e instalações para a condução do trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização do curso de doutorado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO.....	xii
SUMMARY.....	xv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1. Obtenção dos tratamentos	28
3.2. Armazenamento das sementes	30
3.3. Determinações durante a secagem intermitente	31
3.4. Determinações de laboratório	32
3.5. Determinação de campo	36
3.6. Métodos estatísticos	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. Caracterização dos lotes	40
4.2. Curvas de secagem	42
4.3. Efeitos sobre a qualidade das sementes.....	53
4.3.1 - Estudo 1	53
4.3.2 - Estudo 2	64
4.3.3 - Estudo 3	73
4.4. Considerações gerais	83
5. CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Curva característica de secagem, representando a variação do teor de água do produto em função do tempo (adaptado de HALL, 1980).....	10
2. Curva de secagem representando o comportamento do teor de água das sementes de milho em função do tempo. Secagem intermitente à temperatura do ar de 70°C(Estudo 1)	44
3. Curva de secagem representando o comportamento do teor de água das sementes de milho em função do tempo. Secagem intermitente à temperatura do ar de 80°C(Estudo 2)...	46
4. Curva de secagem representando o comportamento do teor de água das sementes de milho em função do tempo. Secagem intermitente à temperatura do ar de 90°C(Estudo 3)...	49
5. Temperaturas máximas, médias e mínimas (°C) e umidades relativas do ar médias (%), por decêndios, registradas no período de 20/04/89 a 21/10/89, em Piracicaba-SP.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Esquema da análise da variância dos dados de germinação, envelhecimento rápido, frio sem solo e teor de água.....	38
2. Esquema da análise da variância dos dados do teste de sanidade, exame de sementes infestadas e emergência em campo	39
3. Esquema da análise da variância dos dados do teste de coloração de tintura de iodo, exame de sementes com dano mecânico visível e determinação do total de impurezas.....	39
4. Caracterização da qualidade inicial das sementes de milho, dos lotes A, B e C.....	41
5. Dados referentes às determinações realizadas durante a secagem intermitente das sementes de milho, empregando ar de secagem a temperatura de 70°C (Estudo 1).....	42
6. Dados referentes às determinações realizadas durante a secagem intermitente das sementes	

de milho, empregando ar de secagem a temperatura de 80°C (Estudo 2).....	45
7. Dados referentes às determinações realizadas durante a secagem intermitente das sementes de milho, empregando ar de secagem a temperatura de 90°C (Estudo 3).....	47
8. <u>Estudo 1</u> - Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados referentes às determinações para a avaliação da qualidade de sementes de milho.....	54
9. <u>Estudo 1</u> - Comparação de médias dos dados do teste de coloração de tintura de iodo (TCTI), exame de sementes com dano mecânico visível (ESDMV) e determinação do total de impurezas (DTI), para os efeitos de tratamentos de secagem	55
10. <u>Estudo 1</u> - Comparação de médias dos dados de teor de água, germinação, envelhecimento rápido e frio sem solo, nas épocas E ₁ , E ₂ , E ₃ e E ₄ , para os efeitos de tratamentos de secagem.....	57

11. Estudo 1 - Comparação de médias dos dados de emergência em campo e de sementes infestadas, nas épocas E₁ e E₄, para os efeitos de tratamentos de secagem..... 59
12. Estudo 1 - Comparação de médias de incidência de *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium moniliforme* e *Cephalosporium* spp., nas épocas E₁ e E₄, para os efeitos de tratamentos de secagem..... 61
13. Estudo 2-Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados referentes às determinações para a avaliação da qualidade de sementes de milho 65
14. Estudo 2 - Comparação de médias dos dados do teste de coloração de tintura de iodo (TCTI), exame de sementes com dano mecânico visível (ESDMV) e determinação do total de impurezas (DTI), para os efeitos de tratamentos de secagem..... 66
15. Estudo 2 -Comparação de médias dos dados de teor de água,germinação,envelhecimento rápido

do e frio sem solo, nas épocas E_1, E_2, E_3 e E_4 ,
para os efeitos de tratamentos de secagem..

68

16. Estudo 2 - Comparação de médias dos dados
de emergência em campo e de sementes infes-
tadas, nas épocas E_1 e E_4 , para os efeitos
de tratamentos de secagem

69

17. Estudo 2 - Comparação de médias de inci-
dência de *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp.,
Fusarium moniliforme e *Cephalosporium* spp.,
nas épocas E_1 e E_4 , para os efeitos de tra-
tamentos de secagem

71

18. Estudo 3 - Resultados da análise de variância
(Teste F) dos dados referentes às determi-
nações para a avaliação da qualidade de se-
mentes de milho.....

74

19. Estudo 3 - Comparação de médias do teste de
coloração de tintura de iodo (TCTI), exame
de sementes com dano mecânico visível
(ESDMV) e determinação do total de impurezas
(DTI), para os efeitos de tratamentos de
secagem

75

20. Estudo 3 - Comparação de médias dos dados de teor de água, germinação, envelhecimento rápido e frio sem solo, nas épocas E_1 , E_2 , E_3 e E_4 , para os efeitos de tratamentos de secagem 77
21. Estudo 3 - Comparação de médias dos dados de emergência em campo e de sementes infestadas, nas épocas E_1 e E_4 , para os efeitos de tratamentos de secagem 79
22. Estudo 3 - Comparação de médias de incidência de *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium moniliforme* e *Cephalosporium* spp., nas épocas E_1 e E_4 , para os efeitos de tratamentos de secagem 81

EFEITOS DA SECAGEM INTERMITENTE SOBRE A QUALIDADE DE SEMENTES DE MILHO

Autor: FRANCISCO AMARAL VILLELA

Orientador: PROF. DR. WALTER RODRIGUES DA SILVA

RESUMO

Objetivando determinar as curvas de secagem e avaliar os efeitos de diferentes temperaturas do ar sobre a qualidade de sementes de milho, do híbrido duplo AG-162, durante a secagem, foi conduzido em Santa Cruz das Palmeiras e em Piracicaba, São Paulo, o presente trabalho dividido em três Estudos, denominados 1, 2 e 3. Cada Estudo envolveu três tratamentos de secagem: secagem natural, secagem artificial - natural e secagem artificial. Nas secagens artificial-natural e artificial dos três Estudos

foram utilizadas, respectivamente, as temperaturas do ar de 70, 80 e 90° C, durante o processo denominado artificial (secagem intermitente).

Durante a secagem intermitente, foi monitorado o teor de água das sementes para a posterior determinação das curvas de secagem.

As sementes, após a secagem, foram armazenadas por seis meses e seu comportamento avaliado em quatro épocas bimestrais, através da determinação do teor de água e dos testes de germinação, envelhecimento rápido e frio sem solo. Para a identificação de sementes com danos mecânicos, na primeira época, foram conduzidos o teste de coloração de tintura de iodo, o exame de sementes com dano mecânico visível e a determinação do total de impurezas. Na primeira e quarta épocas, foram realizados o exame de sementes infestadas e os testes de sanidade e de emergência em campo. A análise e a interpretação dos resultados, considerando temperaturas do ar de secagem de 70, 80 e 90°C e reduções do teor de água de 16,5 para 13,0 %, permitiram as seguintes conclusões:

- A secagem intermitente não causa efeitos prejudiciais à qualidade fisiológica de sementes de milho.

- A incidência de *Penicillium* spp. em sementes de milho pode ser reduzida com o emprego da secagem intermitente.

- As curvas de secagem de sementes de milho, na secagem intermitente podem ser representadas por funções lineares.

- O aumento da velocidade de secagem e a redução do tempo total de exposição das sementes ao ar aquecido podem ser obtidos pela elevação da temperatura do ar de secagem.

EFFECTS OF INTERMITTENT DRYING ON THE QUALITY OF MAIZE SEED

Author: FRANCISCO AMARAL VILLELA

Adviser: PROF. DR. WALTER RODRIGUES DA SILVA

SUMMARY

The objective of this work was the determination of the drying curve and the evaluation of the effects of different air temperatures on the quality of maize seeds, double hybrid AG-162, during the drying process. It was carried out in Santa Cruz das Palmeiras and Piracicaba, São Paulo, with three studies named 1, 2 and 3. Each study was made up of three drying treatments: natural drying, artificial-natural drying and artificial drying. In the artificial-natural drying and in the artificial drying on three studies, air temperatures at 70, 80 and 90° C were used, respectively, during the process named artificial (intermittent drying). During the intermittent drying, the moisture content of the seeds was monitored for further

determination of the drying curve.

After the drying process, the seeds were stored during six months and evaluations were carried out in four times every two months, by the determination of moisture content and germination, accelerated aging and cold without soil tests. In the first period, the identification of mechanically damaged seeds was determined by the iodine coloration drying test, examination of visible mechanically damaged seeds and determination of total impurity. In the first and fourth periods seed infestation, seed health and field emergence tests were put into effect.

Considering the drying process temperature at 70, 80 and 90° C and the moisture content reducing from 16,5% to 13,0%, the conclusions were as follows:

- The intermittent drying did not cause prejudicial effects on the physiological quality of maize seeds.

- The *Penicillium spp.* incidence on maize seeds may be reduced by means of intermittent drying.

- The maize seeds drying curve for the intermittent drying process may be represented by linear functions.

- The increase of the drying speed and the reduction of total time of seeds exposition in hot air may be achieved by the elevation of the drying air temperature.

1. INTRODUÇÃO

As sementes na maturidade fisiológica, apresentam os máximos poder germinativo, vigor e peso de matéria seca. Para milho, a nível de campo, a formação da camada negra, na região de inserção entre a semente e o sabugo, e o teor de água são parâmetros que têm sido utilizados no diagnóstico da maturidade das sementes.

Nesse ponto, as sementes de milho apresentam teores de água entre 28 e 35%, não compatíveis com a tecnologia disponível para a colheita mecânica com debulha. A partir daí, permanecem submetidas a fatores adversos de campo que são potencialmente desfavoráveis à preservação de sua qualidade.

Dessa forma, a colheita deve ser realizada tão logo haja compatibilização entre o teor de água das sementes e o método a ser empregado o que, na maior parte dos casos, demanda a realização da secagem do material colhido.

Nas empresas produtoras de sementes de milho, uma das práticas utilizadas tem sido a colheita das espigas, quando as sementes atingem teores de água entre 25

e 35%. Após uma seleção manual, as espigas são secadas em depósitos, com sistema de distribuição de ar quente forçado, necessitando, algumas vezes, 48 a 72 horas para que as sementes alcancem o teor de água de 13%. Essa prática tem apresentado alguns inconvenientes, tais como, o consumo adicional de energia para a secagem do sabugo e o elevado tamanho das instalações de secagem.

Uma possibilidade optativa é a de realizar a secagem em espigas até as sementes alcançarem teor de água de 16%, proceder a debulha e completar a secagem das sementes pelo método artificial, até 13%.

Uma alternativa que vem sendo empregada, nas regiões onde, na época de colheita de sementes de milho, são baixas a umidade relativa do ar e a precipitação pluvial, é a realização da colheita e debulha das sementes com teores de água entre 18 e 20% seguidas de secagem pelo método intermitente, até níveis seguros à conservação do material durante o período de armazenamento.

O método intermitente consiste em submeter as sementes à ação do ar aquecido durante intervalos regulares de tempo (ciclos), intercalados por períodos sem aquecimento. O espaçamento entre os ciclos e a duração de cada ciclo determinarão variações nos gradientes internos de temperatura e umidade nas sementes, podendo, em consequência, afetar a sua qualidade.

Entre outras vantagens, este método demanda

menores consumo de energia e tempo total de secagem em relação à secagem em espigas. .

Na secagem de sementes de milho em secador intermitente, as temperaturas do ar, não excedem, em geral, 70° C.

Com o propósito de reduzir o tempo de secagem e, desta forma, aumentar a capacidade operacional dos equipamentos, existe a possibilidade de elevação da temperatura do ar de secagem, em secador intermitente.

Baseado nestas considerações, o presente trabalho apresentou os seguintes objetivos:

- avaliar os efeitos de diferentes temperaturas do ar, na secagem intermitente, sobre a qualidade de sementes de milho;
- determinar as curvas de secagem de sementes de milho, para diferentes temperaturas do ar, durante a secagem intermitente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A colheita é uma operação importante na produção de sementes, uma vez que o seu adequado planejamento e sua perfeita execução contribuem para reduzir perdas qualitativas e quantitativas. As sementes, por ocasião da colheita, nem sempre se encontram com teores de água compatíveis com sua adequada conservação, levando-se a considerar a secagem como uma operação que merece atenção especial dentro do processo de produção.

Na maturidade fisiológica, o teor de água das sementes é elevado, o que inviabiliza a colheita mecânica com debulha. Entretanto, tão logo seja possível, a colheita deve ser realizada.

MATTHES et alii (1969) afirmaram que a colheita precoce de sementes reduz os danos que ocorrem no campo devido à incidência de doenças, ao ataque de pragas e às condições climáticas adversas. Recomendaram, ainda, que para regiões de clima tropical e subtropical, as sementes de milho sejam colhidas com teores de água entre 25 e 35% para serem, em seguida, secadas por meio artificial até um

nível adequado para preservação de sua qualidade fisiológica durante o armazenamento.

A permanência das sementes com elevado teor de água, durante o período compreendido entre a colheita e a secagem, contribui para acelerar 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 microrganismos e insetos.

O teor de água ideal para o armazenamento depende da espécie, das condições ambientais, do período e do tipo de embalagem empregado (HARRINGTON, 1973 e BASKIN, 1975).

Em regiões de clima tropical e subtropical, o teor de água das sementes após a colheita precisa ser rapidamente reduzido à 12% ou menos, para sementes de cereais como milho e trigo, e a 11% ou menos, para a maioria das outras espécies (DELOUCHE et alii, 1973; DELOUCHE & POTTS, 1974).

As sementes, por serem higroscópicas, possuem a propriedade de realizar intercâmbio de água, sob a forma de vapor com o ar circundante, por sorção ou dessorção, até alcançarem o ponto de equilíbrio higroscópico ou teor de água de equilíbrio (NELLIST & HUGUES, 1973; BROOKER et alii, 1974; KEEY, 1975).

O teor de água de equilíbrio depende, dentre outros fatores, da composição química das sementes, umidade

relativa do ar, temperatura, histerese, tamanho das sementes e condição física das sementes.) As sementes amiláceas, como milho e trigo, apresentam ponto de equilíbrio higroscópico maior em relação às sementes oleaginosas, como algodão e amendoim, para uma mesma condição climática, visto que os carboidratos mostram maior afinidade higroscópica do que os lipídios (GUILBOT et alii, 1973; POPINIGIS, 1985; COPELAND & MACDONALD, 1985; CARVALHO & NAKAGAWA, 1988).

Em função da natureza das ligações físico-químicas existentes entre os componentes da semente e as moléculas de água, a água na semente apresenta-se sob quatro formas diferentes (ROCKLAND, 1969; LASSERAN, 1978; COPELAND & MACDONALD, 1985), a saber: a) água em monocamada, constituída por uma camada monomolecular em torno das macromoléculas da matriz, ligada por meio de ligações iônicas aos grupos carboxila e amino; b) água em multicamada, formada por uma camada polimolecular, que se fixa sobre a camada monomolecular anteriormente descrita, ligada através de pontes de hidrogênio, aos grupos hidroxila e amida; c) água osmótica, constituída de água líquida sob tensão osmótica, que retém diferentes substâncias dissolvidas nas células; d) água livre, retida mecanicamente pelas paredes celulares, ocupando os espaços intercelulares.

A água livre necessita para sua evaporação,

energia ao nível de calor latente de vaporização sendo, dessa forma, facilmente removida por ocasião da secagem. As formas de água, osmótica, em multicamada e em monocamada, por sua vez, apresentam suas moléculas ligadas às estruturas sólidas das sementes através de ligações físico-químicas, cujos níveis energéticos crescem da água osmótica para a em monocamada. Estas formas de água necessitam maior nível de energia para sua remoção sendo, portanto, de retirada mais difícil durante a secagem (LASSERAN, 1978; PARK, 1988).

A água na fase líquida é constituída de moléculas que estão em contínuo movimento, cuja velocidade e distância média percorrida variam em função da temperatura. O fornecimento de calor estimula a movimentação molecular, pela redução das forças de atração, promovendo a formação de vapor d'água (COATES, 1960; CAVARIANI & BAUDET, 1982).

Pressão de vapor é a expressão da força exercida pelas moléculas do vapor por unidade de área quando, na interface entre um líquido e o seu vapor, existe equilíbrio entre a taxa de vaporização do líquido e a taxa de condensação do vapor (LEE & SEARS, 1969).

O vapor d'água, presente na semente tende a ocupar todos os espaços intercelulares disponíveis, gerando pressões em todas as direções, inclusive na interface entre a semente e o ar que, por sua vez, é denominada pressão parcial de vapor d'água na superfície da semente (LASSERAN,

1978). A água presente no ar, sob a forma de vapor, exerce uma pressão parcial, variável em função da sua concentração e da temperatura, denominada pressão parcial de vapor d'água do ar (LEE & SEARS, 1969).

O processo de secagem visa a retirada parcial da água da semente, através da transferência simultânea de calor do ar para a semente e de massa, por meio do fluxo de vapor d'água, da semente para o ar (FOUST et alii, 1982; PARK, 1988).

A secagem de sementes, mediante convecção forçada de ar promove, essencialmente, dois processos simultâneos: a) transferência de água da superfície da semente para o ar circundante, que ocorre quando a pressão parcial de vapor na superfície da semente é maior do que a no ar circundante; b) movimento de água do interior para a superfície da semente, em virtude do gradiente de potencial hídrico, durante o processo, entre as duas regiões.

Diversos mecanismos têm sido propostos para descrever o movimento da água do interior para a superfície de uma estrutura sólida (BROOKER et alii, 1974; KEEY, 1978; SODHA et alii, 1987, PARK, 1988): a) difusão líquida - movimento de água na fase líquida devido ao gradiente de sua concentração; b) difusão de vapor - movimento de vapor d'água motivado pelo gradiente de temperatura; c) fluxo hidrodinâmico - escoamento de líquido e vapor em decorrência de diferenças na pressão total, causadas por gradiente de

pressão externa, contração, concentração, temperatura e forças capilares; d) fluxo capilar movimento de água na fase líquida em virtude das forças capilares, independentemente da concentração de água; e) difusão superficial - movimento de água na fase líquida ocasionado pela sua difusão numa superfície porosa. Este último mecanismo não é levado em consideração, na maioria das teorias de secagem, pelo fato de apresentar efeito praticamente desprezível.

Em sementes, LASSERAN (1978) sugeriu que o fluxo de água do interior para a superfície, durante a secagem, é ocasionado por um derramamento hidrodinâmico sob a ação da pressão total interna e/ou por um processo de difusão resultante de gradientes internos de temperatura e teor de água ou de um gradiente de pressão osmótica.

O consumo de calor provocado pela evaporação da água é acompanhado por um resfriamento da massa de ar. A adsorção do vapor d'água pelo ar permite que, embora ocorra o abaixamento da temperatura, o balanço energético global das trocas seja nulo porque o ar recupera, sob a forma de vapor, o que perdeu sob a forma de calor sensível. O resfriamento do ar no curso da secagem é apenas parcial, visto que é necessário que o ar permaneça suficientemente aquecido para adsorver a maior quantidade possível de água, cuja capacidade de adsorção aumenta em função da temperatura (KNEULE, 1966; LASSERAN, 1978).

O processo de secagem de um produto, sob

condições constantes de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do ar, pode ser dividido em um período de velocidade constante e outro de velocidade decrescente, conforme indica a Figura 1 (HALL, 1980):

Legenda:

- AB - período de indução
- BC - período de velocidade constante
- CD - estágio de superfície insaturada
- DE - estágio de controle interno de umidade

Figura 1 - Curva característica de secagem, representando a variação do teor de água do produto em função do tempo (adaptado de HALL, 1980).

O período de secagem, representado pelo segmento AB da curva característica de secagem, indicado na Figura 1, é o período de indução, e ocorre quando o produto está mais frio do que o ar de secagem, de tal forma que sua temperatura aumenta até atingir um patamar constante. Durante o período de velocidade constante, representado pelo segmento BC, a temperatura do produto se mantém igual à de saturação do ar de secagem. As transferências de calor e massa se compensam e a velocidade de secagem é constante, alcançando seu valor máximo. O mecanismo interno de fluxo de água não afeta a velocidade de secagem porque a taxa de deslocamento interno da água para a superfície do produto é igual ou maior do que a máxima taxa de remoção de vapor d'água pelo ar, sendo evaporada apenas a água livre (HALL, 1980; FOUST et alii, 1982; SODHA et alii, 1987).

As sementes, em geral, apresentam o período de secagem com velocidade constante muito curto, ou inexistente, porque, nas condições operacionais de secagem, as resistências às transferências de água encontram-se essencialmente no seu interior, tornando a taxa de evaporação superficial acentuadamente superior à taxa de reposição de água do interior para a superfície (KREYGER, 1973; BROOKER et alii, 1974; LASSERAN, 1978).

Durante o período de velocidade constante, conforme SODHA et alii (1987), a velocidade de secagem depende da diferença entre as pressões parciais de vapor

d'água na superfície do produto e no ar, da área da interface produto/ar, dos coeficientes de transferência de calor e massa e da diferença de temperatura entre o ar e superfície do produto. Os coeficientes de transferência de calor e massa são afetados pela velocidade do ar, tipo de escoamento do ar (laminar ou turbulento), geometria da interface ar-produto e características da camada de ar em contato com o produto (fluxo paralelo ou perpendicular à superfície de secagem).

A velocidade de secagem neste período pode ser expressa pela seguinte equação (HENDERSON & PERRY, 1955; BROOKER et alii, 1974; SODHA et alii, 1987):

$$\frac{dU}{dt} = \frac{H_c A (T_a - T_s)}{L} = \frac{H_m A (P_s - P_a)}{R_v T} \quad (1)$$

onde:

$\frac{dU}{dt}$ = velocidade de secagem

U = teor de água do produto (base seca)

t = tempo (h)

H_c = coeficiente convectivo de transferência de calor (J/h m² K)

A = área da superfície de contato ar - produto (m²)

T_a = temperatura do ar (K)

T_s = temperatura de saturação do vapor d'água do ar (K)

L = calor latente de vaporização da água (J/kg)

H_m = coeficiente convectivo de transferência de massa (kg/h m²)

P_s = pressão de vapor do vapor d'água do ar à temperatura de saturação (Pa)

P_a = pressão de vapor do vapor d'água do ar à temperatura do ar (Pa)

R_v = constante dos gases para vapor d'água do ar (J/kg K)

T = temperatura absoluta (K)

No período de velocidade decrescente de secagem, representado na Figura 1 pelo segmento CE, a taxa de transporte interno de água é menor do que a taxa de evaporação; desta forma a transferência de calor não é compensada pela transferência de massa e, em consequência, a temperatura da semente aumenta, tendendo à temperatura do ar de secagem.

O período de velocidade decrescente pode ser dividido em dois estádios (FORTES, 1978; ALVARENGA, 1979; HALL, 1980; FOUST et alii, 1982):

a) estádio de superfície insaturada, representado pelo segmento CD na Figura 1, quando não há continuidade de evaporação em toda a superfície do produto, decrescendo a taxa total de evaporação superficial. O transporte de água no interior do produto ocorre por difusão líquida e difusão de vapor.

b) estádio de controle interno de umidade, representado pelo segmento DE na Figura 1, quando a região de vaporização situa-se no interior do produto e a velocidade de secagem é determinada pelo movimento interno de água. Neste estágio, a velocidade de secagem decresce rapidamente e o transporte de água ocorre, principalmente, por evaporações e condensações sucessivas.

O processo de secagem, durante o período de velocidade decrescente, fundamenta-se em duas teorias básicas (KEEY, 1975; KEEY, 1978; FORTES, 1978; FOUST et alii,

1982; PARK, 1988):

a) a teoria difusional considera a difusão de água na fase líquida como o principal mecanismo de secagem de sementes. A velocidade de transporte da água para o movimento unidimensional, pode ser expressa pela segunda Lei de Fick:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial U}{\partial x} \right) \quad (2)$$

onde:

$$\frac{dU}{dt} = \text{velocidade de secagem}$$

U = teor de água do produto (base seca)

t = tempo (h)

D = coeficiente de difusão da água (m²/h)

x = coordenada de posição (m)

b) a teoria capilar afirma que o movimento de água num produto é ocasionado por forças capilares, resultantes dos efeitos das diferenças entre a pressão hidrostática e a tensão superficial. O fluxo capilar pode ser expresso pela seguinte equação:

$$\vec{J} = K_h \nabla \quad (3)$$

onde:

$\vec{J}$

= fluxo capilar líquido (kg/m² h)

K_h = condutividade hidráulica do produto (h⁻¹)

∇ = potencial hidráulico capilar do produto (kg/m²)

A teoria capilar embora não se aplique às sementes por não serem materiais tipicamente capilares, fornece subsídios para fundamentar as equações dos processos de transferência de calor e massa (KEEY, 1978; PARK, 1988).

A remoção de água das sementes, durante a secagem, pode causar alterações químicas, físicas e biológicas, tornando críticas as condições de realização da secagem, as quais devem ser escolhidas tendo em vista, primordialmente, os efeitos que podem ter sobre a qualidade da semente.

Os métodos de secagem de sementes podem ser divididos, basicamente, em dois conjuntos: a) secagem natural - obtida pela exposição da semente ao sol ou pela sua permanência em ambiente atmosférico relativamente seco, pode ser realizada em terreiros, tabuleiros ou encerados, dependendo da quantidade de sementes e da disponibilidade de locais para a secagem; b) secagem artificial - obtida ao submeter-se a semente, num secador, à ação de um fluxo de ar, aquecido ou não, é um processo geralmente dispendioso em energia, que permite reduzir o teor de água das sementes, num período de tempo relativamente curto, dependendo do método de secagem e das condições climáticas da região.

Os métodos de secagem artificial, quanto ao fluxo das sementes no secador, podem ser classificados em

duas categorias (KREYGER, 1973; BROOKER et alii, 1974; SILVEIRA, 1976; TOLEDO & MARCOS FILHO, 1977; LASSERAN, 1979; CABELLO, 1982; SILVA et alii, 1983): 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.

A secagem estacionária se processa da base para o topo da camada de sementes, em secador de fundo falso perfurado 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 (WELCH, 1967; PESKE & BAUDET, 1980; CAVARIANI & BAUDET, 1982).

Algumas precauções especiais devem ser tomadas na secagem estacionária, a fim de evitar a supersecagem na camada de sementes mais próxima à entrada de ar aquecido e permitir a secagem da camada mais distante, o mais rápido possível, para que não ocorra deterioração das sementes. São recomendados, para sementes com teores de água entre 16 e 18%, fluxos de ar entre 8 e 10 m³/min/t, espessura da camada de sementes não superior a 1,5 m, para

sementes de tamanho similar ao da soja, umidade relativa do ar de secagem não inferior a 40% e temperatura máxima do ar de secagem de 43°C (WELCH, 1967; VILLA & ROA, 1979; PESKE & BAUDET, 1980; CABELLO, 1982; PESKE & AGUIRRE, 1987).

Conforme a direção relativa de movimento das sementes e do ar no secador, a secagem de fluxo contínuo pode ser classificada segundo três técnicas (KREIGER, 1973; LASSERAN, 1978; NELLIST, 1980): a) secagem concorrente - o ar e as sementes avançam paralelamente, no mesmo sentido pelo interior do secador; b) secagem contracorrente - o ar e as sementes movem-se paralelamente, mas em sentidos opostos, no interior do secador; c) secagem a corrente cruzada - o ar e as sementes deslocam-se em direções ortogonais dentro do secador.

Considerando a forma de atuação do ar aquecido, a secagem artificial pode ser dividida em dois tipos (ROSA, 1966; BROOKER et alii, 1974; TOLEDO & MARCOS FILHO, 1977; PUZZI, 1986; DALPASQUALE et alii, 1987): a) secagem contínua - as sementes ficam permanentemente sob a ação do ar aquecido, até o seu teor de água atingir o valor desejado; b) secagem intermitente - as sementes são submetidas 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 da semente durante o período de repouso, redu-

zindo o gradiente de sua concentração, no interior do produto.

Edholm¹ citado por HALL (1980) verificou que na secagem intermitente de sementes, empregando uma série de curtos períodos sob a ação de ar aquecido intercalados por longos períodos de repouso, a quantidade de água removida por unidade de tempo é consideravelmente maior do que na secagem contínua, porque o limite máximo da velocidade de secagem, após a remoção da água da camada superficial da semente, é a velocidade de transporte da água do interior para a superfície.

Baseada na capacidade do ar fornecer calor e na necessidade de aumentar a temperatura do ar, a secagem artificial pode ser dividida em duas categorias (LASSERAN, 1980; McLEAN, 1980; DALPASQUALE et alii, 1987; SODHA et alii, 1987): a) secagem em baixa temperatura - utiliza-se ar natural ou aquecido de 1 a 8°C acima da temperatura ambiente; b) secagem em alta temperatura - consiste em aquecer o ar a temperaturas iguais ou superiores a 8-10°C acima da temperatura ambiente.

A combinação de um sistema em alta temperatura, até as sementes alcançarem teores de água de 16 a 18%, com um sistema em baixa temperatura para complementar a secagem, permite aumentar em 40 a 50% a capacidade dos equipamentos (LASSERAN, 1980; DALPASQUALE et alii, 1987).

¹ EDHOLM, H. *Undersokningar angående torkning av spanmal, s.n.t.*

A secagem de sementes de milho, pelo sistema em combinação de alta e baixa temperaturas, resulta em menor susceptibilidade à quebra, maior porcentagem de germinação e menor desenvolvimento de fungos, quando comparada à secagem em alta temperatura (GUSTAFSON et alii, 1978; GUSTAFSON & MOREY, 1979).

Na secagem de sementes de soja, em secador estacionário de fundo falso perfurado, BOYD (1974) verificou a necessidade de ajustar o fluxo de ar e a altura da camada de sementes, de forma a minimizar o tempo de secagem e reduzir os efeitos negativos sobre a qualidade da sementes. Constatou, também, que sementes colhidas com teores de água de 22,3 e 18,5% e secadas até 12%, utilizando fluxos de ar iguais ou superiores a $10 \text{ m}^3/\text{min}/\text{t}$ combinados com temperaturas do ar de 38°C , não apresentaram reduções acentuadas na qualidade.

Mediante secador estacionário com distribuição radial de ar, CORREA (1981) procedeu a secagem de sementes de arroz, aliando temperatura do ar de 42°C , espessura da camada de sementes de 1,35 m e tempos de secagem de 12 a 15 horas, não observando prejuízos à sua qualidade fisiológica.

Os efeitos das danificações térmicas e mecânicas em secadores, sobre a qualidade de sementes, têm sido pouco pesquisados nos sistemas de secagem intermitente.

MIRANDA (1978) secando dois lotes de sementes de soja com teores iniciais de água de 17,5 e 15,4%, em secador intermitente utilizando temperaturas do ar de 45, 60 e 75°C, não observou prejuízos à qualidade fisiológica das sementes. Por outro lado, CAVARIANI (1983), estudando os efeitos da temperatura de secagem e dos danos mecânicos em um secador intermitente sobre a qualidade de sementes de soja, empregando temperaturas do ar de secagem de 50, 70 e 90°C, concluiu que a temperatura do ar de 70°C é a que menos afetou a qualidade da semente; a utilização de ar aquecido à temperatura de 90°C provocou alta porcentagem de rachaduras no tegumento, enquanto a temperatura de 50°C ocasionou alta porcentagem de sementes partidas, em razão do excessivo número de passagens das sementes pelo sistema de secagem.

Ao secar sementes de arroz com teor inicial de água de 19,0 e 20,8%, em secador intermitente utilizando temperaturas do ar de 60, 70, 80 e 90°C, ROSA (1966) constatou que as temperaturas de 80 e 90°C causaram reduções acentuadas na germinação imediatamente após a secagem e que as temperaturas de 60 e 70°C não ocasionaram efeitos imediatos e latentes sobre a sua qualidade fisiológica. Verificou, também, que a temperatura da massa de sementes atingiu no máximo 42,2°C, utilizando ar aquecido a 70°C, o que sugere a possibilidade de utilização desta temperatura sem prejudicar a sua qualidade fisiológica. Estes

resultados foram corroborados por LUZ (1986) que, ao secar sementes de arroz em secador intermitente, utilizando temperaturas do ar de secagem de 70°C e variando o fluxo de ar, o teor de água inicial das sementes e o tempo de exposição do ar aquecido, não observou reduções significativas na germinação e no vigor.

ROSA (1966) secando sementes de trigo pelo método intermitente, utilizando temperaturas do ar entre 40 e 100°C, em intervalos de 10°C, não verificou efeitos imediatos e latentes da secagem sobre a germinação, nos lotes em que a temperatura esteve compreendida entre 40 e 80°C; entretanto, observou reduções acentuadas no poder germinativo das sementes durante o armazenamento, quando secadas a 90 e 100°C.

Durante a secagem, as sementes sofrem, simultaneamente, diversas mudanças físicas, causadas por gradientes de temperatura e umidade que ocasionam estresses hídricos e térmicos, expansão, contração e alterações na densidade e porosidade (FORTES & OKOS, 1980).

O processo de secagem não aumenta a porcentagem de sementes quebradas, mas pode provocar fissuras internas ou superficiais, tornando as sementes mais suscetíveis à quebra, durante o beneficiamento (GUSTAFSON et alii, 1978; GUSTAFSON & MOREY, 1981).

A susceptibilidade à quebra é influenciada pelo teor de água e temperatura da semente, genótipo, es-

grossura do endosperma córneo, temperatura do ar de secagem, método de secagem, velocidade de secagem, velocidade de resfriamento e tamanho e forma das sementes (GUSTAFSON et alii., 1978; GUSTAFSON & MOREY, 1981; GUNASEKARAN & PAULSEN, 1985; MOES & VYN, 1988).

Atualmente pouco se conhece sobre as alterações nos parâmetros físicos e fisiológicos das sementes, durante o processo de secagem. Os danos térmicos no processo de secagem de sementes de milho estão relacionados a alguns fatores, entre eles, genótipo, teor de água das sementes, temperatura de secagem, tempo de exposição e velocidade de secagem (NAVRATIL, 1980; BURRIS & NAVRATIL, 1980; MEIER, 1983; NAVRATIL & BURRIS, 1984; HERTER & BURRIS, 1989a).

A utilização de altas temperaturas durante a secagem pode causar redução na porcentagem e velocidade de germinação, fissuras internas e/ou superficiais, plântulas anormais e, inclusive, a morte das sementes (HARRINGTON, 1972; NELLIST & HUGUES, 1973).

A ocorrência de fissuras na cobertura protetora de sementes pode ocasionar a redução da capacidade de regulação de trocas hídricas e gasosas, o aumento da suscetibilidade à penetração de microrganismos e insetos e a elevação da sensibilidade aos efeitos fitotóxicos de fungicidas e inseticidas (MOORE, 1974; DHINGHA et alii, 1980; SOAVE & MORAES, 1987; WETZEL, 1987; CARVALHO &

NAKAGAWA, 1988).

Elevadas temperaturas, muitas vezes, não causam redução imediata no poder germinativo, mas podem motivar reduções no vigor que, frequentemente, se manifestam durante o período de armazenamento ou na emergência das plântulas sob condições adversas de ambiente (NELLIST, 1980; POPINIGIS, 1985).

As sementes mais úmidas são mais sensíveis aos danos térmicos; por isso, quanto mais elevado o teor de água, menor deve ser a temperatura empregada na secagem (HARRINGTON, 1972; POPINIGIS, 1985). Entretanto, segundo Washko = citado por HERTER (1987), o dano térmico ocorre durante a última fase da secagem, quando o teor de água da semente e a velocidade de secagem são menores devido à redução da velocidade de evaporação e à elevação da temperatura do embrião.

Na secagem de sementes de três linhagens de milho em espiga, em secador estacionário, empregando temperaturas do ar de secagem de 35, 40, 45 e 50°C, NAVRATIL & BURRIS (1984) verificaram que apenas as temperaturas de 45 e 50°C afetaram de forma adversa a germinação e o vigor das sementes, sendo o desenvolvimento radicular das plântulas mais suscetível a danos térmicos, do que o desen-

2. WASHKO, J.B. *The influence of artificial drying conditions on the viability and on the productivity of seed corn.* Madison, 1941 (Ph.D-University of Wisconsin).

volvimento da parte aérea.

A tolerância das sementes de milho ao dano térmico, durante a secagem artificial em altas temperaturas, apresenta grande variabilidade entre linhagens (NAVRATIL & BURRIS, 1984; BDLIYA & BURRIS, 1988), estando associada com a herança maternal e/ou citoplasmática (BDLIYA & BURRIS, 1988).

A velocidade de secagem de sementes de milho em espiga é influenciada pela espessura e permeabilidade do pericarpo (PURDY & CRANE, 1967), genótipo, maturidade da semente, teor de água da semente na colheita, diâmetro da espiga (CROSS, 1985) e espessura da camada de aleurona (TOTH & SULLER, 1987).

Na avaliação da qualidade de sementes de milho e de seu desempenho, sob condições de estresse, os testes de frio tem sido utilizados com freqüência. Em estudos de secagem, da mesma forma, tem sido empregados para avaliar as reduções na qualidade de sementes, associadas à secagem em altas temperaturas, tendo sido encontrada alta correlação entre dano térmico e a sensibilidade ao frio (NAVRATIL, 1980; LOEFFLER et alii, 1985). Há evidências de que a secagem em alta temperatura pode alterar a configuração básica das membranas celulares e, desse modo, reduzir a tolerância ao frio (BURRIS & NAVRATIL, 1980).

A maioria dos sistemas subcelulares das se-

mentes, inclusive o genoma, podem ser danificados durante a secagem (ROBERTS, 1981), sendo a desorganização do sistema de membranas celulares, a primeira consequência do dano térmico (DANIELL et alii, 1969). Reduções na qualidade fisiológica de sementes são, em geral, acompanhadas do aumento na liberação de eletrólitos e açúcares pelas sementes embebidas em água, sugerindo mudanças deteriorativas nas membranas celulares (PARRISH & LEOPOLD, 1978).

Em sementes de milho, elevadas temperaturas de secagem podem causar a hidrólise dos grãos de amido, reduzindo seu número e tamanho no eixo embrionário, durante os primeiros estádios do processo de secagem. A maior condutividade elétrica dos exsudatos das sementes secadas a elevadas temperaturas, comparado com as secadas a baixas temperaturas, pode ser um indicativo do aumento da permeabilidade das membranas, levando a crer que os danos térmicos podem ser atribuídos a mudanças deletérias nas membranas celulares (SEYEDIN et alii, 1984). Por outro lado, HERTER & BURRIS (1989b) sugeriram que o aumento da permeabilidade das membranas seria apenas um dos fatores responsáveis pelo dano térmico, podendo a integridade do pericarpo, por exemplo, afetar a condutividade elétrica dos exsudatos liberados pelas sementes de milho.

No processo de secagem, a temperatura alcançada pela semente e o tempo de exposição a essa temperatura são os principais fatores que, potencialmente, podem

afetar a qualidade das sementes. Dependendo do método de secagem, é possível utilizar altas temperaturas do ar, desde que a temperatura da massa de sementes seja mantida dentro de limites seguros. Em secadores intermitentes, as sementes atingem temperaturas inferiores à do ar de secagem, em virtude da existência do período de repouso em que não estão sob a ação do ar aquecido e do prazo de exposição ao ar aquecido, o que sugere a possibilidade de conduzir a secagem em altas temperaturas, sem ocasionar reduções na qualidade das sementes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho, conduzido experimentalmente no período de abril a novembro de 1989, foi realizado na Unidade de Beneficiamento (Santa Cruz das Palmeiras/SP) da empresa Sementes Agroceres S.A. e nos Laboratórios de Análise de Sementes e de Patologia de Sementes, respectivamente pertencentes aos Departamentos de Agricultura e de Fitopatologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP (Piracicaba/SP).

Foram utilizados três lotes (A, B e C) de sementes de milho, do híbrido duplo AG-162, grupo dentado amarelo, produzidos na safra 1988/1989, pela empresa Sementes Agroceres S.A., Unidade de Santa Cruz das Palmeiras, SP.

Após a colheita, em 20 de abril de 1989, as sementes foram imediatamente transportadas, a granel, para a Unidade de Beneficiamento de Sementes, onde procedeu-se à pré-limpeza e à secagem.

A pré-limpeza foi realizada em uma máquina de ventilador e peneiras marca CWA, com duas peneiras e uma coluna de ar, aproveitando-se as sementes que passaram

através das perfurações da peneira superior (10 x 19 mm) e deslizaram sobre a peneira inferior (4,8 mm).

O sistema de secagem utilizado empregou um secador de fluxo contínuo, adaptado para operar na forma intermitente, da marca D'Andréa, modelo D-200, com capacidade estática efetiva de 27 t, equipado com uma fornalha metálica de calor irradiado (fogo indireto) e um elevador duplo de caçambas de 20,0 m de altura, com as seguintes características adicionais:

- capacidade estática total: 36m³
- capacidade da câmara de repouso: 16 m³
- capacidade da câmara de secagem: 14 m³
- capacidade de câmara de resfriamento: 6 m³

Operacionalmente, o equipamento foi regulado para atender ao seguinte esquema de trabalho:

- fluxo de ar na câmara de secagem: 300m³/min
- tempo de exposição das sementes ao ar aquecido por ciclo no sistema de secagem: 35 min
- período de equalização: 55 min
- relação aproximada de intermitência (aquecimento/sem aquecimento): 1:1,6
- tempo de descarga: 90 min

3.1. Obtenção dos tratamentos

Foram realizados três Estudos denominados 1, 2 e 3, utilizando, respectivamente, os lotes A, B e C.

O Estudo 1 envolveu os seguintes tratamentos de secagem:

a) secagem natural (tratamento SN): durante a operação de carregamento do secador, retiraram-se quatro amostras que, a seguir, foram expostas ao sol, em camadas de espessura aproximada de 10 cm; durante 16 h; as sementes sofreram movimentação freqüente até atingirem teores de água de 12 a 13%;

b) secagem artificial-natural (tratamento SAN): a carga de secador foi submetida à secagem intermitente, com temperatura do ar de 70°C, medida no duto de entrada de ar aquecido, até as sementes alcançarem o teor de água de 15%; nesta ocasião retiraram-se quatro amostras, que foram expostas ao sol, durante 12 h; até as sementes apresentarem teores de água de 12 a 13%;

c) secagem artificial (tratamento SA): o restante da carga que permaneceu no secador passou por secagem intermitente à temperatura do ar de 70°C, até teores de água de 12 a 13%, retirando-se, ao final, quatro amostras.

As amostras obtidas nos tratamentos SAN e SA foram retiradas na extremidade posterior da calha vibratória da descarga do secador, mantendo um intervalo de tempo de 2 min entre a retirada de duas amostras consecutivas.

O peso de cada uma das amostras coletadas

nos três tratamentos foi de 5 kg.

Nos três tratamentos de secagem, as amostras retiradas constituíram as repetições.

Os Estudos 2 e 3 foram conduzidos similarmente ao Estudo 1, com exceção das temperaturas do ar empregadas na secagem intermitente, nos tratamentos SAN e SA que foram, respectiva-mente, de 80 e 90°C.

Visando a uniformização do teor de água das sementes, após a obtenção dos tratamentos de secagem, as amostras foram expostas ao sol, durante 6h.

3.2. Armazenamento das sementes

Após a secagem, cada amostra de sementes foi acondicionada em embalagem permeável de papel multifoliado, tipo kraft 80 (80 g/m²), com capacidade de 5 kg e colocada em condições não controladas de ambiente em uma sala do Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Agricultura (LAS/LAG), permanecendo armazenada por um período de seis meses.

As temperaturas máximas, médias e mínimas do ar e as umidades relativas do ar médias foram monitoradas durante o período de armazenamento.

O período de armazenamento teve início cinco dias após a colheita e a coleta de amostras para a

avaliação da qualidade das sementes, foi realizada a cada 60 dias, conforme a seguinte indicação:

época	Prazo de armazenamento(dias)
E ₁	0
E ₂	60
E ₃	120
E ₄	180

Aos 120 dias de armazenamento, antes da terceira época de coleta de amostras, as sementes foram tratadas com fosfina, aplicando-se um comprimido de fosfeto de alumínio de 0,6 g para 120 kg de sementes, durante 72 h, seguindo recomendação de BITRAN (1989).

3.3. Determinações durante a secagem intermitente

Durante a secagem intermitente, em intervalos regulares de 30 min, foram retiradas quatro amostras e acondicionadas em recipientes à prova de vapor d'água (lata vedada), completamente cheios, para a posterior determinação do teor de água das sementes, em laboratório.

O monitoramento do teor de água das sementes, durante a secagem intermitente foi realizado através de um determinador tipo Steinlite.

Concomitantemente, as seguintes determinações foram realizadas:

a) Temperatura do ar de secagem - determinada através de um termômetro analógico, localizado no duto de entrada do ar aquecido no secador.

b) Temperatura da massa de sementes na câmara de secagem - determinada através de um termômetro analógico, localizado na parte inferior da câmara de secagem do secador.

c) Temperatura da massa de sementes na saída do secador - amostras foram coletadas na extremidade posterior da calha vibratória da descarga do secador e colocadas em recipientes semi-adiabáticos (caixas de isopor), sendo a temperatura medida por um termômetro de bulbo, acoplado perpendicularmente à tampa do recipiente e mantido na massa de sementes por um período de 2 minutos.

d) Umidade relativa do ar e temperatura ambiental - determinadas através de um psicrômetro, instalado nas imediações do ponto de coleta do ar pelo secador durante o processo de secagem.

3.4. Determinações de laboratório

Para avaliar os lotes qualitativamente, foram realizadas as seguintes determinações:

a) Determinação do teor de água - Realizada em estufa elétrica de desidratação, sem ventilação forçada, utilizando-se o método de estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, durante

24 horas, conforme prescrição, para a determinação do teor de umidade, das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, Ministério da Agricultura, 1980). Foram utilizadas duas amostras com 30 g de sementes cada uma e o teor de água foi expresso em porcentagem em base úmida.

b) Teste de germinação - Conduzido de acordo com as prescrições das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, Ministério da Agricultura, 1980), com exceção do número de sementes, que foi de 200 sementes, dividido em quatro repetições iguais. O substrato utilizado foi papel toalha, marca Germitest e o germinador regulado para temperaturas alternadas de 20-30°C.

c) Teste de envelhecimento rápido - Executado conforme metodologia proposta pela ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS (1983) e também descrita por MARCOS FILHO et alii (1987), consistiu na utilização de caixas "gerbox", como compartimento individual (mini-câmaras), possuindo em seu interior uma bandeja de tela de alumínio, onde as sementes foram distribuídas. No fundo, de cada minicâmara, foram depositados 40 ml de água e, em seguida, os gerbox foram mantidos em estufa incubadora, regulada à temperatura de 42°C, por um período de 96 horas. Após esse período de permanência na estufa incubadora, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito no item b, utilizando-se 200 sementes, divididas em 4 repetições iguais por amostra, sendo a interpretação executada

após 4 dias de permanência no germinador.

d) Teste de frio sem solo - Conduzido com 4 repetições de 50 sementes, por amostra, semeadas em rolos de papel toalha, marca Germitest. Os rolos foram colocados em caixas plásticas (18 cm x 25 cm x 10 cm) que, tampadas e seladas, permaneceram em câmara regulada a 13°C, por um período de 7 dias (168 h). Após este período, os rolos foram mantidos em germinador regulado para temperaturas alternadas de 20-30°C, sendo a interpretação realizada após 4 dias de permanência no germinador.

e) Exame de sementes infestadas - realizado com duas repetições de 100 sementes por amostra, imersas em água por um período de 18 horas e, a seguir seccionadas longitudinalmente. As sementes foram examinadas individualmente, considerando-se atacadas aquelas que apresentavam ovo, lagarta, pupa, inseto adulto e/ou o orifício de saída do inseto, conforme as prescrições das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, Ministério da Agricultura, 1980).

f) Teste de sanidade - Conduzido com 200 sementes distribuídas em quatro repetições iguais por amostra, colocadas em placas de Petri, contendo três folhas de papel de filtro. Após a instalação, as sementes foram mantidas por 24 horas em câmara de incubação à temperatura de 20°C $\pm$ 2°C, sob regime de 12 horas de luz e 12 horas de escuro. A seguir, as sementes permaneceram em congelador à

temperatura de -14°C , por um período de 24 horas. Depois, as sementes retornaram à câmara de incubação, permanecendo por mais 6 dias. A interpretação foi realizada com auxílio de microscópio estereoscópico e/ou microscópio composto, conforme descrito por LUCCA FILHO (1987) e MENTEN (1988).

g) Teste de coloração de tintura de iodo - Executado com duas amostras de 100 sementes, colocadas em copos de plástico e, a seguir, cobertas com uma solução de tintura de iodo a 4%, por um período de 5 minutos. Em seguida, eliminando o excesso de solução, as sementes foram distribuídas sobre folhas de papel toalha para a contagem do número de sementes danificadas, conforme descrito por MARCOS FILHO et alii (1987). Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes danificadas por amostra.

h) Exame de sementes com dano mecânico visível - Realizado com duas repetições de 100 g de sementes por amostra, retiradas da fração semente pura, após a análise de pureza. As sementes foram examinadas individualmente com auxílio de uma lupa de aumento (10 x) e classificadas em sementes com e sem dano mecânico visível. Os resultados foram expressos em porcentagem em peso de sementes com dano mecânico visível.

i) Determinação do total de impurezas - Foi conduzida através da análise de pureza física, segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, Ministério da Agricultura, 1980). O peso total de impurezas foi

determinado pela soma dos pesos do material inerte e de outras sementes. Os resultados foram expressos em porcentagem em peso de impurezas por amostra.

Para a caracterização qualitativa dos lotes foram realizadas as seguintes determinações: teor de água, teste de germinação, teste de envelhecimento rápido, teste de frio sem solo, exame de sementes infestadas, teste de sanidade, teste de coloração de tintura de iodo, exame de sementes com dano mecânico visível e determinação do total de impurezas.

Durante o período de armazenamento, nas quatro épocas, foram conduzidos testes de germinação, envelhecimento rápido, frio sem solo e determinação do teor de água das sementes.

Na primeira e quarta épocas, também foram realizados o teste de sanidade e o exame de sementes infestadas. Para a identificação de sementes com danos mecânicos, na primeira época, foram conduzidos o teste de coloração com tintura de iodo, o exame de sementes com dano mecânico visível e a determinação do total de impurezas.

3.5. Determinação de campo

a) Emergência em campo - Realizada com 200 sementes, distribuídas em quatro repetições; dessa forma, cada repetição, constituída por uma linha de 5 m, recebeu a

colocação de 50 sementes. O espaçamento entre as linhas foi de 0,30m. A contagem do número de plantas emersas foi efetuada aos 14 dias após a semeadura, na primeira e na quarta épocas experimentais.

3.6. Métodos estatísticos

A análise estatística dos dados foi realizada, no Sistema de Análise Estatística para Microcomputadores - SANEST (ZONTA et alii, 1984), separadamente, para cada um dos Estudos conforme a descrição que se segue.

As curvas de secagem foram determinadas através do ajustamento de curvas de regressão polinomial, relacionando-se o comportamento do teor de água das sementes e o tempo decorrido durante o processo de secagem.

Os dados dos testes de germinação, envelhecimento rápido, frio sem solo e teor de água foram analisados segundo um esquema de parcelas subdivididas em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições, sendo a análise da variância realizada de acordo com o esquema mostrado na Tabela 1. Os dados de porcentagem de germinação, envelhecimento rápido e frio sem solo foram transformados em $\text{arc sen } \sqrt{\text{porcentagem}/100}$.

Tabela 1 - Esquema da análise da variância dos dados de germinação, envelhecimento rápido, frio sem solo e teor de água.

Causas da variação	Graus de liberdade
Tratamentos de secagem (T)	2
Resíduo a	9
Parcela	11
Épocas (E)	3
Interação T x E	6
Resíduo b	27
Total	47

Os dados do teste de sanidade, emergência em campo e exame de sementes infestadas foram analisados segundo um esquema fatorial 3 x 2, em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições, e a análise de variância foi realizada segundo o esquema mostrado na Tabela 2.

Os dados dos testes de sanidade e emergência em campo foram transformados em $\text{arc sen } \sqrt{\text{porcentagem}/100}$ e os do exame de sementes infestadas foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$.

Os dados do teste de coloração de tintura de iodo, exame de sementes com dano mecânico visível e determinação do total de impurezas foram analisados segundo um delineamento inteiramente casualizado, com 8 repetições, sendo

a análise da variância conduzida conforme o esquema mostrado na Tabela 3. Os dados do teste de coloração de tintura de iodo foram transformados em $\text{arc sen } \sqrt{\text{porcentagem}/100}$.

Tabela 2 - Esquema da análise da variância dos dados do teste de sanidade, exame de sementes infestadas e emergência em campo.

Causas da variação	Graus de liberdade
Tratamentos de secagem (T)	2
épocas (E)	1
Interação T x E	2
Resíduo	18
Total	23

Para todas as determinações foram realizadas as comparações entre médias empregando o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Esquema da análise da variância dos dados do teste de coloração de tintura de iodo, exame de sementes com dano mecânico visível e determinação do total de impurezas.

Causas de variação	Graus de liberdade
Tratamentos de secagem	2
Resíduo	21
Total	23

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora os dados obtidos nos testes de germinação, envelhecimento rápido, frio sem solo, emergência em campo, sanidade, coloração de tintura de iodo e no exame de sementes infestadas tenham sido transformados para a realização da análise estatística, os resultados foram apresentados por meio de médias dos dados originais, com a finalidade de facilitar a visualização e a interpretação dos parâmetros avaliados.

4.1. Caracterização dos Lotes

Este procedimento teve por objetivo a detecção de possíveis diferenças qualitativas entre os lotes A, B e C, utilizados nos estudos 1, 2 e 3, respectivamente.

Os dados obtidos são apresentados na Tabela 4. Verificam-se resultados similares, entre os lotes, nos testes de germinação, de frio sem solo, de emergência em campo, nos exames de sementes infestadas e de sementes com dano mecânico visível e nas determinações do teor de água e do total de impurezas. Algumas diferenças, no teste de coloração de tintura de iodo e na incidência de *Penicillium* spp., podem ser observadas entre o lote A e os demais.

Tabela 4. Caracterização da qualidade inicial das sementes de milho, dos lotes A, B e C.

Determinações(%)	Lotes		
	A	B	C
Teor de água	16,5	15,8	15,9
Teste de germinação	95	95	95
Teste de envelhecimento rápido	83	85	90
Teste de frio sem solo	92	92	92
Exame de sementes infestadas	0,8	0,5	0,9
Incidência de <i>Penicillium</i> spp.	88	95	98
Incidência de <i>Aspergillus</i> spp.	12	11	6
Incidência de <i>F. moniliforme</i>	8	13	9
Incidência de <i>Cephalosporium</i> spp.	41	48	42
Emergência em campo	94	95	96
TCTI ¹	20,7	16,4	17,0
ESDMV ²	7,2	7,6	7,5
DTI ³	2,1	2,2	2,0

¹ TCTI = Teste de coloração de tintura de iodo

² ESDMV = Exame de sementes com dano mecânico visível

³ DTI = Determinação do total de impurezas

A menor incidência de *Aspergillus* spp. e o maior valor obtido no teste de envelhecimento rápido verificou-se no lote C em relação aos lotes A e B. O lote B,

por sua vez, apresentou incidência mais elevada de *Cephalosporium* spp. e *Fusarium moniliforme* do que os lotes A e C.

Não obstante as diferenças verificadas em determinados testes, pode ser afirmado que, em linhas gerais, os lotes eram qualitativamente semelhantes.

4.2. Curvas de secagem

Os dados relativos às determinações efetuadas durante a secagem intermitente, à temperatura do ar de 70°C, são apresentados na Tabela 5 (Estudo 1).

Tabela 5. Dados referentes às determinações realizadas durante a secagem intermitente das sementes de milho empregando ar de secagem a temperatura de 70°C (Estudo 1).

Tempo de secagem (min)	Ambiente		Temperatura do ar de secagem (°C)	Temperatura das sementes		Teor de água das sementes (%)
	Temperatura (°C)	Um. relativa (%)		Câmara de secagem (°C)	Saída do secador (°C)	
0	26,7	64	-	26	26	16,5
30	25,0	68	71	32	28	15,9
60	24,4	67	70	32	29	15,5
90	23,0	70	70	34	29	15,2
120	22,8	68	71	34	30	15,0
150	22,8	70	71	35	31	14,8
180	22,3	68	70	35	31	14,6
210	21,7	69	72	34	30	14,4
240	20,6	70	71	35	31	14,2
270	20,2	69	70	35	30	13,8
300	20,0	70	68	35	31	13,2
Média	22,7	69	70	-	-	-

A temperatura média do ar de secagem alcançou 70°C, tendo variado entre o mínimo de 68°C e o máximo 72°C, enquanto a temperatura do ar ambiente variou entre 20,0 e 26,7°C, sendo a média 22,7°C. Desta forma, o aquecimento do ar para a realização da secagem demandou a elevação média de 47°C, na temperatura do ar ambiente. Esta alteração, aplicada em gráfico psicrométrico, para pressão atmosférica de 760 mm de mercúrio (LASSERAN, 1978 e PESKE & AGUIRRE, 1987), considerando a umidade relativa do ar inicial de 69%, permitiu concluir que o ar aquecido passou a apresentar a umidade relativa de 7%.

As temperaturas da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador atingiram, respectivamente, 35 e 31°C, após 150 min de secagem, mantendo-se, a partir daí, praticamente invariáveis em função do tempo, até o final do processo.

A Figura 2 representa o comportamento do teor de água das sementes em função do tempo, na secagem intermitente, à temperatura do ar de 70°C.

A relação entre a redução do teor de água das sementes e o tempo de secagem foi representada por uma equação de primeiro grau, capaz de explicar 94,35% da variação. Entre os teores de água de 16,5 e 13,2%, a velocidade de secagem permaneceu constante em 0,52%/h.

Figura 2 - Curva de secagem representando o comportamento do teor de água das sementes de milho em função do tempo. Secagem intermitente à temperatura do ar de 70°C (Estudo 1).

A Tabela 6 mostra os dados concernentes às determinações conduzidas durante a secagem intermitente à temperatura do ar de 80°C (Estudo 2).

Tabela 6. Dados referentes às determinações realizadas durante a secagem intermitente das sementes de milho empregando ar de secagem a temperatura de 80°C (Estudo 2).

Tempo de secagem (min)	Ambiente		Temperatura do ar de secagem(°C)	Temperatura das sementes		Teor de água das sementes (%)
	Temperatura (°C)	Um. relativa (%)		Câmara de secagem (°C)	Saída do secador(°C)	
0	26,7	66	-	26	26	15,8
30	22,7	66	78	32	27	15,5
60	28,0	65	83	37	30	15,1
90	24,4	72	82	38	31	14,8
120	23,3	74	80	38	31	14,6
150	24,1	75	79	39	32	14,5
180	23,3	76	80	38	31	14,1
210	23,4	76	78	39	32	13,6
240	23,5	77	79	39	32	13,1
Média	24,6	72	80	-	-	-

A temperatura média do ar ambiente verificada, foi de 24,6°C, tendo variado de 28,0 a 23,3 °C e a temperatura média do ar de secagem chegou a 80°C, com variações entre 78 e 83°C. A umidade relativa do ar de secagem atingiu, conforme gráfico psicrométrico (LASSERAN, 1978), o valor de 5%, determinado pelo acréscimo de 55°C na temperatura do ar ambiente, cuja umidade relativa média era de 72%.

A temperatura da massa de sementes na câmara de secagem estabilizou-se em 39°C e, na saída do secador, em 32°C, decorridos 150 min de secagem, sofrendo, assim,

uma redução de 7°C ao atravessar a câmara de resfriamento.

Na Figura 3 observa-se que o teor de água das sementes decresceu de forma linear com o tempo, no decorrer da secagem intermitente, à temperatura do ar de 80°C, sendo que a função linear tem a possibilidade de justificar 93,97% da variação. A diminuição do teor de água das sementes por unidade de tempo manteve-se invariável em 0,66%/h, para teores entre 15,8 e 13,1%.

Figura 3 - Curva de secagem representando o comportamento do teor de água das sementes de milho em função do tempo. Secagem intermitente à temperatura do ar de 80°C (Estudo 2).

A Tabela 7 revela os dados referentes às determinações levadas a efeito, no transcurso da secagem intermitente, à temperatura do ar de 90°C (Estudo 3).

Tabela 7. Dados referentes às determinações realizadas durante a secagem intermitente das sementes de milho empregando ar de secagem a temperatura de 90°C (Estudo 3).

Tempo de secagem (min)	Ambiente		Temperatura do ar de secagem(°C)	Temperatura das sementes		Teor de água das sementes (%)
	Temperatura (°C)	Um. relativa (%)		Câmara de secagem (°C)	Saída do secador(°C)	
0	28,8	76	-	23	23	15,9
30	23,4	74	86	34	28	15,5
60	24,2	74	92	37	32	15,0
90	25,0	72	94	38	33	14,7
120	25,3	70	90	39	35	14,4
150	25,6	68	92	40	36	14,1
180	26,5	68	88	41	37	13,5
210	27,4	66	90	41	37	13,0
Média	25,5	71	90	-	-	-

A temperatura média do ar de secagem alcançou 90°C, tendo sofrido variações entre 86 e 94°C, ao passo que a temperatura média do ar ambiente foi de 25,0°C, variando entre o mínimo de 22,8°C e o máximo de 27,4°C. Com a elevação da temperatura média do ar de 25°C para 90°C, a umidade relativa média do ar sofreu uma redução de 71% para 3%, conforme gráfico psicrométrico (LASSERAN, 1978) e

desta maneira, aumentou, de forma acentuada, sua capacidade de retenção de água.

A massa de sementes na câmara de secagem atingiu a temperatura máxima de 41°C, enquanto que na saída do secador chegou a 37°C, mantendo uma diferença de temperatura de 4°C entre estes pontos; esta diferença foi igualmente manifestada na secagem à temperatura do ar de 70°C (Estudo 1).

A Figura 4 expressa, através de uma equação de primeiro grau, a curva de secagem de sementes de milho, empregando o método intermitente à temperatura do ar de 90°C, representativa de 96,95% da variação. Para teores de água entre 15,9 e 13,0%, a velocidade de secagem conservou-se constante em 0,79%/h.

O aumento da temperatura do ar reduziu o tempo de secagem, não ocorrendo, entretanto, na mesma proporção. A elevação na temperatura de 70°C para 80°C, ou seja, de 14,3%, conduziu a um decréscimo na duração da secagem de 270 para 240 min ou, de outra forma, de 11,1%, quando as sementes foram secadas entre teores de água de 16,0% e 13,0%. Estes resultados estão em consonância com os obtidos por LASSERAN (1978), ao secar sementes de milho em secador de fluxo contínuo.

Comparando-se, as velocidades de secagem, nas três temperaturas do ar empregadas, observa-se que a 80 e 90°C, seus valores foram, respectivamente, 27 e 52% maio-

res do que à temperatura de 70°C, embora os aumentos correspondentes de temperaturas do ar tenham sido de 14,3 e 28,6%.

Figura 4 - Curva de secagem representando o comportamento do teor de água das sementes de milho em função do tempo. Secagem intermitente à temperatura do ar de 90°C (Estudo 3).

O tempo necessário para a massa de sementes realizar uma passagem completa no sistema secador-elevador, foi de 90 min e à temperatura do ar de 90°C, a duração da secagem foi de 210 min. Levando em consideração a relação de intermitência de 1:1,6, é possível verificar que as

sementes estiveram expostas ao ar aquecido durante 82 min e passaram cerca de 2,3 vezes pelo sistema de secagem.

Sob a temperatura do ar de 80°C, o tempo de secagem foi de 240 min e as sementes passaram aproximadamente 2,7 vezes pelo sistema, permanecendo 94 min na câmara de secagem. Entretanto, à temperatura de 70°C, o tempo de secagem foi de 300 min, ou seja, 25 e 43% maior, do que a 80 e 90°C, respectivamente e as sementes deram 3,3 passagens no sistema secador-elevador, ficando 117 min expostas ao ar aquecido.

Nas três temperaturas empregadas, a redução do teor de água em função do tempo foi constante, possivelmente porque a velocidade de deslocamento interno da água para a superfície da semente tenha sido igual ou superior à velocidade de remoção do vapor d'água pelo ar, conforme HALL (1980), FOUST et alii (1982) e LUZ (1986). Outra hipótese, provável, é a de que, embora a velocidade de transporte interno tenha sido menor do que a velocidade de evaporação, ocorreu igualmente, durante o período de repouso, transferência de água do interior para a periferia da semente, aumentando a disponibilidade de água superficial a ser evaporada.

A velocidade de secagem depende da temperatura, umidade relativa e fluxo do ar, do tempo de exposição a estas condições, dos teores de água inicial e final (HUKILL, 1972; LASSERAN, 1978), de características da semente

e das propriedades da interface semente-ar (SODHA et alii, 1987). Os teores de água inicial e final da semente, a umidade relativa e o fluxo do ar, assim como o tempo de exposição ao ar aquecido em cada passagem pelo sistema secador-elevador, não apresentaram diferenças marcantes nas três secagens, empregando o método intermitente. Entretanto, a temperatura do ar e, em consequência, a temperatura da massa de sementes foram consideravelmente diferentes, de tal forma que quanto mais elevada a temperatura, maior foi a velocidade de secagem e menor o tempo total de exposição ao ar aquecido.

As velocidades de secagem de 0,52, 0,66 e 0,79%/h, obtidas no presente trabalho, evidenciam que as sementes de milho apresentam secagem lenta concordando com a afirmação de KREYGER (1973), comparativamente às sementes de arroz, que alcançam 1,6 a 2,0%/h, ao utilizar no método intermitente, temperaturas do ar de 70°C (LUZ, 1986) e às sementes de azevém anual (*Lolium multiflorum* L.) que podem chegar a 2,0%/h, empregando ar à 80°C (BOUNOUS, 1986).

A relação entre o teor de água da semente e o tempo de secagem foi representada por funções lineares nas três temperaturas empregadas. Esta ocorrência vem ao encontro dos resultados alcançados por LUZ (1986), BOUNOUS (1986) e VEGA (1989) ao utilizarem, também, o método intermitente. Este comportamento, entretanto, contraria as afirmações de KREYGER (1973), BROOKER et alii (1974), HALL

(1980), FOUST et alii (1982) e SODHA et alii (1987). Segundo estes autores, as sementes apresentam período de secagem, à velocidade constante, muito curto ou inexistente, sendo a curva característica de secagem, representada por uma combinação de segmentos, retilíneos e curvilíneos.

Contudo, algumas considerações devem ser feitas, visando auxiliar a compreensão da discordância anteriormente mencionada:

- a curva característica de secagem, descrita pelos autores, foi obtida, experimentalmente, na secagem estacionária e contínua de um produto, em camada de pequena espessura, sob condições constantes de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar;

- as curvas de secagem, obtidas no presente trabalho, têm validade para teores de água entre 16,5 e 13,0%, representando um segmento intermediário da curva característica, não expressando o comportamento da redução da água da semente em função do tempo, para teores além de 16,5% e aquém de 13,0%;

- a taxa de remoção do vapor d'água pelo ar, não foi, provavelmente, afetada, de forma acentuada, por limitações na taxa de transporte interno de água, devido à intermitência; dessa forma, o teor de água decresceu à velocidade constante, dentro do intervalo estudado.

Levando em conta que uma secagem rápida aumenta a possibilidade de fissuras internas e superficiais na semente, causadas pela retração das camadas externas não acompanhada pelas internas, conforme TOLEDO & MARCOS FILHO (1977) e CARVALHO & NAKAGAWA (1988), para as sementes de milho, que apresentam baixa velocidade de secagem, o método intermitente pode se constituir numa alternativa viável, uma vez que, durante o período de repouso, ocorre uma redução nos gradientes de umidade e temperatura, minimizando os possíveis danos térmicos.

4.3. Efeitos sobre a qualidade das sementes

4.3.1 Estudo 1

Na Tabela 8, são apresentados os resultados da análise de variância (Teste F), dos dados referentes às determinações para a avaliação da qualidade das sementes, revelando diferenças significativas para a interação tratamentos de secagem versus épocas, na determinação do teor de água e na incidência de *Penicillium* spp. Nos testes de germinação, envelhecimento rápido, emergência em campo e no exame de sementes infestadas e na incidência de *Fusarium moniliforme* e *Cephalosporium* spp. foram significativos, apenas, os efeitos das épocas.

Tabela 8. Estudo 1 - Resultados da análise de variância (Teste F) dos dados referentes às determinações para a avaliação da qualidade de sementes de milho.

Determinações	Causas de variação		
	Tratamentos de secagem(T)	épocas (E)	T x E
TCTI ¹	NS	-	-
ESDMV ²	NS	-	-
DTI ³	NS	-	-
Teor de água	NS	**	**
Germinação	NS	**	NS
Envelhecimento rápido	NS	**	NS
Frio sem solo	NS	NS	NS
Emergência em campo	NS	**	NS
Sementes infestadas	NS	**	NS
<i>Penicillium</i> spp.	**	**	*
<i>Aspergillus</i> spp.	NS	NS	NS
<i>Fusarium moniliforme</i>	NS	**	NS
<i>Cephalosporium</i> spp.	NS	**	NS

¹TCTI = Teste de coloração de tintura de iodo

²ESDMV = Exame de sementes com dano mecânico visível

³DTI = Determinação do total de impurezas

NS Indica ausência de significância

* Indica significância ao nível de probabilidade de 5%

** Indica significância ao nível de probabilidade de 1%.

Com relação aos danos mecânicos, avaliados pelo teste de coloração de tintura de iodo, verificou-se

que as sementes, submetidas aos três tratamentos de secagem, apresentaram resultados considerados elevados (Tabela 9).

Nas três determinações empregadas na avaliação dos danos mecânicos em sementes, não foram observadas diferenças entre os tratamentos de secagem (Tabela 9) e os resultados foram similares aos obtidos na determinação da qualidade inicial (Tabela 4).

Tabela 9. Estudo 1 - Comparação de médias dos dados do teste de coloração de tintura de iodo (TCTI), exame de sementes com dano mecânico visível (ESDMV) e determinação do total de impurezas (DTI) para os efeitos de tratamentos de secagem.

Tratamentos de secagem	Determinações		
	TCTI(%)	ESDMV(%)	DTI(%)
SN	20,6a	7,2a	2,1a
SAN	22,0a	6,5a	1,8a
SA	21,2a	6,3a	1,8a
Médias	21,3	6,7	1,9
CV(%)	9,23	18,16	7,52

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 10 apresenta a comparação de médias dos dados de teor de água das sementes, onde é possível verificar que os tratamentos SN, SAN e SA não diferiram

entre si, nas épocas E_1 , E_2 e E_4 . Na época E_3 , os teores de água das sementes nos tratamentos SN e SAN não diferiram entre si; entretanto, foram inferiores ao do tratamento SA. As sementes, submetidas aos tratamentos SN e SAN, sofreram um acréscimo no teor de água, da primeira para a segunda época, voltando, na terceira e quarta épocas, aos teores iniciais, não obstante, a variação máxima tenha sido de 1%. No tratamento SA, o teor de água inicialmente aumentou de 11,6%, na época E_1 , para 12,3%, na época E_2 ; a seguir, reduziu de 12,1%, na época E_3 , para 11,3%, na época E_4 , de tal forma que a maior diferença também alcançou 1%, entre as épocas E_2 e E_4 .

As sementes, apesar de acondicionadas em embalagens que permitem trocas de vapor d'água com o ar exterior (sacos de papel multifoldado), não apresentaram variações apreciáveis no seu teor de água em função das flutuações experimentadas pela umidade relativa e pela temperatura do ambiente, durante o período de armazenamento (Figura 5). Todavia, observa-se que o incremento do teor de água, verificado entre as épocas E_1 e E_2 , coincidiu com o período em que ocorreram variações crescentes da umidade relativa do ar e decrescentes da temperatura ambiental - cujo efeito, sobre o teor de água das sementes, é considerado normal pela literatura (NELLIST & HUGHES, 1973; DELOUCHE & POTTS, 1974; POPINIGIS, 1976; PUZZI, 1986; SILVA, 1986; CARVALHO & NAKAGAWA, 1988).

Tabela 10. Estudo 1 - Comparação de médias dos dados de teor de água, germinação, envelhecimento rápido e frio sem solo, nas épocas E₁, E₂, E₃, e E₄, para os efeitos de tratamentos de secagem.

Determinações	Tratamentos de secagem	Épocas				Médias
		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	
Teor de água (%)	SN	11,5aB	12,3aA	11,3bB	11,5aB	11,8a
	SAN	11,6aB	12,2aA	11,6bB	11,4aB	11,7a
	SA	11,6aB	12,3aA	12,1aA	11,3aC	11,7a
	Médias	11,6B	12,3A	11,6B	11,4C	-
CV(%)	1,55	1,59				
Germinação (%)	SN	95,2aA	96,8aA	94,2aB	95,1aAB	95,3a
	SAN	95,7aA	96,6aA	94,4aB	95,2aAB	95,4a
	SA	95,9aA	97,0aA	96,0aB	95,5aAB	96,1a
	Médias	95,6AB	96,8A	95,0B	95,3AB	
CV(%)	1,52	2,59				
Envelheci- mento rá- pido (%)	SN	83,4aA	73,0aB	73,3aB	76,1aB	76,4a
	SAN	83,4aA	72,3aB	74,0aB	77,0aB	76,8a
	SA	84,9aA	73,3aB	71,2aB	72,0aB	75,5a
	Médias	83,9A	72,9B	72,7B	75,1B	
CV(%)	2,41	4,06				
Frio sem solo (%)	SN	92,3aA	91,8aA	93,5aA	93,1aA	92,7a
	SAN	93,0aA	93,8aA	92,4aA	92,8aA	93,0a
	SA	92,8aA	93,2aA	93,1aA	92,8aA	93,0a
	Médias	92,7A	93,0A	93,0A	92,9A	
CV(%)	2,18	2,54				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna e mesma letra maiúscula na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 5. Temperaturas máximas, médias e mínimas (°C) e umidades relativas do ar médias (%), por decên-
dios, registradas no período de 20/04/89 a 21/10/89, em Piracicaba, SP.

As comparações de médias dos dados de germinação, envelhecimento rápido e frio sem solo (Tabela 10), não mostraram diferenças significativas entre os tratamentos de secagem, nas quatro épocas de avaliação. Pode ser verificado, entretanto, que no decorrer do período de armazenamento, houve redução na porcentagem de germinação, na época E₃. O vigor das sementes avaliado pelo teste de envelhecimento rápido foi superior na primeira em relação as demais épocas, variando de 83,9% para 75,1%, entre a primeira e a quarta épocas.

A Tabela 11 fornece as comparações de médias dos dados de emergência em campo e de sementes infestadas, para os efeitos de tratamentos de secagem, nas épocas E_1 e E_4 , onde é possível observar que os tratamentos de secagem não diferiram entre si, nas duas épocas de análise.

Tabela 11. Estudo 1 - Comparação de médias dos dados de emergência em campo e de sementes infestadas, épocas E_1 e E_4 , para os efeitos de tratamentos de secagem.

Determinações	Tratamentos de secagem	Épocas		Médias
		E_1	E_4	
Emergência Em campo (%)	SN	94,2 a A	86,3 a B	90,2 a
	SAN	94,4 a A	84,2 a B	89,5 a
	SA	94,0 a A	85,4 a B	89,7 a
	Médias	94,2 A	85,3 B	
CV(%) = 3,12				
Sementes in- festadas (%)	SN	0,8 a B	3,9 a A	2,4 a
	SAN	1,1 a B	6,2 a A	3,2 a
	SA	0,7 a B	5,6 a A	2,7 a
	Médias	0,9 B	5,2 A	
CV(%) = 25,29				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna e mesma letra maiúscula na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A média da porcentagem de emergência em campo decresceu de 94,2%, na época E₁, para 85,3%, na época E₄, enquanto o nível de infestação por insetos aumentou de 0,9% para 5,2%. Cabe lembrar que as sementes foram submetidas ao expurgo, aos 120 dias de armazenamento, empregando-se a dosagem recomendada, conforme BITRAN (1989).

As comparações de médias de incidência de *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium moniliforme* e *Cephalosporium* spp., para os efeitos de tratamentos de secagem, nas épocas E₁ e E₄, são mostradas na Tabela 12.

Quanto ao fungo *Penicillium* spp., é possível verificar maior incidência nas sementes submetidas ao tratamento SAN em relação aos tratamentos SN e SA, na primeira época. Por outro lado, na quarta época, as sementes do tratamento SA apresentaram menor incidência deste fungo em relação aos tratamentos SN e SAN, sendo que neste período, sua porcentagem de ocorrência aumentou, apenas, no tratamento SN. A menor incidência deste patógeno, nas sementes secadas artificialmente à temperatura do ar de 70°C, pode ser resultante da ação do ar aquecido que, talvez, tenha propiciado um tratamento físico (termoterapia) às sementes, embora existam indicações da baixa eficiência do método, conforme relatos de LASCA (1986) e SOAVE & MORAES (1987).

Com relação à incidência de *Aspergillus*

Tabela 12. Estudo 1 - Comparação de médias de incidência de *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium moniliiforme* e *Cephalosporium* spp., nas épocas E₁ e E₄, para os efeitos de tratamentos de secagem.

Determinações	Tratamentos de secagem	Épocas		Médias
		E ₁	E ₄	
<i>Penicillium</i> spp. (%)	SN	80,3bB	97,3aA	88,7a
	SAN	92,2aA	95,8aA	94,1a
	SA	75,1bA	76,5bA	75,8b
	Médias	82,4B	90,7A	
CV(%) = 7,97				
<i>Aspergillus</i> spp. (%)	SN	11,9aA	13,6aA	12,7a
	SAN	14,0aA	11,9aA	12,8a
	SA	14,9aA	15,8aA	15,6a
	Médias	13,6A	14,2A	
CV(%) = 15,07				
<i>Fusarium</i> <i>moniliiforme</i> (%)	SN	8,2aB	45,0aA	24,1a
	SAN	8,4aB	42,9aA	23,7a
	SA	14,3aB	45,8aA	28,7a
	Médias	10,3B	46,6A	
CV(%) = 16,75				
<i>Cephalosporium</i> spp. (%)	SN	40,5aA	8,4aB	22,3a
	SAN	53,0aA	6,1aB	25,8a
	SA	50,5aA	8,3aB	26,5a
	Médias	48,0A	7,6B	
CV(%) = 12,72				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna e mesma letra maiúscula na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

spp., *Fusarium moniliforme* e *Cephalosporium* spp, não houve efeito dos tratamentos de secagem. Entretanto, entre o início e o final do período de armazenamento, a recuperação de *Fusarium moniliforme* aumentou de 10,3% para 44,6%, enquanto a de *Cephalosporium* spp, diminuiu de 48,0% para 7,6%. Cabe destacar que, o fungo *Fusarium moniliforme*, apresenta grande significado na cultura do milho, podendo causar o apodrecimento de sementes e a morte de plântulas e, em final de ciclo, provocar a podridão do colmo e da espiga (LUCCA FILHO, 1987 e MENEZES, 1988).

A menor incidência de *Fusarium moniliforme*, detectada na primeira época, pode ser atribuída à presença de *Cephalosporium* spp., causando efeitos inibitórios e/ou competitivos nas sementes e mascarando, consequentemente, os resultados. Na época E₄, não obstante a detecção de *Fusarium moniliforme*, em 44,6% das sementes, não se observaram reduções marcantes na germinação, concordando com MENEZES (1988), que afirma apresentar, o referido fungo, tipos saprófitas com mesma morfologia, que podem estar presentes em sementes de milho germinadas e não germinadas.

Durante o período de armazenamento, a umidade relativa do ar variou entre 60% e 70% e a temperatura ambiental média manteve-se abaixo de 20°C (Figura 5); estas condições podem ser consideradas adequadas para a preservação da qualidade fisiológica de sementes de milho

com teores de água entre 11,3 e 12,3% (Tabela 9), por 6 a 9 meses, em regiões tropicais e subtropicais, conforme DELOUCHE et alii (1973) e DELOUCHE & POTTS (1974).

Embora as condições ambientais de armazenamento tenham sido, a priori, adequadas, verificou-se que o vigor das sementes, avaliado pelo teste de envelhecimento rápido (Tabela 10) e pela emergência em campo (Tabela 11) teve tendência decrescente no decorrer do período de armazenamento. Este fato, aparentemente normal, pode ter sido agravado pelos efeitos das danificações mecânicas, ocorridas na colheita. As sementes, embora tenham sido colhidas na faixa de teor de água em que a intensidade de danos mecânicos seria mínima, conforme JUSTICE & BASS (1979) e CARVALHO & NAKAGAWA (1988), apresentaram-se severamente danificadas em razão, possivelmente, da inadequada regulação da máquina de colheita.

Estas reduções, ocorridas na qualidade fisiológica das sementes, podem, também, ser atribuídas à ação de insetos, cujo nível de infestação aumentou de forma considerável durante o armazenamento, concordando com as informações de HOWE (1975), POPINIGIS (1975), POPINIGIS (1985) e CARVALHO & NAKAGAWA (1988).

Em linhas gerais, os resultados do Estudo 1, permitem constatar que os tratamentos de secagem não influenciam a qualidade fisiológica das sementes. Por outro

lado, a secagem artificial (secagem intermitente) pode determinar uma redução na incidência de *Penicillium* spp.

4.3.2 Estudo 2

Os resultados da análise de variância (Teste de F) dos dados referentes às determinações para a avaliação da qualidade das sementes, encontram-se na Tabela 13, mostrando diferenças significativas, para a interação tratamentos de secagem versus épocas, na determinação do teor de água e na incidência de *Penicillium* spp. e *Cephalosporium* spp. Os efeitos dos tratamentos de secagem foram significativos nos testes de coloração de tintura de iodo, envelhecimento rápido e emergência em campo. Os efeitos das épocas foram significativos nos testes de envelhecimento rápido e emergência em campo e na incidência de *Aspergillus* spp. e *Fusarium moniliforme*.

Os danos mecânicos em sementes, avaliados pelo teste de coloração de tintura de iodo (Tabela 14), apresentaram maior porcentagem no tratamento SA em relação ao SAN, apesar de SA não diferir de SN. Com relação ao dano mecânico visível e ao total de impurezas, os resultados mostraram similitude entre os tratamentos e à determinação da qualidade inicial (Tabela 4).

Tabela 13. Estudo 2 -Resultados da análises de variância (Teste F) dos dados referentes às determinações para a avaliação da qualidade de sementes de milho.

Determinações	Causas de variação		
	Tratamentos de secagem (T)	Épocas (E)	T x E
TCTI ¹	*	—	—
ESDMV ²	NS	—	—
DTI ³	NS	—	—
Teor de água	NS	**	*
Germinação	NS	NS	NS
Envelhecimento rápido	*	**	NS
Frio sem solo	NS	NS	NS
Emergência em campo	**	**	NS
Sementes infestadas	NS	NS	NS
<i>Penicillium</i> spp.	**	NS	**
<i>Aspergillus</i> spp.	NS	*	NS
<i>Fusarium moniliforme</i>	NS	**	NS
<i>Cephalosporium</i> spp.	NS	**	*

¹TCTI = Teste de coloração de tintura de iodo

²ESDMV = Exame de sementes com dano mecânico visível

³DTI = Determinação do total de impurezas

NS Indica ausência de significância

* Indica significância ao nível de probabilidade de 5%

** Indica significância ao nível de probabilidade de 1%.

Tabela 14. Estudo 2 - Comparação de médias dos dados do teste de coloração de tintura de iodo (TCTI), exame de sementes com dano mecânico visível (ESDMV) e determinação do total de impurezas (DTI), para os efeitos de tratamentos de secagem.

Tratamentos de secagem	Determinações		
	TCTI (%)	ESDMV (%)	DTI (%)
SN	16,4 ab	7,6 a	2,2 a
SAN	15,1 b	6,8 a	2,0 a
SA	17,4 a	6,3 a	2,1 a
Médias	16,3	6,9	2,1
CV (%)	5,01	18,83	8,74

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 15 são apresentadas as comparações de médias para os efeitos de tratamentos de secagem, na determinação do teor de água e nos testes de germinação, envelhecimento rápido e frio sem solo, durante as quatro épocas de avaliação.

O teor de água das sementes, submetidas à secagem natural, aumentou 0,5% nos primeiros dois meses de armazenamento e, a partir daí, apresentou um decréscimo de 1,6%, até o final de seis meses, variando de 12,2% na época E₂, para 10,6%, na época E₄. As sementes que sofreram as secagens artificial-natural (SAN) e artificial (SA) apre-

sentaram tendências semelhantes, havendo redução no teor de água a partir de 120 dias de armazenamento. No final do período de armazenamento, as sementes submetidas aos três tratamentos de secagem, atingiram os mais baixos teores de água, coincidindo com os decêndios em que a umidade relativa estava em franco declínio e a temperatura do ar média em gradual elevação, conforme pode ser observado na Figura 5.

Com relação à germinação e ao vigor, avaliado pelo teste de frio sem solo, pode ser verificado que as sementes dos três tratamentos de secagem apresentaram resultados similares durante o período de seis meses de armazenamento.

O vigor das sementes, avaliado pelo teste de envelhecimento rápido, no tratamento SA foi superior ao tratamento SN, nas quatro épocas, enquanto os tratamentos SA e SAN não diferiram entre si. Por outro lado, é possível detectar reduções de vigor, nos três tratamentos, a partir de 120 dias de armazenamento.

As comparações de médias de emergência em campo indicaram similaridade entre os tratamentos SN e SAN, nas duas épocas de avaliação, embora tenham apresentado um desempenho inferior ao tratamento SA (Tabela 16). Convém ressaltar, entretanto, que houve um efetivo declínio na porcentagem de emergência das plantas em campo, após 180 dias de armazenamento.

Tabela 15. Estudo 2 - Comparação de médias dos dados de teor de água, germinação, envelhecimento rápido e frio sem solo, nas épocas E_1 , E_2 , E_3 , e E_4 , para os efeitos de tratamentos de secagem.

Determinações	Tratamentos de secagem	épocas				Médias
		E_1	E_2	E_3	E_4	
Teor de água (%)	SN	11,7aB	12,2aA	11,7bB	10,6bC	11,5a
	SAN	11,7aA	12,0abA	12,0aA	10,9aB	11,6a
	SA	11,8aA	11,8bA	11,8abA	11,1aB	11,6a
	Médias	11,7A	12,0A	11,8A	10,9B	
CV(%)	1,11	1,94				
Germinação (%)	SN	95,5aA	96,5aA	97,1aA	95,2aA	96,1a
	SAN	95,3aA	96,0aA	96,5aA	96,5aA	96,1a
	SA	96,8aA	97,0aA	96,5aA	95,5aA	96,5a
	Médias	95,9A	96,6A	96,7A	95,6A	
CV(%)	1,01	2,44				
Envelhecimento rápido (%)	SN	84,5bA	86,2bA	83,4bB	82,6bB	84,2b
	SAN	86,3abA	91,6aA	84,2abB	83,8abB	85,9ab
	SA	90,7aA	91,3aA	86,0aB	85,9aB	88,9a
	Médias	87,2A	90,1A	84,3B	84,1B	
CV(%)	2,64	5,02				
Frio sem solo (%)	SN	92,4aA	95,0aA	94,0aA	94,6aA	94,0a
	SAN	93,1aA	95,3aA	94,9aA	91,8aA	93,8a
	SA	93,7aA	94,4aA	93,1aA	93,7aA	93,7a
	Médias	93,1A	94,9A	94,0A	93,4A	
CV(%)	1,82	2,88				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna e mesma letra maiúscula na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 16. Estudo 2 - Comparação de médias dos dados de emergência em campo e de sementes infestadas, nas épocas E_1 e E_4 , para os efeitos de tratamentos de secagem.

Determinações	Tratamentos de secagem	épocas		Médias
		E_1	E_4	
Emergência em campo (%)	SN	95,1 b A	86,9 b B	91,4 b
	SAN	95,5 b A	85,6 b B	91,2 b
	SA	97,2 a A	90,0 a B	94,2 a
	Médias	96,0 A	87,6 B	
CV(%) = 2,58				
Sementes in- festadas (%)	SN	0,5 a A	1,5 a A	1,0 a
	SAN	0,2 a A	0,6 a A	0,4 a
	SA	0,7 a A	0,8 a A	0,8 a
	Médias	0,5 A	1,0 A	
CV(%) = 31,34				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna e mesma letra maiúscula na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Nas Tabelas 15 e 16 é possível verificar que a indicação constante do teste de envelhecimento rápido, de que o tratamento SA foi superior a SN, confirmou-se nas duas épocas (E_1 e E_4) no teste de emergência em campo,

assim como um comportamento superior das sementes, dos três tratamentos de secagem, na época E₁ em relação a E₄.

Os níveis de infestação por insetos foram similares entre os três tratamentos, nas duas épocas de análise (Tabela 16), variando de 0,2 a 1,5%.

Na Tabela 17 são apresentadas as comparações de médias de incidência de *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium moniliforme* e *Cephalosporium* spp., para os efeitos de tratamentos de secagem, nas duas épocas de avaliação.

A incidência de *Penicillium* spp., foi menor nas sementes submetidas aos tratamentos SAN e SA em relação ao tratamento SN, nas duas épocas, sendo que as sementes que sofreram apenas secagem artificial, apresentaram uma diminuição de 9,8%, na incidência deste fungo, no decorrer do período de armazenamento.

Em cada época de avaliação, detectaram-se incidências similares de *Aspergillus* spp., nos três tratamentos, havendo porém, uma menor detecção média na época E₁ (9,4%), em relação à época E₄ (15,1%). Este mesmo comportamento verificou-se em relação a *Fusarium moniliforme*, cuja recuperação foi de 10,8%, na primeira época e de 44,3%, na quarta época.

Tabela 17. Estudo 2 - Comparação de médias de incidência de *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium moniliiforme* e *Cephalosporium* spp., nas épocas E₁ e E₄, para os efeitos de tratamentos de secagem.

Determinações	Tratamentos de secagem	épocas		Médias
		E ₁	E ₄	
<i>Penicillium</i> spp. (%)	SN	94,8aA	98,8aA	97,1a
	SAN	79,8bA	74,1bA	77,4b
	SA	82,4bA	72,6bB	77,6b
	Médias	86,1A	83,5A	
CV(%) = 6,81				
<i>Aspergillus</i> spp. (%)	SN	11,2aB	16,5aA	13,7a
	SAN	8,1aB	16,4aA	11,9a
	SA	9,0aB	12,6aA	10,7a
	Médias	9,4B	15,1A	
CV(%) = 20,14				
<i>Fusarium</i> <i>moniliiforme</i> (%)	SN	12,5aB	41,7aA	25,7a
	SAN	10,7aB	43,1aA	26,9a
	SA	8,4aB	45,2aA	27,2a
	Médias	10,8B	44,3A	
CV(%) = 10,54				
<i>Cephalosporium</i> spp. (%)	SN	47,5bA	0,9aB	17,2a
	SAN	64,9aA	0,3aB	22,5a
	SA	66,5aA	0,0aB	21,1a
	Médias	59,8A	0,3B	
CV(%) = 18,33				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna e mesma letra maiúscula na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Por outro lado, com relação a *Cephalosporium* spp. foi detectada uma menor incidência nas sementes do tratamento SN do que nas dos tratamentos SAN e SA, embora sua incidência tenha diminuído de forma acentuada, nos três tratamentos, ao longo do período de armazenamento. Esta última constatação está de acordo com os relatos de SOAVE & MORAES (1987), WETZEL (1987) e MENTEN (1988) sobre os microrganismos de campo, cuja incidência e/ou viabilidade tende a decrescer, após a colheita.

Embora a incidência de *Penicillium* spp., nas duas épocas de avaliação, tenha sido elevada, não se observaram reduções na viabilidade das sementes (Tabela 15), provavelmente, porque as condições ambientais de armazenamento não foram favoráveis à elevação da incidência deste patógeno, corroborando as afirmações feitas por POPINIGIS (1985), WETZEL (1987) e MENTEN (1988).

Modificações degenerativas, resultantes do avanço do processo de deterioração das sementes, durante o armazenamento, detectadas pelo teste de envelhecimento rápido e de emergência em campo, podem ser atribuídas, dentre outros fatores, aos efeitos latentes dos danos mecânicos, causados às sementes, por ocasião da colheita.

Fatores adversos, durante o desenvolvimento da semente e na fase de pré-colheita, também podem ter contribuído para uma deterioração mais acelerada durante o armazenamento, conforme o relatado por HARRINGTON (1972),

POPINIGIS (1976), JUSTICE & BASS (1979), ROBERTS (1981), COPELAND & McDONALD (1985) e POPINIGIS (1985).

As informações obtidas no Estudo 2, de uma maneira abrangente, permitem verificar que, a qualidade fisiológica das sementes não difere entre os métodos de secagem estudados, não obstante, as sementes secadas artificialmente tenham apresentado maior desempenho nos testes de envelhecimento rápido e emergência em campo. Por sua vez, a incidência de *Penicillium* spp. é menor nas sementes submetidas às secagens artificial-natural e artificial em relação à secagem natural.

4.3.3 Estudo 3

Os resultados da análise de variância (Teste F) dos dados referentes às determinações para avaliação da qualidade das sementes são apresentadas na Tabela 18, revelando diferenças significativas para a interação tratamentos de secagem versus épocas, nos testes de germinação e envelhecimento rápido e na incidência de *Penicillium* spp. e *Cephalosporium* spp.. Foram significativos os efeitos dos tratamentos de secagem, na determinação do teor de água e os efeitos das épocas, na determinação do teor de água, no teste de emergência em campo, no exame de sementes infestadas e na incidência de *Aspergillus* spp. e *Fusarium moniliforme*.

Tabela 18. Estudo 3 - Resultado da análise de variância (teste F) dos dados referentes as determinações para a avaliação da qualidade de sementes de milho.

Determinações	Causas de variação		
	Tratamentos de secagem(T)	épocas	T x E
TCTI ¹	NS	—	—
ESDMV ²	NS	—	—
DTI ³	NS	—	—
Teor de água	**	**	NS
Germinação	NS	**	**
Envelhecimento rápido	**	**	*
Frio sem solo	NS	NS	NS
Emergência em campo	NS	**	NS
Sementes infestadas	NS	**	NS
<i>Penicillium</i> spp	**	NS	*
<i>Aspergillus</i> spp.	NS	*	NS
<i>Fusarium moniliforme</i>	NS	**	NS
<i>Cephalosporium</i> spp	**	**	**

¹TCTI = Teste de coloração de tintura de iodo

²ESDMV = Exame de sementes com dano mecânico visível

³DTI = Determinação do total de impurezas

NS Indica ausência de significância

* Indica significância ao nível de probabilidade de 5%

** Indica significância ao nível de probabilidade de 1%.

A proporção de sementes mecanicamente danificadas, avaliada pelo teste de coloração de tintura de iodo, apresentou resultados semelhantes nos três tratamentos de secagem, variando entre 15,4% no tratamento SAN e 18,5 %, no tratamento SA (Tabela 19). Comportamento similar entre os tratamentos foi verificado no exame de sementes com dano visível, não obstante a variação tenha sido de 6,3% no tratamento SA a 7,2% no tratamento SN.

Tabela 19. Estudo 3 -Comparação de médias do teste de coloração de tintura de iodo (TCTI), exame de sementes com dano mecânico visível (ESDMV) e determinação do total de impurezas (DTI), para os efeitos de tratamentos de secagem.

Tratamentos de secagem	Determinações		
	TCTI(%)	ESDMV(%)	DTI(%)
SN	17,0a	7,2a	2,0a
SAN	15,4a	6,5a	1,8a
SA	18,5a	6,3a	1,8a
Médias	17,0	6,7	1,9
CV(%)	7,82	15,76	10,68

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As comparações de médias, para os efeitos de tratamentos de secagem, na determinação do teor de água e

nos testes de germinação, envelhecimento rápido e frio sem solo, realizados nas quatro épocas de avaliação, são mostradas na Tabela 20.

Em cada época de avaliação, os teores de água das sementes dos tratamentos SN e SAN apresentaram o mesmo comportamento, embora estatisticamente inferiores aos alcançados no tratamento SA. No decorrer do período de armazenamento, as sementes experimentaram variações no teor de água, influenciadas pelas condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 5). Inicialmente, o teor de água médio aumentou de 11,6% (época E_1) para 12,6% (época E_2) e, a seguir, declinou de forma lenta, atingindo 11,7%, aos 180 dias.

O maior teor de água, alcançado pelas sementes que sofreram, unicamente, secagem artificial à temperatura do ar de 90°C, talvez, possa ser atribuído à menor integridade física do pericarpo, reduzindo sua capacidade de regulação das trocas hídricas, conforme o relatado por MOORE (1974) e SOAVE & MORAES (1987).

Os dados relativos à porcentagem de germinação apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos de secagem, nas épocas E_1 , E_3 e E_4 , havendo alternância de superioridade entre os tratamentos, de uma época para a outra.

Tabela 20. Estudo 3 - Comparação de médias dos dados de teor de água, germinação, envelhecimento rápido e frio sem solo, nas épocas E₁, E₂, E₃, e E₄, para os efeitos de tratamentos de secagem.

Determinações	Tratamentos de secagem	épocas				Médias
		E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	
Teor de água (%)	SN	11,4bB	12,4bA	11,4bB	11,2bB	11,6b
	SAN	11,5bB	12,4bA	11,9bB	11,8bB	11,9b
	SA	11,8aB	13,0aA	12,7aA	12,3aB	12,6a
	Médias	11,6B	12,6A	12,0B	11,7B	
CV(%)	1,09	2,35				
Germinação (%)	SN	95,1bA	95,8aA	96,5aA	94,1bA	95,4a
	SAN	96,5aA	96,4aA	93,3bB	96,1aA	95,5a
	SA	95,5abAB	96,4aA	93,8bB	95,8aAB	95,2a
	Médias	95,7A	96,2A	94,4B	95,4AB	
CV(%)	0,96	2,56				
Envelheci- mento rá- pido (%)	SN	89,5bA	87,8bA	88,3aA	84,6bA	87,6b
	SAN	93,6aA	95,8aA	89,5aBC	86,8aC	91,2a
	SA	94,3aA	94,6aA	89,1aB	88,1aB	91,8a
	Médias	92,4A	93,1A	89,0B	86,2B	
CV(%)	1,35	3,31				
Frio sem solo (%)	SN	91,6aA	93,3aA	93,1aA	94,1aA	93,0a
	SAN	92,3aA	91,1aA	92,8aA	91,5aA	92,0a
	SA	91,5aA	91,4aA	92,2aA	92,1aA	91,6a
	Médias	91,8A	91,9A	92,7A	92,6A	
CV(%)	1,31	2,65				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna e mesma letra maiúscula na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados, obtidos no teste de envelhecimento rápido, denotam maior vigor das sementes dos tratamentos SAN e SA, em relação as do tratamento SN, nas épocas E_1 , E_2 e E_4 . Contudo, foram detectadas reduções consideráveis de vigor, nas sementes submetidas às secagens artificial-natural e artificial, após 120 dias de armazenamento.

O teste de frio sem solo, que tem se mostrado bastante sensível para avaliar os efeitos da temperatura de secagem sobre a qualidade fisiológica de sementes de milho, conforme BURRIS & NAVRATIL (1980), NAVRATIL (1980), NAVRATIL & BURRIS (1984) e LOEFFLER et alii (1985), não detectou efeitos dos tratamentos de secagem e do período de armazenamento sobre o vigor das sementes.

Os dados da Tabela 21, permitem constatar um declínio na porcentagem média de emergência das plantas em campo, de 94,6 para 86,3% entre as épocas E_1 e E_4 e uma elevação no nível de infestação por insetos, de 1,5 para 4,2%.

Cabe ressaltar que os insetos de armazenamento podem causar sérios danos às sementes, destacando-se as reduções de peso e de qualidade fisiológica. Os danos no pericarpo da semente de milho provocam um aumento na velocidade respiratória e uma consequente redução de vigor, enquanto, o ataque ao

endosperma e ao embrião pode comprometer, inclusive a viabilidade (HOWE, 1975; POPINIGIS, 1976; POPINIGIS, 1985; CARVALHO & NAKAGAWA, 1988). A elevação do nível de infestação por insetos, durante o armazenamento, dentre outros fatores, pode ter contribuído para a redução de vigor das sementes.

Tabela 21. Estudo 3 - Comparação de médias dos dados de emergência em campo e de sementes infestadas, nas épocas E₁ e E₄, para os efeitos de tratamentos de secagem.

Determinações	Tratamentos de secagem	épocas		Médias
		E ₁	E ₄	
Emergência em campo(%)	SN	95,6a A	86,0a B	91,4a
	SAN	94,3a A	88,5a B	91,7a
	SA	94,0a A	84,1a B	89,5a
	Médias	94,6 A	86,3B	
CV(%) = 2,78				
Sementes infestadas(%)	SN	0,9a B	3,6a A	2,2a
	SAN	0,9a B	4,4a A	2,4a
	SA	2,0a B	4,8a A	3,5a
	Médias	1,5 B	4,2 A	
CV(%) = 23,29				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna e mesma letra maiúscula na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As comparações de médias de incidências de *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp, *Fusarium moniliforme* e *Cephalosporium* spp., para os efeitos de tratamentos de secagem, nas épocas E₁ e E₄, são apresentadas na Tabela 22.

As sementes, submetidas ao tratamentos SAN e SA, apresentaram, na primeira época, resultados similares quanto à incidência de *Penicillium* spp. e significativamente inferiores ao tratamento SN. Durante o período de armazenamento, a incidência deste fungo, nas sementes submetidas ao tratamento SA, decresceu em 20,7%, alcançando 60,2%, na quarta época; este valor foi destacadamente inferior aos obtidos nas sementes submetidas aos tratamentos SN e SAN.

No tratamento SA, as sementes ficaram expostas ao ar aquecido à 90°C, durante 82 min e atingiram a temperatura média de 39°C (Tabela 7), o que poderia permitir o controle de patógenos, conforme o descrito por DHINGRA et alii (1980), SOAVE & MORAES (1987) e MENTEN (1988), para sementes de algodão, tratadas com ar aquecido, a temperaturas de 90 a 100°C, durante 12 h e para sementes de hortaliças, tratadas com vapor arejado, sob temperaturas de 52 a 56°C, por 10 a 30 min.

Os resultados, obtidos para a incidência de *Penicillium* spp., sugerem que a secagem artificial, à temperatura do ar de 90°C, controla o desenvolvimento deste patógeno associado às sementes.

Tabela 22. Estudo 3-Comparação de médias de incidência de *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Fusarium moniliforme* e *Cephalosporium* spp., nas épocas E₁ e E₄, para os efeitos de tratamentos de secagem.

Determinações	Tratamentos de secagem	Épocas		Médias
		E ₁	E ₄	
<i>Penicillium</i> spp. (%)	SN	97,8aA	95,0aA	96,5a
	SAN	82,6bA	86,9aA	84,8b
	SA	80,9bA	60,2bB	71,1b
	Médias	88,7A	82,8A	
CV(%) = 8,39				
<i>Aspergillus</i> spp. (%)	SN	5,6aB	15,2aA	10,0a
	SAN	7,7aB	12,4aA	10,0a
	SA	8,2aB	13,0aA	10,5a
	Médias	7,2B	13,5A	
CV(%) = 17,78				
<i>Fusarium</i> <i>moniliforme</i> (%)	SN	8,8aB	43,6aA	26,3a
	SAN	7,7aB	40,6aA	23,6a
	SA	4,3aB	41,5aA	21,7a
	Médias	6,8B	41,8A	
CV(%) = 16,55				
<i>Cephalosporium</i> spp. (%)	SN	41,9bA	0,6aB	20,8b
	SAN	51,4aA	0,4aB	26,4a
	SA	56,3aA	0,8aB	28,6a
	Médias	50,6A	0,5B	
CV(%) = 16,44				

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na mesma coluna e mesma letra maiúscula na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Não foram observadas diferenças significativas, entre os tratamentos de secagem, em cada época de avaliação, com relação à incidência de *Aspergillus* spp. e *Fusarium moniliforme*. Contudo, foi detectada uma maior incidência destes patógenos na época E₄, acompanhando a mesma tendência verificada para *Fusarium moniliforme* nos Estudos 1 e 2 e para *Aspergillus* spp., no Estudo 2.

Na primeira época, quanto à incidência de *Cephalosporium* spp., os tratamentos SA e SAN mostraram resultados análogos, além de superiores aos obtidos no tratamento SN. Entretanto, na quarta época, em que a ocorrência deste fungo foi efetivamente baixa, não foram verificadas diferenças entre os tratamentos.

Fissuras internas em sementes podem não afetar a germinação imediatamente após sua ocorrência, entretanto, causam reduções no vigor e na longevidade, conforme o relatado por HARRINGTON (1972), MOORE (1974), JUSTICE & BASS (1979) e SOAVE & MORAES (1987). É oportuno destacar que este tipo de dano não é, em princípio, detectado no teste de coloração em tintura de iodo e no exame de sementes com dano mecânico visível, embora sua provável ocorrência, também possa ter contribuído para o declínio dos potenciais de conservação durante o armazenamento e de emergência das plantas em campo.

De uma maneira geral, os resultados do Estudo 3, possibilitam constatar que embora as sementes,

durante a secagem artificial (SA) à temperatura do ar de 90°C, alcancem a temperatura máxima de 41°C, não são observáveis efeitos negativos sobre a qualidade fisiológica. Quanto ao fungo *Penicillium* spp., à semelhança dos Estudos 1 e 2, denota-se uma menor incidência nas sementes submetidas à secagem artificial.

4.4. Considerações gerais

Numa análise geral, pode ser verificado que os lotes utilizados nos três estudos apresentaram similitude em determinadas características, como alta qualidade fisiológica inicial e decréscimos consideráveis desta qualidade ao longo do período de armazenamento; apesar disso, foram detectadas, algumas diferenças de qualidade, nos testes de envelhecimento rápido, de coloração de tintura de iodo e de sanidade, por ocasião da caracterização dos lotes.

Nos testes de germinação, frio sem solo, emergência em campo, coloração de tintura de iodo, nos exames de sementes infestadas e de sementes com danos mecânicos visíveis, na determinação do total de impurezas e nas incidências de *Aspergillus* spp., *Fusarium moniliforme* e *Cephalosporium* spp., não foram observadas, de uma maneira geral, diferenças acentuadas entre os efeitos das secagens natural, artificial-natural e artificial, nos Estudos 1, 2 e 3. Por outro lado, foram constatadas diferenças entre os

tratamentos de secagem, na determinação do teor de água, no teste de envelhecimento rápido e na incidência de *Penicillium* spp.

Com relação as condições ambientais de armazenamento, é possível constatar que a temperatura e a umidade relativa do ar mantiveram-se em valores considerados satisfatórios à conservação das sementes durante o armazenamento a curto prazo. O teor de água das sementes, por sua vez, não apresentou oscilações apreciáveis, no decorrer do período experimental.

O declínio da qualidade das sementes, verificado no transcurso do período de armazenamento, possivelmente, foi motivado por fatores adversos, durante a maturação fisiológica e na fase de pré-colheita e, muito provavelmente, pelos danos mecânicos por ocasião da colheita. A incidência de sementes com danos mecânicos, avaliada pelo teste de coloração em tintura de iodo, variou de 15,1 a 22,0% (Tabelas 9, 14 e 19), valores, estes, que podem ser considerados elevados, levando-se em conta que os danos internos não são, a priori, detectados neste teste.

Considerando que o nível de energia remanescente numa semente, para a execução do processo germinativo após determinado período de armazenamento, é inferior ao do momento da ocorrência do dano (MOORE, 1974 e CARVALHO & NAKAGAWA, 1988) é provável que os danos mecânicos tenham concorrido para minorar o potencial de

conservação e o desempenho no campo.

Na condução de novos estudos, similares aos realizados neste trabalho, sugere-se a utilização do teste de tetrazólio, para determinar a localização e a extensão dos danos embrionários, com a finalidade de interpretar as causas do desempenho das sementes em outros testes.

Por outro lado, vale destacar que as áreas afetadas, segundo MOORE (1974), servem como centros de desenvolvimento para os fungos de armazenamento, de tal forma que a extensão e a localização dos danos exercem considerável influência na suscetibilidade da semente à deterioração por patógenos.

A presença de fungos de armazenamento, principalmente *Penicillium* spp, cuja porcentagem de ocorrência foi elevada nos três lotes, embora não tenha afetado a viabilidade das sementes, pode ter influido no vigor e no desempenho das plântulas em campo, apesar da secagem artificial ter, de certa forma, controlado o desenvolvimento deste patógeno.

É importante ressaltar, ainda, que as sementes utilizadas no presente trabalho não foram tratadas com fungicidas, o que poderia contribuir, conforme DHINGRA et alii (1980), LASCA (1986), SOAVE & MORAES (1987) e MENTEN (1988), no sentido de controlar os patógenos associados às sementes, proteger as sementes contra fungos de armazenamento, resguardar as sementes e as plântulas de

microrganismos de solo e propiciar uma proteção residual à planta contra patógenos da parte aérea nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura.

A secagem pode contribuir para a redução da qualidade fisiológica das sementes no armazenamento; contudo, esta operação não deve ter contribuído, de forma considerável, para acelerar o processo de deterioração, visto que, a massa de sementes atingiu temperaturas máximas de 35°C, 39°C e 41°C, ao utilizar-se, no secador intermitente, respectivamente, ar aquecido à 70°C, 80°C e 90°C. Esta constatação está em consonância com os resultados alcançados por ROSA (1966) e LUZ (1986), na secagem de sementes de arroz pelo método intermitente, utilizando temperaturas do ar de 70°C, onde verificaram que a massa de sementes atingiu a temperatura máxima de 42,2°C, sem causar efeitos imediatos ou latentes sobre a qualidade fisiológica. Por sua vez, MIRANDA (1978), ao proceder a secagem de sementes de soja, em secador intermitente, à temperatura do ar de 45, 60 e 75°C, concluiu que a temperatura da massa de sementes, visando minimizar a velocidade de deterioração, não deve ultrapassar a 36,7°C.

Na secagem intermitente, em razão do arrefecimento existente durante o período de repouso, podem ser utilizadas altas temperaturas do ar, sem que a temperatura das sementes atinja níveis prejudiciais à sua qualidade fisiológica. Referindo-se a este aspecto, ROSA

(1966) afirma que a temperatura da massa de sementes conserva-se abaixo da temperatura do ar de secagem, devido ao resfriamento que elas sofrem, quando não estão sob a ação do ar aquecido e à maior evaporação de água, por unidade de tempo efetivo de secagem. Em decorrência deste último fato, as sementes perdem calor com maior intensidade, mantendo-se a temperaturas mais baixas.

A baixa condutividade térmica e o alto calor específico das sementes de milho são fatores que, provavelmente, também exerçam influência sobre este comportamento durante a secagem, levando em conta os relatos de KEEY (1975), LASSERAN (1978) e FORTES & OKOS (1980).

Uma técnica bastante promissora para a secagem de sementes de milho, em regiões ou períodos de clima seco, é a secagem em combinação. Após a colheita das sementes, com teor de água ao redor de 20%, procede-se a secagem intermitente em altas temperaturas até teores de água de 15 a 16%, complementando-se, a seguir, o processo num sistema em baixa temperatura. Desta forma haverá, provavelmente, um aumento na capacidade operacional dos equipamentos, sem efeitos prejudiciais à qualidade das sementes. Esta alternativa, entretanto, carece de maiores informações, havendo necessidade de novos estudos.

Levando em consideração os resultados alcançados, no presente trabalho, sugere-se a continuidade

deste tipo de pesquisa, contemplando aspectos que envolvam sementes com teores de água em torno de 20%, por ocasião da colheita; temperaturas do ar de secagem superiores a 90°C; considerando o binômio temperatura da massa de sementes e o tempo de exposição das sementes ao ar aquecido; outros testes para avaliação da qualidade das sementes, tais como, o de tetrazólio e o de condutividade elétrica, com o objetivo de fornecer mais subsídios para a melhor utilização do método intermitente, na secagem de sementes de milho.

5. CONCLUSÕES

A reunião das informações fornecidas pelo presente trabalho, considerando temperaturas do ar de secagem de 70, 80 e 90° C e reduções do teor de água de 16,5 para 13,0%, permite as seguintes conclusões:

- A secagem intermitente não causa efeitos prejudiciais à qualidade fisiológica de sementes de milho.

- A incidência de *Penicillium* spp. em sementes de milho pode ser reduzida pelo emprego da secagem intermitente.

- As curvas de secagem de sementes de milho, na secagem intermitente podem ser representadas por funções lineares.

- O aumento da velocidade de secagem e a redução do tempo total de exposição das sementes ao ar aquecido podem ser obtidos pela elevação da temperatura do ar de secagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, L.C. Transporte de água em grãos de feijão preto sob condições de secagem e repouso. Viçosa, 1979, 58 p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. *Seed vigor testing handbook*. Zurich, 1983. 88p (Handbook on Seed Testing. Contrib., 32).

BASKIN, C.C. Seed storage-biological aspects. In: SHORT COURSE FOR SEEDSMEN, Mississippi State, 1975. *Proceedings*. Mississippi, Mississippi State University, 1975. p. 77-80.

BDLIYA, P.M. & BURRIS, J.S. Dialled analysis of tolerance of drying injury in seed corn. *Crop Science*, Madison, 28(6): 935-8, 1988.

BITRAN, E.A. Controle químico de pragas dos grãos armazenados. IN: SEMINÁRIOS SOBRE CONTROLE DE INSETOS, Campinas, 1987. *Anais*. Campinas, Fundação Cargill, 1989. p. 2-15.

- BOYD, A.H.** Heated air drying of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seed. Mississippi, 1974. 90 p. (Ph.D.-Mississippi State University).
- BOUNOUS, E.B.** Comparação de métodos de secagem em sementes de azevém anual (*Lolium multiflorum* L.). Pelotas, 1986. 109 p. (Mestrado-Universidade Federal de Pelotas).
- BRASIL, Ministério da Agricultura.** Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. *Regras para análise de semente.* Brasília, 1980. 188 p.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W.** *Drying cereal grains.* Westport, AVI Publishing, 1974. 265 p.
- BURRIS, J.S. & NAVRATIL, R.J.** Drying high - moisture seed corn. in: 35TH ANNUAL CORN & SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, Iowa State, 1980. *Proceedings.* Ames, Iowa State University, 1980. p. 116-32.
- CABELLO, S.D.** Importancia, procedimientos y aspectos practicos en el secado de semillas. In: ACTUALIZACION SOBRE TECNOLOGIA DE SEMILLAS, México, 1982. *Memoriais.* México, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 1982. p. 37-46.

- CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J. *Sementes; ciência, tecnologia e produção*. 3.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1988. 424p.
- CAVARIANI, C. Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade da semente de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Pelotas, 1983. 128p. (Mestrado-Universidade Federal de Pelotas).
- CAVARIANI, C. & BAUDET, L.M.L. Secagem de sementes. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, **8**(91): 44-9, 1982.
- COATES, E.S. Grain and seed drying fundamentals. In: SHORT COURSE FOR SEEDSMEN, Mississippi State, 1960. *Proceedings*. Mississippi, Mississippi State University, 1960. p.111-8.
- COPELAND, L.O. & McDONALD, M.B. *Principles of seed science and technology*. Minneapolis, Burgess. 1985. 321p.
- CORREA, C.F. Secagem de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) em silo secador com distribuição radial de ar. Pelotas, 1981. 85p. (Mestrado - Universidade Federal de Pelotas).
- CROSS, H.Z. A selection procedure for ear drying-rates in

maize. *Euphytica*, Dordrecht. **34**: 409-18, 1985.

DALPASQUALE, V.A.; QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M.; SINICIO, R. *Secagem de grãos em altas temperaturas*. Viçosa, CENTREINAR, 1987. 47p.

DANIELL, J.W.; CHAPPELL, W.E.; COUCH, H.B. Effect of sublethal and lethal temperatures on plant cells. *Plant Physiology*, Rochville, **44**: 1684-9, 1969.

DELOUCHE, J.C. & POTTS, H.C. *Programa de sementes; planejamento e implantação*. Brasília, AGIPLAN, 1974. 124p.

DELOUCHE, J.C.; MATTHES, R.K.; DOUGHERTY, G.M.; BOYD, A.H. Storage of seed in sub-tropical and tropical regions. *Seed Science and Technology*, Zurich, **1**: 671-700, 1973.

DHINGRA, O.D.; MUCHOVEJ, J.J.; CRUZ FILHO, J. *Tratamento de sementes* (controle de patógenos). Viçosa, UFV, 1980. 121p.

FORTES, M. A non-equilibrium thermodynamics approach to transport phenomena in capillary-porous media with special reference to drying of grains and foods. West Lafayette, 1978. 172p. (Ph.D. - Purdue University).

FORTES, M. & OKOS, M.R. Changes in physical properties of corn during drying. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 23(4): 1004-8, 1980.

FOUST, A.S.; WENZEL, L.A.; CLUMP, C.W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L.B. *Princípios das operações unitárias*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1982. 670p.

GUILBOT, A.; MULTON, Y.L.; MARTIN, G. Determination de la teneur en eau des semences. *Seed Science and Technology*, Zurich, 1(3): 587-611, 1973.

GUNASEKARAN, S. & PAULSEN, M.R. Breakage resistance of corn as function of drying rates. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 28(6): 2071-6, 1985.

GUSTAFSON, R.J. & MOREY, R.V. Study of factors affecting quality changes during high-temperature drying. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 22(4): 926-32, 1979.

GUSTAFSON, R.J. & MOREY, R.V. Moisture and quality variations across the column of a crossflow grain dryer. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 24(2): 1621-5, 1981.

- GUSTAFSON, R.J.; MOREY, R.V.; CHRISTENSEN, C.M.; MERONUCK, R.A. Quality changes during high-low temperature drying. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 21(1): 161-9, 1978.
- HALL, C.W. *Drying and storage of agricultural crops*. Westport, Avi Publishing, 1980. 382p.
- HARRINGTON, J.F. Seed storage and longevity. In: KOZLOWSKI, T.T. *Seed biology*. New York, Academic Press, 1972. v. 3, p.145-245.
- HARRINGTON, J.F. Packaging seed for storage and shipment. *Seed Science and Technology*, Zurich, 1(3): 701-9, 1973.
- HENDERSON, S.M. & PERRY, R.L. *Agricultural process engineering*. New York, John Wiley & Sons, 1955. 604p.
- HERTER, U. Effect of drying on corn seed quality. Ames, 1987. 173p. (Ph.D - Iowa State University).
- HERTER, U. & BURRIS, J.S. Effect of drying rate and temperature on drying injury of corn seed. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, 69(3): 763-74, 1989a.
- HERTER, U. & BURRIS, J.S. Evaluating drying injury on corn

seed with a conductivity test. *Seed Science and Technology*, Zurich, 17: 625-38, 1989b.

HOWE, R.W. Loss of viability of seed in storage attributable to infestations of insets and mites. *Seed Science and Technology*, Zurich, 1: 563-86, 1973.

HUKILL, W.V. Grain drying. In: CHRISTENSEN, C.M. *Storage of cereal grains and their products*. Minnesota, American Association of Cereal Chemists, 1972. v.2, p.481-508.

JUSTICE, O.L. & BASS, L.N. *Principles and practices of seed storage*. London, Castle House, 1979. 289p.

KEEY, R.B. *Drying: principles and practice*. 2nd ed. Oxford, Pergamon Press, 1975. 340p.

KEEY, R.B. *Introduction to industrial drying operations*. Oxford, Pergamon Press, 1978. 371p.

KNEULE, F. *El secado*. Bilbao, Urmo, 1966. 405p.

KREYGER, J. Practical observations on the drying of seed. *Seed Science and Technology*, Zurich, 1: 645-70, 1973.

LASCA, C.C. Tratamento de sementes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, 2., Campinas, 1986. *Anais*. Campinas, 1986. p.93-9.

LASSERAN, J.C. Principios gerais de secagem. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, 3(3): 17-45, 1978.

LASSERAN, J.C. Características técnicas dos secadores. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, 4(2): 4-14, 1979.

LASSERAN, J.C. Utilização e desempenho de secadores: possibilidades de aperfeiçoamento. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, 5(1): 50-60, 1980.

LEE, J.F & SEARS, F.W. *Termodinâmica*. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1969. 667p.

LOEFFLER, N.L.; MEIER, J.L.; BURRIS, J.S. Comparison of two cold test procedures for use in maize drying studies. *Seed Science and Technology*, Zurich, 13: 653-8, 1985.

LUCCA FILHO, O.A. Testes de sanidade de sementes de milho. In: SOAVE, J. & WETZEL, M.M.V.S. *Patologia de sementes*. Campinas, Fundação Cargill, 1987, p. 430-40.

- LUZ, C.A.S. da.** Secagem de sementes de arroz em secador intermitente lento. Pelotas, 1986. 103p. (Mestrado - Universidade Federal de Pelotas).
- McLEAN, K.A.** *Drying and storing combinable crops.* Ipswich, Farming, 1980. 280p.
- MARCOS FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R.** *Avaliação da qualidade das sementes.* Piracicaba, FEALQ, 1987. 230p.
- MATTHES, R.K.; WELCH, G.B.; DELOUCHE, J.C.; DOUGHERTY, G.M.** Drying, processing and storage of corn seed in tropical and subtropical regions. Michigan, ASAE, 1969. 28p. (ASAE Paper, 69-577).
- MEIER, J.L.** A survey of genotype susceptibility to drying injury in maize seeds. *IOWA Seed Science*, Ames, 5(1): 4-5, 1983.
- MENEZES, M.** Aspectos diagnósticos na detecção de *Fusarium* em sementes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SEMENTES, 3., Campinas, 1988. *Anais.* Campinas, 1988. p.140-56.
- MENTEN, J.O.M.** Importância da semente na transmissão de patógenos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, 2. Campinas, 1986. *Anais.* Campinas, 1986. p.27-40.

MENTEN, J.O.M. *I Semana de atualização em patologia de sementes*. Piracicaba, FEALQ, 1988. 76p.

MIRANDA, T.R. Secagem intermitente lenta de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Pelotas, 1978. 93p. (Mestrado - Universidade Federal de Pelotas).

MOES, J. & VYN, T.J. Management effects on kernel breakage susceptibility of early maturing corn hybrids. *Agronomy Journal*, Madison, **80**: 699-704, 1988.

MOORE, R.P. Effects of mechanical injuries on viability. In: ROBERTS, E.H. *Viability of seeds*. London, Chapman and Hall, 1974. p.94-113.

NAVRATIL, B. Effects of high temperature drying on corn seed quality. *Iowa Seed Science*, Ames, **2**(1): 1-2, 1980.

NAVRATIL, R.J. & BURRIS, J.S. The effect of drying temperature on corn seed quality. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, **64**: 487-96, 1984.

NELLIST, M.E. Safe drying temperatures for seed grain. In: HEBBLETH-WAITE, P.D., *Seed Production*. London, Butterworths, 1980. p.371-88.

- NELLIST, M.E. & HUGUES, M. Physical and biological processes in the drying of seed. *Seed Science and Technology*, Zurich, 1(3): 613-43, 1973.
- PARK, K.J. Fundamentos de secagem. In: CURSO DE APERFEIÇOAMENTO EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, Campinas, 1988. *Apostila*. Campinas, UNICAMP, 1988. 26p.
- PARRISH, D.C. & LEOPOLD, A.C. On the mechanism of ageing of soybean seeds. *Plant Physiology*, Rockville, 61: 365-8, 1978.
- PESKE, S.T. & AGUIRRE, R. *Manual para operadores de unidades de beneficio de semillas (UBS)*. Cali, Colômbia, CIAT, 1987. 117p.
- PESKE, S.T. & BAUDET, L.M.L. *Considerações sobre secagem de sementes*, Viçosa, CENTREINAR, 1980. 19p.
- POPINIGIS, F. Qualidade fisiológica de sementes. *Semente*, Brasília, 1(1): 65-80, 1975.
- POPINIGIS, F. *Preservação da qualidade fisiológica da semente durante o armazenamento*. Brasília, EMBRAPA, 1976. 63p.

- POPINIGIS, F. *Fisiologia da semente*. Brasília, s.ed., 1985. 289p.
- PURDY, J.L. & CRANE, P.L. Inheritance of drying rate in mature corn (*Zea mays* L.). *Crop Science*, Madison, 7: 294-7, 1967.
- PUZZI, D. *Abastecimento e armazenamento de grãos*. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 603p.
- ROBERTS, E.H. Physiology of ageing and its application to drying and storage. *Seed Science and Technology*, Zurich, 9: 359-72, 1981.
- ROCKLAND, L.B. Water activity and storage stability. *Food Technology*, Chigago, 23: 1241-51, 1969.
- ROSA, O.S. Temperaturas recomendadas para a secagem de sementes de trigo e arroz utilizando o método intermitente. In: SEMINÁRIO PANAMERICANO DE SEMILLAS, 5., Macaray, 1966. *Anais*. Macaray, 1966. 27p.
- SEYEDIN, N.; BURRIS, J.S.; FLYNN, T.E. Physiological studies on the effects of drying temperatures on corn seed quality. *Canadian Journal of Plant Science*,

Ottawa, **64**: 497-504, 1984.

SILVA, J.S.; LACERDA FILHO, A.F.; DALPASQUALE, V.A. Métodos de secagem e secadores. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, **9**(99): 3-5, 1983.

SILVA, W.R. Secagem das sementes. In: **CICERO, S.M.; MARCOS FILHO, J.; SILVA, W.R.**, org. *Atualização em produção de sementes*. Campinas, Fundação Cargill, 1986. p.155-82.

SILVEIRA, G.M. Tipos de secadores e métodos de operações. *A granja*. Porto Alegre, **340**: 28-33, 1976.

SOAVE, J. & MORAES, S.A. Medidas de controle das doenças transmitidas por sementes. In: **SOAVE, J. & WETZEL, M.M.V.S.** *Patologia de sementes*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.192-259.

SODHA, M.S.; BANSAL, N.K.; KUMAR, A.; BANSAL, P.K. MALIK, M.A.S. *Solar crop drying*. Volume I. Boca Raton, CRC Press, 1987. 141p.

TOLEDO, F.F. de & MARCOS FILHO, F. *Manual das sementes; tecnologia da produção*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1977. 224p.

- TÓTH, A. & SULLER, Á. Examination of maize; seed drying process. *International Agrophysics*, Budapest, 3(4): 343-52, 1987.
- VEGA, C.R. Efeito do método de secagem sobre a qualidade da semente de arroz (*Oryza sativa* L.). Pelotas, 1989, 123p. (Mestrado - Universidade Federal de Pelotas).
- VILLA, G.L. & ROA, G. *Secagem e armazenamento de soja industrial e sementes a granel*. Campinas, Fundação Cargill, 1979. 64p.
- WELCH, G.B. Articles on seed drying. *Seedsmen's Digest*. Mississippi, Mississippi State University, 1967. 15p.
- WETZEL, M.M.V.S. Fungos de armazenamento. In: SOAVE, J. & WETZEL, M.M.V.S. *Patologia de sementes*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.260-75.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.D.; SILVEIRA JUNIOR, P. *Sistema de Análise Estatística para Microcomputadores - SANEST*. Pelotas, 1984.