

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Tecnologia de Sementes



Dissertação

**SECAGEM INTERMITENTE: VELOCIDADE DE SECAGEM, DESEMPENHO
ENERGÉTICO E QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA**

MARIVAN DA SILVA PINHO

PELOTAS
Rio Grande do Sul - Brasil
Janeiro de 2009

MARIVAN DA SILVA PINHO

**SECAGEM INTERMITENTE: VELOCIDADE DE SECAGEM, DESEMPENHO
ENERGÉTICO E QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pelotas, sob a orientação do Prof. Dr. Francisco Amaral Villela, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

PELOTAS

Rio Grande do Sul - Brasil

Janeiro de 2009

Dados de catalogação na fonte:

Ubirajara Buddin Cruz – CRB-10/901

Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

P654s Pinho, Marivan da Silva

Secagem intermitente : velocidade de secagem, desempenho energético e qualidade de sementes de soja / Marivan da Silva Pinho ; orientador Francisco Amaral Villela ; co-orientador: Leopoldo Mario Baudet Labbe, Silmar Teichert Peske. – Pelotas, 2010. – 78f. : il. – Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2010.

1.Secagem de sementes. 2.Taxa de secagem. 3.*Glycine max.* I.Villela, Francisco Amaral. II.Labbe, Leopoldo Mario Baudet. III.Peske, Silmar Teichert. IV.Título.

CDD: 635.26

Comitê de orientação:

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela

Co-Orientadores:

Prof. PhD. Leopoldo Baudet

Prof. PhD. Silmar Teichert Peske

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Francisco Amaral Villela

Prof. Dr. Leopoldo Baudet

Prof. Dr. Silmar Teichert Peske

Prof. Dr. Daniel Silva Guimarães

Aprovada em: 18/01/2009.

Dedico este trabalho aos meus pais Manoel Martins Pinho e Deli da Silva Pinho, a minha esposa Josiane Conrado Pinho e ao meu irmão João Manoel da Silva Pinho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Jesus Cristo pelo seu amor e pela sua misericórdia a cada manhã.

Ao professor Francisco Amaral Villela pela amizade e colaboração no direcionamento deste trabalho.

A professora Maria Ângela pelo incentivo e amizade.

Aos professores e funcionários do programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes pela dedicação e amizade.

Aos meus colegas pela confiança e pelos momentos agradáveis ao longo do curso.

Aos meus colegas do Departamento de Desenho pelo constante apoio no meu trabalho.

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a taxa máxima de secagem que preserva a qualidade fisiológica de sementes de soja, em função da temperatura; estabelecer a relação entre temperaturas da câmara de secagem e dispositivo de descarga; determinar a dissipação de energia através das paredes e a eficiência energética no aquecimento do ar, três modelos comerciais de secadores de vinte cinco toneladas de capacidade estática foram utilizados para reduzir o teor de água de 18% para 13%, base úmida, com relações de intermitência de (1:3,6), (1:2,3) e (6:1) e temperaturas de secagem de 38, 41, 44 e 47°C. Verificou-se que a velocidade de secagem aumenta linearmente com aumento da temperatura da massa de sementes, sendo os limites superiores variáveis de 1,17 pp/h a 1,45 pp/h, correspondentes a temperatura da massa de sementes de 38°C a 41°C; que a variação de temperatura entre a câmara de secagem e a descarga atinge no máximo 3°C a 5°C, conforme o tempo de residência do secador intermitente; que o limite máximo da temperatura da temperatura das sementes de soja na câmara de secagem, sem prejudicar a qualidade fisiológica, varia de 38°C a 41°C e depende da relação de intermitência e do tempo de residência do secador; que a taxa de consumo de energia decresce linearmente com o aumento da temperatura da massa de sementes que a energia dissipada através das paredes de um secador intermitente representa em média de 13% a 15% da energia efetiva consumida; que a energia necessária para o aquecimento do ar representa 21% a 30% da energia efetivamente utilizada na secagem em secadores intermitentes.

Palavras-chave:

Secagem de sementes- taxa de secagem –Glycine max

ABSTRACT

In order to evaluate the drying maximum ration as function of temperature whit physiology quality preservation, to establish the relationship between drying chamber dryer and discharge device temperatures, to determine energy dissipation in dryer walls and the dryer heated air efficiency, three 25 ton commercial models dryers capacity were used to reduce seed moisture content from 18% to 13%, wet basis, with (1:3,6), (1:2,3) and (6:1) intermittence relationship and 38, 41, 44 and 47 °C drying temperatures. It was verified that the drying speed increases lineally whit the increases of seed temperature whit high values ranging from 1,17 to 1,45 pp/h, corresponding to 38 °C to 41 °C mass seed temperature, respectively; the difference between drying chamber and dryer discharge device temperature reaches maximum values of 3 °C to 5 °C, according seed dryer staying time; the maximum dryer drying chamber temperature to avoid seed damage ranges from 38 °C to 41 °C and depends on intermittence relationship and dryer staying time; the energy consumption decreases linearly with de increase of seed mass temperature; the energy dissipates throught intermittent dryer walls represents, in average, 13% to 15% of effective energy consumption; the energy amount to heat air represents 21% to 30% of energy used in intermittent dryers. temperature of the mass of seeds being a tax of 0,03 firewood m³ in the dryer (A); 0,09 m³ of peel of rice in the dryer (B) and 0,05 firewood m³ in the dryer (C) for each degree of increase of the temperature of the mass of seeds. The energy dissipated through the walls of the dryer was on average of 13,25%; 15,24% and 13,06% in the respective dryers A, B and C. the energy efficiency in the dryers A, B and C was respectively of 30,63%, 21,33% and 30%.

Keywords: Seed drying- drying ratio- Glycine max

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, para máxima temperatura da massa de 38 °C.....	45
TABELA 2. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, para máxima temperatura da massa de 41 °C.....	46
TABELA 3. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, para máxima temperatura da massa de 44 °C.....	48
TABELA 4. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, para máxima temperatura da massa de 47 °C.....	49
TABELA 5. Dados médios de germinação dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.....	51
TABELA 6. Dados médios de primeira contagem de germinação dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.....	52
TABELA 7. Dados médios de envelhecimento acelerado dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.....	53
TABELA 8. Dados médios de emergência a campo dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.....	53
TABELA 9. Condições psicrométricas de temperatura e umidade relativa.....	54
TABELA 10. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 38 °C.....	56
TABELA 11. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 41 °C.....	57
TABELA 12. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 44 °C.....	58
TABELA 13. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 47 °C.....	59

TABELA 14. Dados médios de germinação dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.	63
TABELA 15. Dados médios de primeira contagem dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.	63
TABELA 16. Dados médios de envelhecimento acelerado dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.	63
TABELA 17. Dados médios de emergência a campo dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.	64
TABELA 18. Dados médios de umidade dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.	64
TABELA 19. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 38 °C.	66
TABELA 20. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja com máxima temperatura da massa de 38 °C.	67
TABELA 21. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 44 °C.	68
TABELA 22. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 47 °C.	69
TABELA 23. Dados médios de germinação dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.	72
TABELA 24. Dados médios de primeira contagem de germinação dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.	72
TABELA 25. Dados médios de envelhecimento acelerado dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.	73
TABELA 26. Dados médios de emergência em campo dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.	73
TABELA 27. Dados médios de umidade dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.	73

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Comportamento da curva de secagem relacionando o teor de água, temperatura da semente e velocidade de secagem.....	23
FIGURA 2. Estrutura do experimento para a variável resposta qualidade.....	34
FIGURA 3. Estrutura do experimento para a variável resposta velocidade de secagem e desempenho energético.	35
FIGURA 4- Representação da casualização para cada secador.....	35
FIGURA 5. Vistas ortogonais do secador A (dimensões em m).....	37
FIGURA 6. Vistas ortogonais do secador B (dimensões em m).....	38
FIGURA 7. Vistas ortogonais do secador C (dimensões em m).....	39
FIGURA 8. Determinação dos volumes de combustível.	41
FIGURA 9. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 38°C na massa de sementes.....	46
FIGURA 10. Curva de secagem relacionando o teor de água, a temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 41°C na massa de sementes.	47
FIGURA 11. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 44°C na massa de sementes.....	48
FIGURA 12. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 47°C na massa de sementes.	49
FIGURA 13. Velocidade de secagem em função do intervalo de temperatura da massa.....	50

FIGURA 14. Consumo efetivo de energia em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47 °C.	55
FIGURA 15. Comportamento da curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 38 °C na massa de sementes.	56
FIGURA 16. Comportamento da curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 41 °C na massa de sementes.	57
FIGURA 17. Comportamento da curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 44 °C na massa de sementes.	58
FIGURA 18. Comportamento da curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 47 °C na massa de sementes.	59
FIGURA 19. Velocidade de secagem em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47 °C.	60
FIGURA 20. Consumo efetivo de energia em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47 °C.	65
FIGURA 21. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 38 °C na massa de sementes.	66
FIGURA 22. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 41 °C na massa de sementes.	67
FIGURA 23. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 44 °C na massa de sementes.	68
FIGURA 24. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 47 °C na massa de sementes.	69
FIGURA 25. Consumo efetivo de energia em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47 °C.	70
FIGURA 26. Consumo efetivo de energia em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47 °C.	74

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. PANORAMA DA SOJA	17
2.2. SECAGEM DA SEMENTES	18
2.3. ÁGUA NA SEMENTE	21
2.4. FUNDAMENTOS DA SECAGEM	22
2.5. MÉTODOS DE SECAGEM.....	26
2.6. ENERGIA NA SECAGEM DE SEMENTES	29
2.7. TRANSFERÊNCIA DE CALOR	31
MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	33
3.2. PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO	34
3.3. CARACTERÍSTICAS DOS SECADORES	36
3.4. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SEMENTES	39
3.5 DETERMINAÇÃO PARA O DESEMPENHO ENERGÉTICO DO SECADOR	40
3.5.1.EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	40
3.5.2. CONSUMO EFETIVO DE COMBUSTÍVEL.....	41
3.5.3. DISSIPAÇÃO DE ENERGIA NAS PAREDES DO SECADOR.....	42
3.6. VELOCIDADE DE SECAGEM.....	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. SECADOR A.....	44
4.1.1. VELOCIDADE DE SECAGEM	44
4.1.2. QUALIDADE FISIOLÓGICA.....	50

4.1.3. DESEMPENHO ENERGÉTICO	54
4.2. SECADOR B.....	55
4.2.1. VELOCIDADE DE SECAGEM	55
4.2.2. QUALIDADE FISIOLÓGICA.....	60
4.2.3. DESEMPENHO ENERGÉTICO	64
4.3. SECADOR C	65
4.3.1. VELOCIDADE DE SECAGEM	65
4.3.2. QUALIDADE FISIOLÓGICA.....	70
4.3.3. DESEMPENHO ENERGÉTICO	74
CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

INTRODUÇÃO

Na área de pós-colheita, a secagem é a operação que requer maior consumo de energia para obtenção de sementes de qualidade para a armazenagem ou a comercialização. Este tipo de produto apresenta geralmente teores de água que devem ser reduzidos, no menor período de tempo possível, por meio de secagem artificial para proporcionar condições seguras de armazenamento.

A capacidade de secagem e a qualidade das sementes são muito abordadas em pesquisas, porém existe escassez de estudos referentes às perdas energéticas através das paredes dos secadores em virtude da indisponibilidade de informações sobre o consumo energético e a eficiência térmica de diferentes modelos de secadores intermitentes.

Levando em consideração a necessidade do aumento da taxa de secagem de grandes volumes de sementes colhidas com elevada umidade, é imprescindível aperfeiçoar a eficiência e a eficácia do método intermitente, principalmente nas regiões cujas condições climáticas não são favoráveis à permanência de sementes no campo após o ponto de colheita.

Além disso, aliada à busca por maior qualidade e quantidade de sementes produzidas está a necessidade da utilização racional de energia, de modo que a prática da secagem artificial de sementes de soja seja economicamente viável e sustentável do ponto de vista da preservação dos recursos naturais.

Dentro deste contexto, torna-se relevante à busca de alternativas que promovam a otimização do desempenho dos secadores através do aumento da velocidade de secagem e maximização da capacidade operacional, permitindo maior número de cargas de secagem por dia, com a manutenção da qualidade fisiológica das sementes. Tais avanços, além de proporcionarem maior rentabilidade aos agricultores pelos maiores volume e valor da semente produzida, reduziriam o custo

de produção em virtude do menor consumo de energia, o que representa importante benefício econômico e social, como também, ambiental.

Sendo assim, este trabalho tem por objetivos:

- avaliar a máxima taxa de secagem das sementes de soja em função da temperatura da massa de sementes preservando sua qualidade fisiológica.
- relacionar a temperatura da massa de sementes na câmara de secagem com a temperatura da massa de sementes na descarga do secador.
- determinar a dissipação de energia através das paredes dos secadores.
- avaliar a eficiência energética dos secadores para o aquecimento do ar de secagem.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama da soja

A soja é uma das principais culturas da economia agrícola do Brasil que atualmente detém a maior área de cultivo, participando da economia de pequenos, médios e grandes estabelecimentos rurais do país (Embrapa, 2008). O aperfeiçoamento de técnicas no processo produtivo da cultura torna-se imprescindível na obtenção de um produto de alta qualidade no mercado e manutenção na sustentabilidade dos produtores.

No panorama Mundial, verificado na safra de 2006/07, o Brasil tem a segunda maior produção de soja com 58,4 milhões de toneladas em uma área de 20,687 milhões de hectares, o que condiciona uma produtividade média de 2.823 kg por hectare, sendo a fatia de produção de soja no mundo liderado pelos Estados Unidos com 39,6%, seguido do Brasil com 23,6%, Argentina com 18,3%, China com 7%, Índia com 3,7% e outros com 7,8% (FAO, 2006; Embrapa, 2008).

A produção média de soja no Brasil, no período de 2004 a 2006, tem a liderança do Estado do Mato Grosso representando 31%, seguido do Paraná com 19%, Goiás, 12% e Rio Grande do Sul, 10%. Em relação ao Rio Grande do Sul, os municípios que apresentam maior produção são Tupanciretã, Cruz Alta, Palmeiras das Missões e Santa Bárbara do Sul, que somados correspondem a 10% da produção do Estado, sendo a região Central responsável por 13% e a do Alto do Jacuí por 10% da produção gaúcha (CEPAN, 2009).

A quantidade de soja brasileira exportada corresponde a US\$ 9,3 bilhões, representando 6,8% do total exportado, o que reflete a importância econômica que a soja proporciona para todos da cadeia produtiva. Além disto, é uma das poucas culturas que tem todos os aminoácidos essenciais, em quantidade suficiente, para o desenvolvimento adequado do corpo humano, visto que o alimento a base de soja é

o principal elemento de erradicação da fome oriunda dos países africanos (FAO, 2009).

2.2 Secagem de sementes

No ponto de maturidade fisiológica é máxima a quantidade de matéria seca nas sementes e, conseqüentemente, é máxima a qualidade. Entretanto, o seu teor de água é aproximadamente 50%, o que torna inviável a operação da colheita mecânica, devido aos danos físicos nas sementes e à grande quantidade de folhas que impossibilitam a operação (LACERDA, 2003).

A fase compreendida entre a maturidade fisiológica e a colheita corresponde a um período de armazenamento em campo, durante o qual as condições climáticas freqüentemente são desfavoráveis. Os mecanismos de sorção e dessorção de água das sementes de soja propiciam oscilação de umidade diária em até cinco pontos percentuais, em virtude da temperatura e umidade relativa ambiente, ocasionando perda de flexibilidade dos tecidos, acelerando assim o processo de deterioração das sementes. Dessa maneira, as sementes de soja devem ser colhidas quando ainda seu grau de umidade é alto, em torno de 18%, o que evita que condições desfavoráveis no campo acelerem o processo de deterioração (BAUDET et al., 1983; AHRENS, 2000; CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

Após a maturidade fisiológica, o teor de água das sementes vai decrescendo de maneira mais acelerada, sendo bastante afetado pelas condições ambientais reinantes, capazes de comprometer a qualidade de sementes para fins de semeadura. Assim sendo e considerando a produção comercial de grandes volumes de sementes, torna-se imperativo o uso da secagem artificial, em particular do método intermitente, quanto ao suprimento de ar aquecido que se corretamente empregado, não provoca danos às sementes (CARVALHO, 2000; CARDOSO, 2005; GUIMARÃES, 2005).

A recomendação de realizar a colheita de sementes com elevado teor de água, minimizando perdas em quantidade e qualidade, condiciona o produtor à utilização da secagem artificial o mais rapidamente possível, não ultrapassando o período de 24 horas, sendo o método intermitente o mais adequado por permitir maior capacidade de secagem (VILLELA, 1991; BAUDET et al., 1999).

A secagem artificial permite antecipar a colheita, reduzindo assim perdas por deiscência natural e oportuniza maior tempo de armazenamento, pois o teor de água tem influência direta na taxa respiratória da semente. A secagem artificial propicia inúmeras vantagens para as empresas produtoras de sementes, porém é fundamental o conhecimento técnico tanto das sementes como do secador, pois procedimentos inadequados do operador podem causar danos irreversíveis, conduzindo a inviabilidade do produto para o mercado (MIRANDA, 1999; MILMAN, 2001).

A relação de intermitência permite a utilização de temperaturas do ar de secagem elevadas, pois condiciona que a temperatura da massa de sementes seja mantida inferior à temperatura do ar de secagem, devido à permanência das sementes na equalização. Assim sendo, possibilita maior capacidade de secagem em relação a outros métodos, sendo possível secar 3 a 4 cargas por dia, enquanto na secagem estacionária há possibilidade de alcançar, em média, a uma carga por dia (PESKE e VILLELA, 2008).

Na secagem, destaque deve ser dado à temperatura da massa de sementes, sendo assim, nada impede que sejam utilizadas temperaturas elevadas no ar, no entanto, é imprescindível que a temperatura da massa de sementes seja mantida abaixo de limites seguros para não afetar as suas estruturas (BURRIS, 1997; BAUDET et al., 1999; BRACCINI, 2001).

No método intermitente, as curvas de secagem para as sementes são lineares. Sendo a velocidade máxima de secagem recomendada de 1,2 pp/hora para soja e feijão e de 1,8 a 2 pp/hora para arroz e trigo, segundo PESKE e VILLELA (2008), torna-se relevante à pesquisa com sementes de soja em diferentes modelos de secadores intermitentes, pois dependendo da relação de intermitência e do tempo de residência poderá permitir velocidade de secagem superior a 1,2 pp/hora, possibilitando assim uma maior capacidade de secagem (cargas/dia).

Torna-se primordial a adoção de tecnologias avançadas, como a secagem artificial, para produzir sementes de alta qualidade e em quantidade, atendendo assim, a demanda do mercado (PESKE e VILLELA, 2008).

Na secagem intermitente, a cada ciclo de passagem da massa de sementes pelo secador, as sementes permanecem determinado período de tempo na câmara de secagem e na de equalização. Na câmara de secagem, há um aquecimento superficial da semente, o que possibilita migração de água do interior para a

superfície durante a passagem das sementes pela câmara de equalização. Ao retornar para a câmara de secagem, o vapor de água encontra-se na superfície das sementes, favorecendo assim, a remoção de água.

Em razão da intermitência, é possível o emprego de temperaturas do ar aquecido de até 70 a 80°C, sem ocasionar, entretanto, excessivo aquecimento da semente, a qual, em geral, não atinge temperaturas acima de 40 - 43°C, o que depende de diversos fatores, dentre eles: modelo de secador, condições operacionais de secagem, características do produto, espécie e cultivar (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000; PESKE e VILLELA, 2006). Considerando estes fatores, com a elevada velocidade de secagem do método intermitente, é possível a remoção de 1 a 2 pontos percentuais de água por hora. Em função destas vantagens, segundo PESKE e VILLELA (2006), o método intermitente é empregado em larga escala na secagem de sementes de arroz e cada vez mais vem se constituindo numa alternativa viável para sementes de soja, milho, trigo e azevém, entre outras espécies, principalmente pelo fato de garantir uma eficiente remoção de água, sem afetar a qualidade fisiológica.

Levando em consideração a necessidade do aumento da taxa de secagem de grandes volumes de sementes colhidas com elevada umidade, é necessário aperfeiçoar a eficiência e a eficácia do método intermitente, principalmente, nas regiões onde as condições climáticas não são favoráveis à permanência de sementes no campo após o ponto de colheita.

Além disso, aliada à busca por maior qualidade e quantidade de sementes produzidas, está à necessidade da utilização racional de energia, de modo que a prática da secagem artificial de sementes de soja seja economicamente viável e sustentável do ponto de vista da preservação dos recursos naturais.

Dentro deste contexto, torna-se relevante a busca de alternativas que promovam a otimização do desempenho dos secadores pelo aumento da velocidade de secagem e maximização da capacidade operacional, permitindo a secagem de maior número de cargas por dia, com a manutenção da qualidade fisiológica da semente. Tais avanços, além de proporcionarem maior rentabilidade aos agricultores, pelo maior quantidade e valor da semente produzida, reduziriam o custo de produção em virtude do menor gasto de energia, o que representa importante benefício econômico e social, como também, ambiental.

2.3 Água na semente

A semente sendo higroscópica recebe e perde água para o ambiente até atingir o equilíbrio entre as pressões de vapor de água da semente e do ar, constituindo assim a curva de equilíbrio higroscópico, representada através de sigmóide, sendo que esta curva sofre influência da: a) umidade relativa do ar, ou seja, quanto maior a umidade relativa maior o teor de água de equilíbrio da semente; b) temperatura do ar, quanto maior a temperatura do ar menor o teor de água da semente a entrar em equilíbrio; c) composição química da semente, as sementes com maior quantidade de proteínas são mais higroscópicas, ou seja, tem maior teor de água para equilibrar com a umidade relativa, em comparação com as sementes ricas em carboidratos e lipídeos. Isto decorre do fato de as proteínas serem substâncias que tem o maior número de sítios polares, o que permite maior capacidade de adsorção de água, sendo hidrofóbicas as substâncias ricas em óleo; d) histerese, a semente ao perder água, apresenta um comportamento que pode ser representado por uma curva de dessorção e ao ganhar por uma curva de sorção. A curva de sorção tem os pontos de equilíbrio acima da curva de adsorção, em decorrência da histerese que ocorre devido o calor de dessorção ser maior que adsorção, ou seja, os mecanismos de economia de água utilizados pelas sementes são mais eficientes que os mecanismos utilizados pelo ambiente (CARVALHO, 2005; PESKE e VILLELA, 2006).

O equilíbrio higroscópico é um processo lento, sendo que as sementes entram em equilíbrio entre o segundo e o oitavo mês de armazenamento, conforme as condições ambientais reinantes. Sementes de soja armazenadas na região de Pelotas, RS, inicialmente com umidade de 10%, aumentaram para 13% e 15% em três e cinco meses, respectivamente, em virtude da umidade relativa média ser superior a 80%, ocasionando assim redução de qualidade fisiológica. As sementes de soja por terem maior quantidade de lipídeos permitem maior facilidade de remoção de água, devido as propriedades termodinâmicas causarem repulsão entre as moléculas de água e as estruturas da semente (BAUDET et al., 1999, SINÍCIO et al., 2008).

Existem diversas teorias sobre os diferentes de tipos, formas e forças com que a água se encontra no interior da semente, sendo aceitos quatro tipos de água: a) tipo 1, monomolecular, água que envolve a matéria biológica, formada por uma camada de moléculas de água, sendo restrito ao intervalo de umidade de 0 a 5%,

com ligação muito forte; b) tipo 2, polimolecular, constituída por várias camadas de moléculas de água justapostas uma sobre as outras, ocorrendo no intervalo de umidade de 5 a 13%, sendo a ligação entre as moléculas fortemente adsorvida através de forças de Van der Waals; c) tipo 3, água osmótica, as moléculas de água são fracamente retida em decorrência da tensão osmótica, compreendendo o intervalo de umidade de 13 a 27%; d) tipo 4, água livre, as forças atuantes são do tipo capilar, compreendendo valores de umidade acima de 27%.

Na secagem e no armazenamento, o maior interesse é a água adsorvida, restrita ao intervalo de 0 a 27% , sendo reduzida consideravelmente a atividade metabólica, em valores de umidade abaixo de 13%, tornando-se adequado para o armazenamento seguro (BROOKER et al., 1992; CARVALHO, 2005).

Existem basicamente três teorias a respeito da origem das forças intermoleculares (forças de Van der Waals) de ligação das moléculas de água em relação às macromoléculas que constituem a semente: a) efeito Keeson, estabelece que as forças surgiriam em decorrência do momento dipolar da molécula de água que ao se aproximar de outra molécula, resultaria em uma atração eletrostática; b) efeito Debye, considera que em princípio as cargas positivas e negativas tem o mesmo centro de gravidade, sendo alterado devido a aproximação de outra molécula que induziria assim a um momento dipolar; c) efeito London, estabelece que ao redor do núcleo do átomo de hidrogênio vibra um elétron constantemente com a aproximação de outro átomo de hidrogênio, os elétrons de dois átomos ocupariam as mesmas trajetórias simultaneamente, criando assim um fluxo de força que funcionaria como indutora de momento dipolar. O calor requerido para a separação de substâncias unidas por adsorção é em torno de 5 kcal.mol^{-1} , sendo $100 \text{ kcal.mol}^{-1}$ a energia necessária para a separação dos componentes químicos da substância (CARVALHO, 2005).

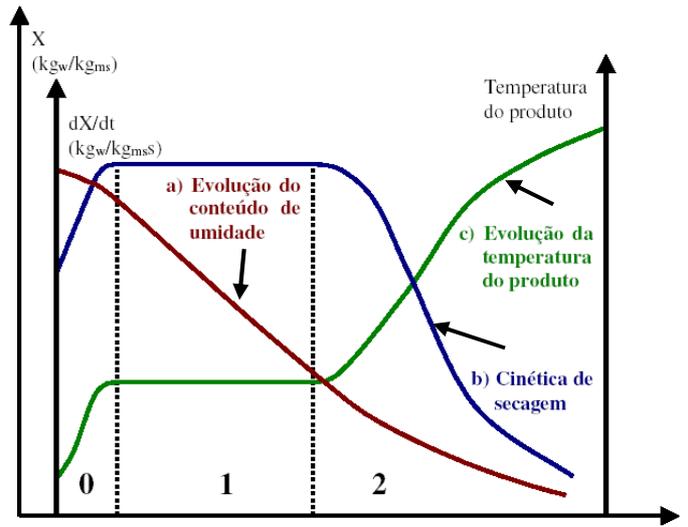
2.4 Fundamentos da secagem

O ar é constituído por inúmeros gases e vapor de água, sendo que as propriedades do ar como temperatura, umidade relativa e densidade, entre outras, sofrem alterações em função da quantidade do calor recebido.

O ar de secagem apresenta basicamente as funções de fornecimento de energia térmica na evaporação da água superficial das sementes, retenção e

transporte deste vapor de água. No processo isoentálpico, ocorre transferência de massa e energia entre o ar e a semente, ou seja, o que o ar fornece em energia térmica recebe em vapor de água. A capacidade do ar em reter o vapor de água varia proporcionalmente à temperatura (PARK, 2008).

O estudo das fases da secagem pode ser representado através da Figura 1, onde se verifica o comportamento da temperatura da semente, o teor de água e a velocidade de secagem durante os períodos (0, 1 e 2) em determinado intervalo de tempo da secagem.



Legenda: **X** – teor de água da semente; **dX/dt**- velocidade de secagem; **kgw/kgms**- massa de água por matéria seca de semente; **kgw/kgmsS**- massa de água por matéria seca de sementes na unidade de tempo.

FIGURA 1. Comportamento da curva de secagem relacionando o teor de água, temperatura da semente e velocidade de secagem.

Fonte: (PARK, 2008). Capturado em 02/01/2009

No **período de indução (0)**, inicialmente a semente tem sua temperatura acentuadamente inferior à temperatura do ar de secagem, no entanto, a energia térmica em excesso promove brusca elevação da temperatura da semente, ocasionando uma taxa crescente na velocidade de secagem.

No **período de taxa constante (1)**, o comportamento da velocidade de secagem é constante em decorrência da água evaporada da semente ser água livre, sendo o limite crítico de umidade de 16%, ou seja, valores inferiores a este condicionam dificuldade de remoção de água passando para o estágio de taxa decrescente. A temperatura da semente é igual à temperatura de bulbo úmido do ar, ou seja, constante, pois há igualdade entre energia térmica cedida e quantidade água recebida pelo ar.

A secagem à taxa constante ocorre muito rapidamente em sementes, portanto pode ser desconsiderada na análise do processo de secagem. A taxa de migração de água interna para a superfície da semente é igual ou maior do que a máxima taxa de remoção do vapor de água pelo ar, representando que somente é evaporada a água livre (BROOKER et al., 1992).

A taxa constante é uma transferência de calor e massa intimamente relacionada à fronteira entre a superfície da semente e o ar envolvente, por isso poderá ser representada pela fórmula (PARK, 2008):

Fluxo de água por unidade de área:

$$N = \beta \cdot (T_{\infty} - T_s) / H_v$$

Onde,

N - fluxo de água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

β - coeficiente convectivo de transferência de massa ($\text{kg} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

T_{∞} - temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$)

T_s - temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$)

H_v - Entalpia de vaporização ($\text{W} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

O coeficiente convectivo também denominado coeficiente de película, sendo função de inúmeras variáveis como: geometria da semente, forma de contato do ar com a semente, velocidade do ar e propriedades de físicas do ar. O valor do coeficiente convectivo vale 25 a 250 $\text{kcal} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ para ar em convecção forçada. No entanto, é necessário utilizar o coeficiente de película de maneira adequada em virtude de o escoamento do ar sobre a superfície da semente não ser homogêneo e a transferência de calor estar diretamente relacionada com evaporação superficial (WEBER, 1975 ; PARK, 2008).

No **período de taxa decrescente (2)**, verifica-se que a velocidade de secagem diminui em decorrência da dificuldade de remoção da água, ocasionando assim aumento da temperatura da semente, que tende a atingir a mesma temperatura do ar de secagem. Esta dificuldade de movimentação da água no interior da semente esta associada à ligação da água por adsorção com as macromoléculas.

O período de taxa decrescente é subdividido em dois estádios de secagem (CARVALHO, 2005). O primeiro delimitado ao intervalo de umidade na semente de

16 a 13%, sendo que a água evapora da periferia da semente para o ar envolvente. O segundo compreende o intervalo de 13 a 5 % , sendo relacionado com a migração da água através dos tecidos internos para a superfície externa da semente. O segundo estágio condiciona uma velocidade de secagem menor em relação ao primeiro, em virtude dos obstáculos, representados pelas macromoléculas, na trajetória das moléculas de água no interior da semente.

O transporte de água no período de taxa decrescente pode ser melhor explicado através de duas teorias: difusional e capilar (PARKER et al., 2008).

A teoria difusional estabelece que o movimento de água no interior da semente está diretamente relacionado ao gradiente de concentração de água, onde se obtém a velocidade de secagem de acordo com a segunda lei de Fick, conforme a fórmula:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{ef} \cdot \nabla X)$$

Sendo,

X – teor de água (base seca)

t – tempo (s)

D_{ef} – coeficiente de difusão da água (m^2/s)

∇ - operador que age na função para produzir ∇f

Algumas considerações sobre a teoria difusional são necessárias: a) independentemente do teor de água, a difusividade da água é constante devido a secagem ser considerada um processo isotérmico; b) a velocidade de deslocamento da água é unidimensional; c) não considerar a variação volumétrica da semente, ou seja, a sua redução de tamanho no decorrer da secagem.

A teoria capilar fundamenta-se no fato de o fluxo de água ser resultante de forças que atuam nas moléculas de água, ou seja, quando as moléculas de água estão em um recipiente cilíndrico de pequeno diâmetro, são aderidas às paredes do recipiente, sendo maior quanto menor o diâmetro do tubo. Embora esta teoria não seja totalmente adequada para sementes, pois estas não são totalmente capilares, torna-se importante para fundamentar equações termodinâmicas e também não consolidar que a movimentação de água é devida somente ao gradiente de concentração de água na semente. O fluxo capilar pode ser expresso conforme a fórmula:

$$F_c = K_n \cdot Y$$

Onde,

F_c – fluxo capilar líquido ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)

K_n – condutividade hidráulica (h^{-1})

Y – potencial hidráulico capilar ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)

2.5 Métodos de secagem

A secagem artificial possibilita a colheita da semente com umidade mais alta, proporcionando ao produtor sementes de melhor qualidade e maior potencial de armazenamento (BAUDET et al., 1999). O método artificial de secagem, quanto à movimentação das sementes no interior do secador, é classificado em estacionário, contínuo e intermitente. O método estacionário consiste em forçar o ar a passar através da massa de sementes, que permanece estática. Já nos métodos contínuo e intermitente, as sementes fluem através do secador, de modo que a diferença fundamental entre estes métodos consiste na periodicidade à exposição ao ar aquecido (LUZ e PESKE, 1988).

O método contínuo não é recomendável para secagem de sementes de soja (BAUDET et al., 1999). Todavia, o método intermitente é o mais empregado na secagem de grandes quantidades de sementes de soja com alto grau de umidade, porque apresenta elevada velocidade de secagem, sendo variável, principalmente, conforme o modelo de secador empregado.

Atualmente, no estado do Rio Grande do Sul, grande parte da produção de sementes de soja é submetida à secagem artificial, pois estas começam a ser colhidas com umidade de 18% (PESKE e VILLELA, 2006). Entretanto, em virtude da inadequação do binômio sistema e tempo de secagem, tem ocorrido redução significativa da qualidade fisiológica das sementes, não alcançando, as vezes, os padrões exigidos na comercialização, o que ocasiona grandes perdas para o produtor. Neste sentido, a secagem artificial constitui-se em desafio para o agricultor e para a indústria, que devem maximizar a eficiência das técnicas de secagem afim de não reduzir a qualidade das sementes pela demora na secagem ou pela inadequada operação do sistema de secagem.

A secagem intermitente consiste na passagem sucessiva das sementes por determinados períodos de tempo na câmara de secagem e câmara de equalização até que as sementes atinjam teor de água adequado para o armazenamento. A razão de tempo em que às sementes ficam expostas na câmara de secagem e na equalização durante um ciclo é chamada de relação de intermitência, podendo ser o método classificado em intermitente rápido e lento (VILLELA, 1991).

No intermitente lento, a relação entre o tempo que as sementes ficam expostas ao ar aquecido e a equalização varia de 1:1 a 1:4, o que permite a utilização de altas temperaturas do ar, porém não excessivas porque podem ocasionar problemas à qualidade fisiológica das sementes. No entanto, baixas temperaturas do ar de secagem determinam elevado número de voltas no secador, induzindo assim elevação nos danos mecânicos às sementes (PESKE e VILLELA, 2008).

A utilização de temperatura do ar de secagem de 45, 60 e 75°C, respectivamente, e temperaturas da massa de sementes de 26,2; 33,9 e 36,7° não causaram efeitos imediatos, nem latentes na germinação de sementes de soja, porém é recomendável a utilização da temperatura do ar de secagem de 75°C por possibilitar maior capacidade de secagem, sem promover efeitos negativos à qualidade fisiológica em secadores intermitente lento (MIRANDA, 1978).

Em secador intermitente rápido, a relação do tempo que as sementes ficam expostas ao ar aquecido e na câmara de equalização por ciclo, varia 1:6 a 1:10, sendo possível a utilização de temperaturas mais elevadas devido ao maior período de tempo que as sementes ficam na câmara de equalização. Isto permite que a água interna tenha migrado à periferia, quando a semente retorna à câmara de secagem, sendo inconveniente o excessivo número de voltas que as sementes realizam através do secador, podendo promover assim elevada danificação mecânica, principalmente para as sementes de soja.

Na utilização de temperaturas do ar de secagem de 50, 70 e 90°C, constatou-se que a temperatura de 50°C proporcionou maior quantidade de voltas das sementes no secador, provocando elevada quantidade de sementes partidas. Com a temperatura de 70°C, verificaram-se os melhores resultados para a qualidade fisiológica das sementes e ao ser utilizada a temperatura de 90°C, ocorreu alta porcentagem de rachaduras no tegumento das sementes de soja em secador intermitente rápido, de acordo com CAVARIANI (1983).

A intermitência permite a utilização de temperaturas do ar de secagem mais elevadas, pois condiciona que a temperatura da massa de sementes fique mantida inferior à temperatura do ar de secagem, devido a permanência das sementes na equalização, o que possibilita maior capacidade de secagem em relação a outros métodos, pois a capacidade de secagem fica em torno de 3,5 cargas por dia, superior à secagem estacionária que no máximo chega uma carga ao dia, segundo PESKE e VILLELA (2006).

O mais importante a ser levado em conta na secagem é a temperatura da massa de sementes, porque isto não impede a utilização de temperaturas elevadas do ar. No entanto, é imprescindível que a temperatura da massa de sementes fique em dentro de limites seguros que não afetem as suas estruturas (CAVARIANI, 1983).

A temperatura elevada pode não causar efeito imediato nas sementes, porém o efeito latente manifesta-se no armazenamento. A qualidade das sementes sofre influência do tempo que elas ficam expostas à temperatura do ar de secagem (AHRENS et al., 2000).

Nas sementes expostas ao ar aquecido na secagem intermitente, ocorre um gradiente de temperatura entre o interior e a periferia, o que causa a migração da água interna para a periferia, no período de permanência na câmara de equalização. Esta ocorrência favorece a retirada da água superficial das sementes ao retornarem à câmara de secagem (BAUDET et al, 1999).

O mecanismo que propicia às sementes apresentarem temperaturas inferiores à do ar, na secagem intermitente pode ser melhor explicado em exemplo hipotético ilustrativo. No primeiro momento, as sementes apresentam umidade de 18%, sendo hipoteticamente 2% na camada superficial. O ar de secagem, com temperatura de 70°C, é insuflado através da massa de sementes e parte da energia térmica residente no ar condiciona que as sementes atinjam a temperatura de 37°C, o que proporciona a evaporação da água superficial (2%), determinando um gradiente de atuação na migração de água. As sementes ao atingirem a câmara de equalização, parte da energia térmica que se aqueceu é perdida por irradiação e parte é direcionada para o interior da semente que estabelece um gradiente de concentração de água. A água que se encontra no interior migra para a camada externa reidratando-a novamente com 2%, que sofrerá evaporação na câmara de secagem. Neste sentido, dificilmente tem-se danos térmicos, pois se a taxa de

evaporação for elevada, a temperatura da semente não se equilibra com a do ar de secagem (CARVALHO, 2005).

A velocidade de migração da água interna para a superfície externa da semente é o limitante para a máxima velocidade de secagem. A secagem intermitente torna-se mais eficiente e econômica em relação à secagem contínua devido à água interna estar migrando para a periferia, sem a utilização de energia externa.

Alta velocidade de migração de água condiciona gradientes de umidade elevados entre o interior e a periferia da semente, ocasionando um gradiente de tensão que pode promover o trincamento das sementes, principalmente de arroz e milho, ou seja, se o interior da semente está úmido, são geradas forças de compressão interna e, conseqüentemente, forças de tração na superfície externa, o que ocasiona a ruptura dos tecidos (VILLELA, 1991).

A temperatura do ar de secagem, a umidade relativa, o fluxo de ar, grau de umidade inicial e final e a espécie de semente influenciam na velocidade de secagem. As sementes de soja, ervilha e feijão perdem umidade de forma lenta em relação às sementes de gramíneas, conforme a constituição química e as propriedades físicas das sementes.

Temperaturas da massa de sementes de aveia variaram de 41 a 51,3°C, durante a secagem intermitente, causando redução no poder germinativo após seis meses de armazenamento (AHRENS et al., 2000).

Utilizando secadores intermitentes, foi verificado que a máxima temperatura do ar que poderia ser utilizada, sem afetar a qualidade fisiológica de sementes, foi de 82,2°C (KIRK et al., 1955).

Durante a secagem intermitente é conveniente que a temperatura inicial do ar seja crescente e a temperatura final decrescente, a fim de evitar choques térmicos que causam trincamento, principalmente em sementes arroz e milho (PESKE e VILLELA, 2006).

2.6 Energia na secagem de sementes

A cada ano observa-se um aumento da produção de sementes e conseqüentemente elevação do consumo energético. Dentro da cadeia produtiva, o componente que requer maior quantidade energética é a secagem.

Na secagem de sementes são utilizadas inúmeras fontes de combustível para geração de energia, sendo as mais utilizadas: gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural, óleo diesel, lenha e resíduos vegetais. Na prática, há uma grande variabilidade de utilização destes combustíveis devido a questões de conhecimento técnico, recurso econômico, implicação do meio ambiente e eficácia do poder energético. O produtor tem poucas opções na escolha de uma fonte que condicione melhores resultados de sustentabilidade, devido à inexistência de pesquisas que correlacionem diferentes modelos de secadores intermitentes com suas devidas fontes energéticas (BROOKER et al., 1992; ELIAS, 2005).

Os secadores intermitentes apresentam baixa eficiência térmica porque o ar, após atravessar a massa de sementes, ainda tem capacidade de reter água, pois sua umidade relativa não é muito elevada. Além disso, o calor gerado no combustor proporciona perdas energéticas através das chapas metálicas que envolvem a câmara de secagem, causando elevadas perdas por condução, se fazendo assim necessária mais pesquisa para contornar este efeito negativo (BROOKER et al., 1992; BAUDET et al., 1999).

A utilização da madeira como fonte energética para secagem vem desde meados dos anos 1950, sendo seu emprego bastante simples, porém sofre restrições ambientais devido a emissões de CO₂ e problemas relacionados à saúde das pessoas, como doenças pulmonares. Segundo a Organização Mundial de Saúde, os resíduos oriundos da queima da madeira refletem na morte de aproximadamente 1,6 milhões de pessoas por ano (CEPAN, 2009).

No Brasil, a madeira ocupa a terceira posição em utilização como fonte energética. O reflorestamento permite que a madeira seja uma fonte renovável, sendo assim, oportuniza a sustentabilidade de energia para os produtores (KLAUTAU, 2009).

A fonte de energia de maior consumo nas unidades de secagem no Rio Grande do Sul é a madeira, seguida por eletricidade e gás. O consumo de madeira no período de 2000 a 2001 foi de 22 milhões de metros cúbicos, representando 25% do total da área plantada no estado (IBGE, 2007)

Em relação ao gás natural, observa-se uma participação significativa desde 2000, sendo um combustível em potencial na substituição dos derivados do petróleo, madeira e eletricidade. Para que se tenha um controle mais eficiente de temperatura

durante a operação de secagem é recomendável à utilização de combustíveis gasosos, pois possibilitam regulagem e automatização mais precisa (WEBER, 1998).

O gás natural é uma fonte atrativa de energia, principalmente para o Brasil, pois o seu litoral é rico deste produto e as reservas mundiais têm perspectiva de escassez em 65 anos, superior ao petróleo que é de 40 anos. O gás natural além de não ser tóxico, é isento de odores e apresenta densidade inferior comparativamente ao propano, butano, gasolina e GLP. O ponto negativo é o baixo poder energético do gás natural comparativamente aos demais gases citados, porém é compensado pelos efeitos de segurança, pois quanto maior a densidade de um gás maior o poder energético e maiores o perigo e a instabilidade (COPERGÁS, 2008).

2.7 Transferência de calor

A transferência de calor é causada por diferença de temperatura existente entre duas regiões. Sendo a condução, convecção e irradiação mecanismos responsáveis por esta transferência de energia.

A condução é transmissão de calor devido à variação de temperatura existente entre as regiões de um determinado corpo, onde o calor é transmitido da região de maior para a de menor temperatura, de molécula para molécula, sem que haja transporte de massa.

Na convecção, a transmissão de calor ocorre através do deslocamento de massa causada por diferença de densidade existente entre regiões em determinado fluido, em consequência da variação de temperatura.

A transferência de calor por radiação ocorre de forma que todo o corpo que tenha temperatura acima do zero absoluto emite energia, ou seja, entre dois corpos a temperaturas diferentes, mesmo que exista vácuo entre eles, ocorre transferência de energia por meio de ondas eletromagnéticas.

Para a determinação do fluxo de calor por condução, em regime permanente num corpo homogêneo, ou seja, que não há variação de temperatura em determinado intervalo de tempo, utiliza-se a Lei de Fourier, representada pela fórmula:

$$\dot{q} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx}, \text{ sendo } \dot{q} \cdot \int_0^L dx = -k \cdot A \cdot \int_{T_1}^{T_2} dT \Leftrightarrow \dot{q} = \frac{k \cdot A}{L} \cdot \Delta T$$

sendo,

q- fluxo de calor por condução (kcal. h⁻¹)

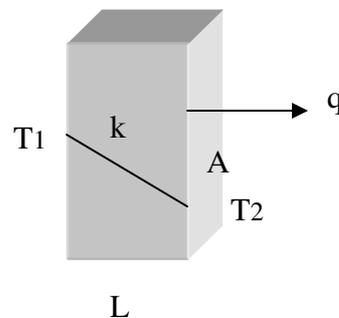
K- coeficiente de condutividade térmica, característico do material (w.m⁻¹.C⁻¹)

A- área da seção atravessada perpendicularmente pelo fluxo de calor (m²)

ΔT- variação de temperatura (°C)

L- distância que separa as duas faces.

A figura a seguir representa a transmissão de calor com as variáveis citadas anteriormente em determina parede do secador.



Com propósito de reduzir as perdas através das paredes do secador é conveniente que o material utilizado tenha baixa condutividade térmica ou a seja empregada maior espessura. Se a parede do secador for composta por diferentes materiais justapostos em série, obtém-se a fórmula:

$$\dot{q} = \frac{\Delta T}{\frac{L}{k.A}}, \text{ sendo } L / k.A, \text{ a resistência térmica} \Leftrightarrow \dot{q} = \frac{T_1 - T_4}{R_1 + R_2 + R_3}$$

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condução do experimento

A secagem foi conduzida na empresa Lorenzet, empregando um secador marca Real, no período de março e abril de 2008 e nas empresas Coplantio e Zanetti, utilizando um secador marca Risse e um secador marca Kepler-Weber, respectivamente, no período de março e abril de 2009, sendo as três empresas localizadas em Pelotas com operação em ambiente interno de secagem. As avaliações da qualidade fisiológica das sementes foram realizadas no Laboratório de Análise de Sementes, da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas.

As sementes de soja foram oriundas de campos de produção de produtores dos municípios da região, sendo a colheita realizada nos meses de março e abril de 2008 e 2009. Foram transportadas para as unidades de secagem das empresas e na recepção foi avaliado o teor de água inicial das sementes, conforme determinação de umidade pelo método da estufa, descrito nas Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 1992).

Primeiramente, realizou-se o planejamento do experimento para cada carga de 25t, destinada às unidades de secagem, com umidade de 18%, identificando por ordem de chegada. Posteriormente, foi realizada uma permutação aleatória destas cargas, sendo destinadas duas cargas para cada nível do fator temperatura da massa de sementes (38, 41, 44 e 47 °C).

Para cada carga que foi atribuído cada nível do fator temperatura, foram retiradas quatro amostras no momento do carregamento do secador, que foram submetidas à secagem natural, com movimentação freqüente, até a umidade de 13% e quatro amostras no final da secagem. O peso de cada amostra foi de 2kg, sendo estas encaminhadas ao laboratório para avaliação da qualidade física e fisiológica, realizadas nos períodos de 0, 3 e 6 meses.

As amostras foram armazenadas sob temperatura e umidade relativa ambiente, sendo 300g de cada amostra armazenada em câmara fria e seca (temperatura de 15°C e umidade relativa de 50%), para posteriormente conduzir o teste de emergência em campo, em novembro.

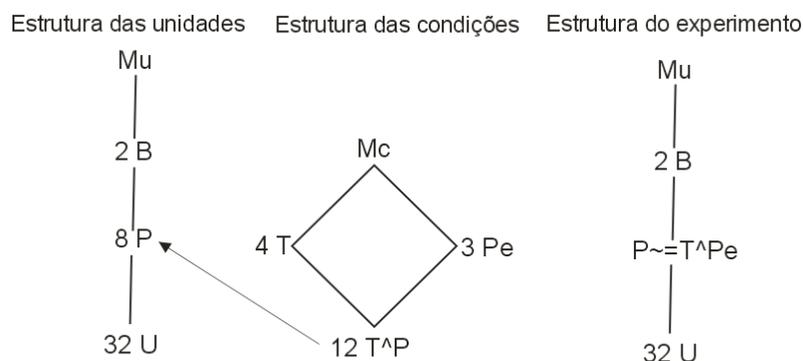
A secagem foi monitorada a cada 30 minutos, nos secadores Real e Triângulo e a cada 45 minutos no secador Kepler- Weber. Durante o ciclo de operação do secador, foram registradas simultaneamente a umidade relativa e a temperatura ambiente, através de psicrômetro e a temperatura do ar de secagem, através de termopares instalados na entrada de ar na câmara de secagem.

Nestes mesmos intervalos de tempo, foram retiradas amostras de sementes de 400g, na câmara de secagem e na descarga do secador, para a verificação da temperatura e umidade das sementes.

Para a temperatura da massa de sementes foi utilizado um termômetro com intervalo de graduação de 0 a 100°C, que foi inserido na parte central de um recipiente adiabático. Na determinação do teor de água das sementes foi utilizado um determinador expedito, modelo universal, para verificação imediata da umidade, sendo retiradas 50g de sementes e colocadas em tubos plásticos adequadamente selados para posterior determinação pelo método da estufa.

3.2 Procedimento estatístico

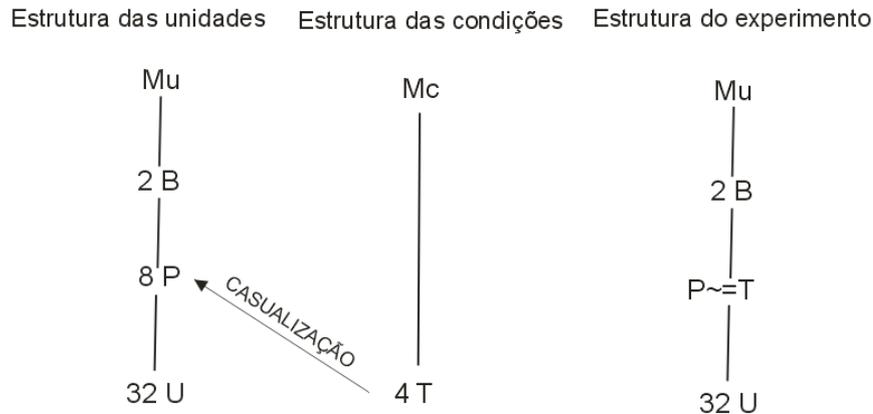
Os dados experimentais foram analisados através de polinômios ortogonais, com estrutura cruzada do fator temperatura com fator período de tempo para a obtenção dos valores da qualidade fisiológica, conforme a estrutura do diagrama de Hasse (Figura 2).



Legenda: **Mu** – agrupamento da unidades; **Mc**- agrupamento das condições experimentais; **B**- fator secadorista; **P**- fator carga de secagem 25t; **U**- fator amostra de 2kg; **Pe**- fator período; **T**- fator temperatura

FIGURA 2. Estrutura do experimento para a variável resposta qualidade.

Para a obtenção dos valores de desempenho energético e de velocidade de secagem foi utilizada a estrutura unifatorial, conforme o diagrama Hasse (Figura 3).



Legenda: **Mu** – agrupamento da unidades; **Mc**- agrupamento das condições experimentais; **B**- fator secadorista; **P**- fator carga de secagem 25t; **U**- fator amostra de 2kg; **T**- fator temperatura

FIGURA 3. Estrutura do experimento para as variáveis resposta velocidade de secagem e desempenho energético.

O processo de casualização foi realizado da seguinte forma: **1**º- Cada carga de 25t, destinada à unidade de secagem, foi identificada por uma ordem de chegada para cada secadorista, de modo que cada um ficava responsável por duas cargas, ou seja o fator secadorista funcionava como se fosse um bloco. **2**º- os níveis do fator temperatura foram colocados na seguinte ordem: 1 -38 °C; 2 -41 °C; 3 -44 °C; 4;-47 °C. **3**º- realizou- se uma permutação aleatória dos tratamentos sendo 3, 1, 4 e 2, de forma que para o tratamento 3 (44 °C) foi atribuído à carga1, o tratamento 1(38 °C) à carga 2, e assim por diante. O mesmo foi feito para o outro secadorista, ou seja, atribuição aleatória dos tratamentos para as cargas (Figura 4).

	carga 1	carga 2	carga 3	carga 4
<u>secadorista 1</u>	44 °C	38 °C	47 °C	41 °C
<u>secadorista 2</u>	38 °C	41 °C	44 °C	47 °C

FIGURA 4- Representação da casualização das temperaturas para cada secador.

A variável temperatura da massa de sementes sendo quantitativa analisou-se o comportamento intervalar do fator temperatura dentro de cada nível de período de

avaliação. Foi utilizado o programa Winsat para a análise estatística, permitindo assim avaliar o modelo adequado que representasse o comportamento da qualidade fisiológica, desempenho energético e velocidade de secagem no intervalo de 41 a 47°C.

3.3. Características dos secadores

A seguir são apresentadas as características dos secadores com as respectivas vistas ortogonais.

Secador A

Empresa: Lorenzet

Marca: Real

Relação de intermitência: 1: 3,6

Ventilador: centrífugo com potência de 15cv.

Combustível utilizado: lenha

Sistema de descarga: eclusas rotativas

Volume da câmara de secagem: 12,5 m³

Volume da câmara de equalização: 45 m³

Volume total: 57,5 m³

Tempo de descarga: 30 min

Tempo de residência: 6,5 min

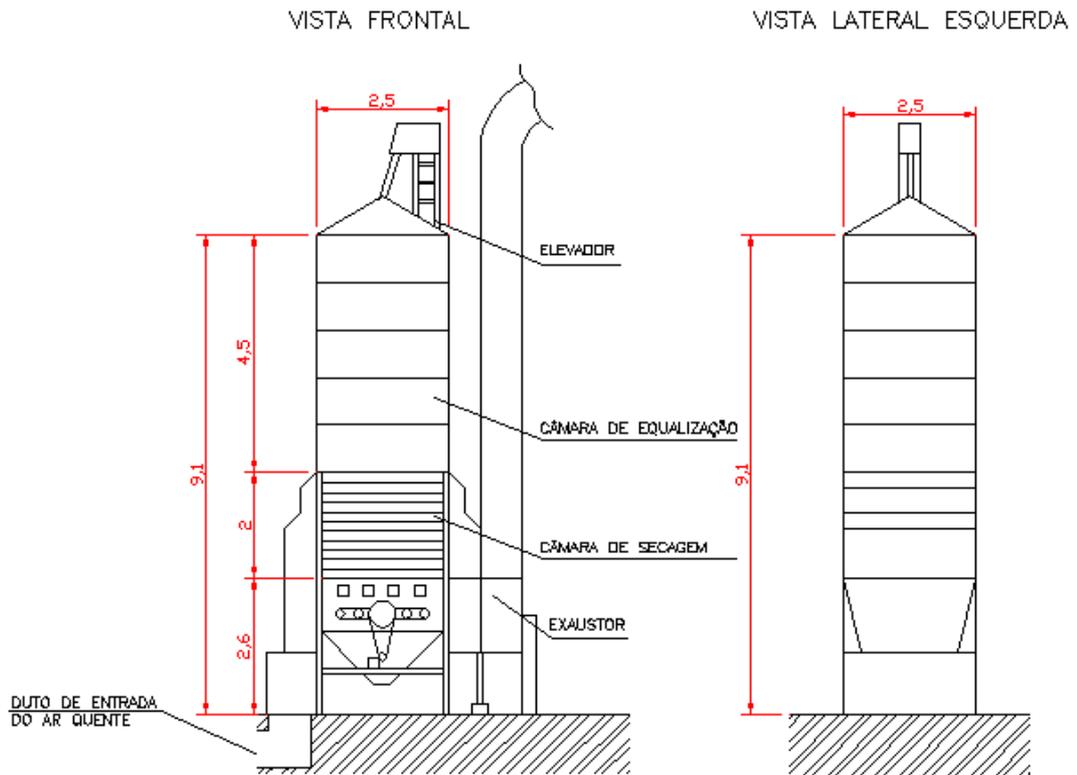


FIGURA 5. Vistas ortogonais do secador A (dimensões em m).

Secador B

Empresa: Coplantio

Marca: Risse

Relação de intermitência: 1 : 2,3

Ventilador: centrífugo com potência de 15cv.

Combustível utilizado: casca de arroz

Sistema de descarga: eclusas rotativas

Volume da câmara de secagem: 14,5 m³

Volume da câmara de equalização: 33,4 m³

Volume total: 47,9 m³

Tempo de descarga: 30 min

Tempo de residência: 9 min

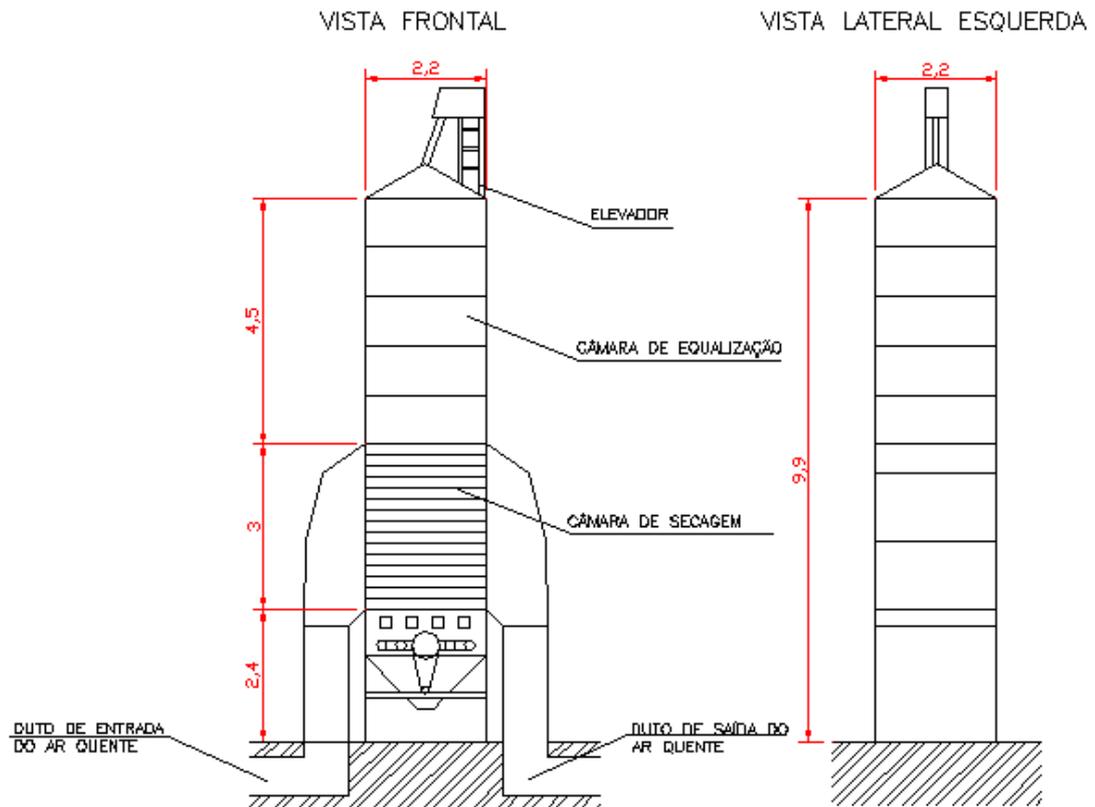


FIGURA 6. Vistas ortogonais do secador B (dimensões em m).

Secador C

Empresa: Zanetti

Marca: Kepler Weber

Relação de intermitência: 6:1

Ventilador: centrífugo com potência de 20cv.

Combustível utilizado: lenha

Sistema de descarga: bandejas oscilantes

Volume da câmara de secagem: 87,6 m³

Volume da câmara de equalização: 14,6 m³

Volume total: 102,2 m³

Tempo de descarga: 45 min

Tempo de residência: 38 min

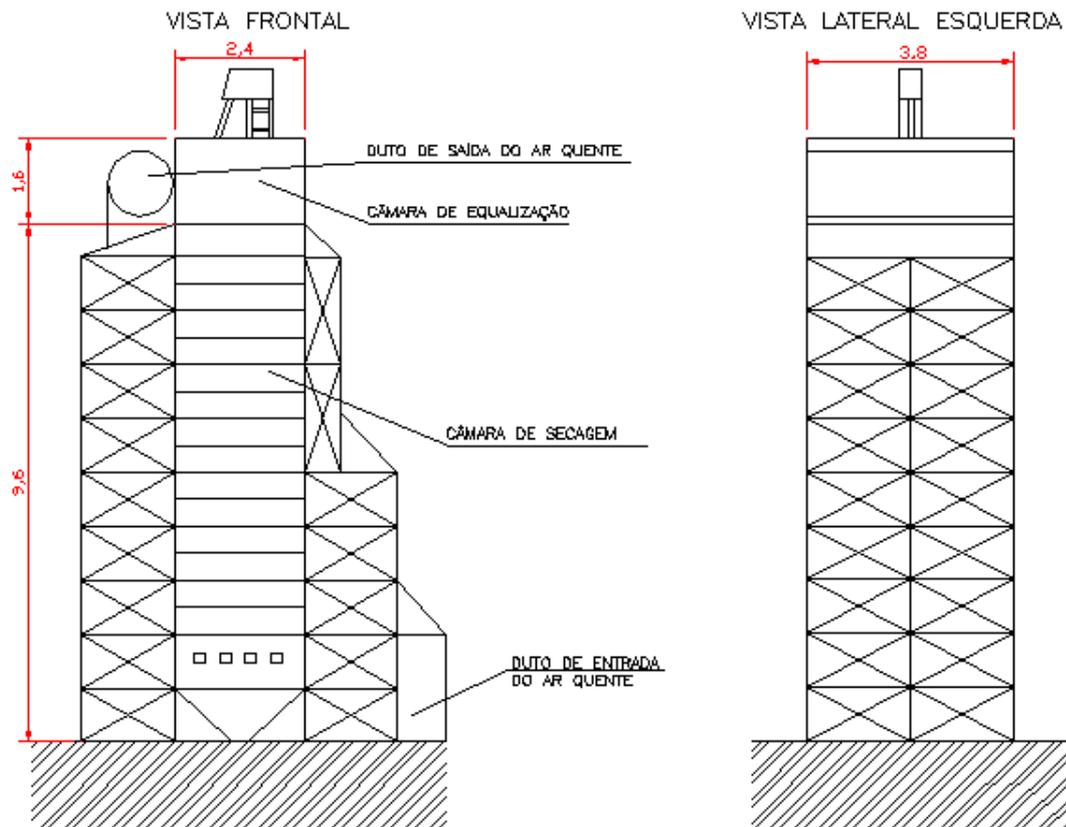


FIGURA 7. Vistas ortogonais do secador C (dimensões em m).

3.4 Avaliação da qualidade de sementes

Teor de água - determinado em duas amostras por nível de temperatura, empregando o método da estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$, por 24h, de acordo com as Regras para Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 1992).

Germinação - quatro subamostras de 50 sementes para cada nível do fator temperatura, totalizando 16 amostras, foram semeadas em rolo de papel toalha tipo germitest, umedecido com um volume de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. O germinador foi regulado à temperatura de 25°C e as avaliações realizadas no quinto e no oitavo dia após a semeadura. As avaliações seguiram as RAS (BRASIL, 1992) e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais para cada lote.

Primeira contagem de germinação - baseada na contagem das plântulas normais obtidas no quinto dia após a instalação do teste de germinação.

Teste de envelhecimento acelerado - foram utilizadas quatro subamostras de 50 sementes, inicialmente colocadas sobre telas de alumínio fixadas no interior de

caixas plásticas (tipo *gerbox*), contendo 40 mL de água destilada. A seguir as caixas foram fechadas e mantidas em câmara regulada à temperatura de 42°C, por um período de 48 horas. Em seguida, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme metodologia anteriormente descrita, computando-se a porcentagem de plântulas normais no quinto dia após a semeadura.

Emergência de plântulas em campo - quatro subamostras de 100 sementes por cada nível de temperatura foram semeadas em sulcos de quatro metros de comprimento e 0,05m de profundidade, e cobertas com uma fina camada de solo. A avaliação foi realizada em uma única vez aos 15 dias após a semeadura, computando-se o número de plântulas emergidas. O teste foi realizado em novembro, época propícia para semeadura da soja.

3.5 Determinação do desempenho energético do secador

3.5.1 Eficiência energética

Durante o monitoramento da secagem foram registrados os valores da umidade relativa e temperatura ambiente, sendo o ar ambiente aquecido de maneira controlada através do ar que saía da fornalha permitindo que durante a secagem a temperatura da massa de sementes alcançasse valores de 38, 41, 44 e 47°C, para cada carga de sementes.

Para cada ciclo de movimentação das sementes no secador, foi verificada a potência térmica necessária para acréscimo de temperatura do ar de secagem em relação ao ar ambiente, utilizando a fórmula:

$$P = (F \cdot A \cdot 960) / V$$

sendo,

P - Potência térmica (kcal/h)

F - Fluxo do ar de secagem ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

A - Acréscimo de temperatura do ar secagem sobre o ar ambiente (°C)

960- constante para ajuste da unidade da potência (kcal/h)

V- Volume específico do ar de secagem ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)

Desta forma foi possível obter as curvas de potência em função do tempo de secagem para cada condição experimental de temperatura da massa de sementes, possibilitando assim utilizar a integral da potencia para obter a energia de

aquecimento do ar de secagem em cada nível do fator temperatura. Porém foram necessários ajustes no acréscimo de temperatura do ar de secagem, devido ao fato de as secagens ocorrerem em dias diferentes, o que ocasionou variações de temperatura, sendo necessário considerar a temperatura ambiental constante para não induzir erro na estimativa do consumo energético. Para obtenção da energia requerida para o aquecimento, para cada carga atribuída à secagem, que possibilitou a verificação do consumo energético de aquecimento do ar, foi empregada a fórmula:

$$E = \int P \cdot dt$$

sendo,

E – Energia consumida para o aquecimento do ar (kcal)

P – Potência térmica (kcal. h⁻¹)

t – tempo (h)

A determinação da eficiência energética na secagem foi determinada pela razão entre a energia do combustível consumido durante a secagem e a energia necessária para o aquecimento do ar.

3.5.2 Consumo efetivo de combustível

A quantidade de combustível requerida para a secagem de cada carga de sementes foi determinada pela diferença entre os volumes inicial e final de combustível (Figura 8).

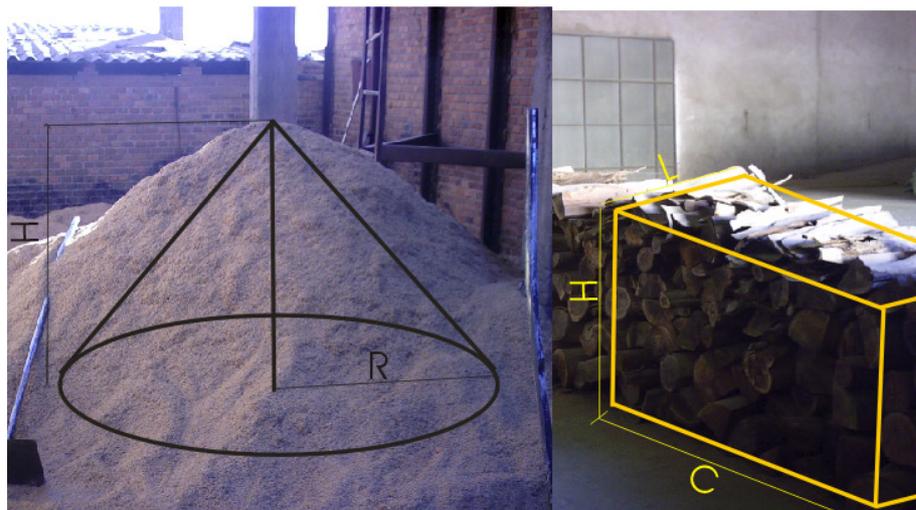


FIGURA 8. Determinação dos volumes de combustível estimados por volume do cone (casca de arroz) e de paralelepípedo (madeira).

3.5.3 Dissipação de energia nas paredes do secador

Para a determinação da energia dissipada através das paredes do secador durante a secagem das sementes, foi necessária primeiramente a determinação do fluxo de calor por condução a cada intervalo de 30 min nos secadores Real e Risse e a cada 45 min no secador Kepler Weber, sendo utilizada a fórmula:

$$Q = (K.A/L).\Delta T$$

Sendo:

Q - Fluxo de calor por condução (kcal.h^{-1})

K - Coeficiente de condutividade térmica, característico do material do secador ($\text{kcal.h}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$) - (aço= $39,28 \text{ kcal.h}^{-1}.\text{m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$).

A - Área da seção atravessada perpendicularmente pelo fluxo de calor (m^2)

ΔT - Variação de temperatura (°C)

L - Espessura da chapa (m).

Sendo posteriormente determinada a integral do fluxo de calor em relação ao tempo de secagem, obtendo-se assim a energia dissipada através das paredes do secador, conforme a fórmula:

$$E = \int Q.dt$$

Sendo,

E – Energia dissipada através das paredes do sacador (kcal)

Q - Fluxo de calor por condução (kcal.h^{-1})

t – tempo (h)

Dessa forma, a dissipação de energia foi determinada pela razão entre a integral do fluxo de calor nas paredes e o consumo efetivo de energia.

3.6 Velocidade de secagem

A velocidade média de secagem foi obtida pela diferença entre o grau de umidade inicial e final das sementes dividido pelo tempo de secagem, para cada nível do fator temperatura. Os gráficos do grau de umidade em função do tempo de secagem foram ajustados de acordo com o modelo matemático apropriado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Secador A

4.1.1 Velocidade de secagem

Os parâmetros físicos obtidos durante a secagem intermitente, com a temperatura da massa de sementes de 38°C são verificados na Tabela 1. Inicialmente, constatou-se crescimento da temperatura do ar de secagem até sua estabilização e, posteriormente, decréscimo, o que evita choques térmicos que causam prejuízos à qualidade fisiológica das sementes, conforme AHRENS et al., (2000).

A temperatura da massa de sementes demorou a elevar-se devido à inércia térmica, tendo ocorrido aumento significativo após 2,5 h de secagem, o que correspondeu a uma umidade das sementes de 14,1%, estando de acordo com BROOKER et al. (1992) ao afirmarem que as sementes só começam a sofrer elevação de temperatura significativamente quando o teor de água está ao redor de 14,5%.

É possível inferir assim que devido ao calor específico da água ser maior que o da semente ocorre influência direta na variação de temperatura, pois para uma mesma quantidade de calor fornecida para a água e para a semente, esta vai elevar mais rapidamente a temperatura. Por isso, se a semente está com alta umidade, à água desempenha papel de maior influência sobre a semente, ocasionando menor variação de temperatura.

A estabilização da temperatura da massa de sementes em 38°C, na câmara de secagem, correspondeu à temperatura média do ar de secagem de 77°C. Similarmente, MIRANDA (1978) verificou em sementes de soja que a temperatura da massa de 36,7°C correspondeu à temperatura do ar de 75°C. Utilizando o gráfico

psicrométrico verificou-se que o aquecimento do ar ambiente, com umidade relativa de 74%, da temperatura de 21 °C para 77 °C determinou redução da umidade relativa do ar de secagem para 4,4 %.

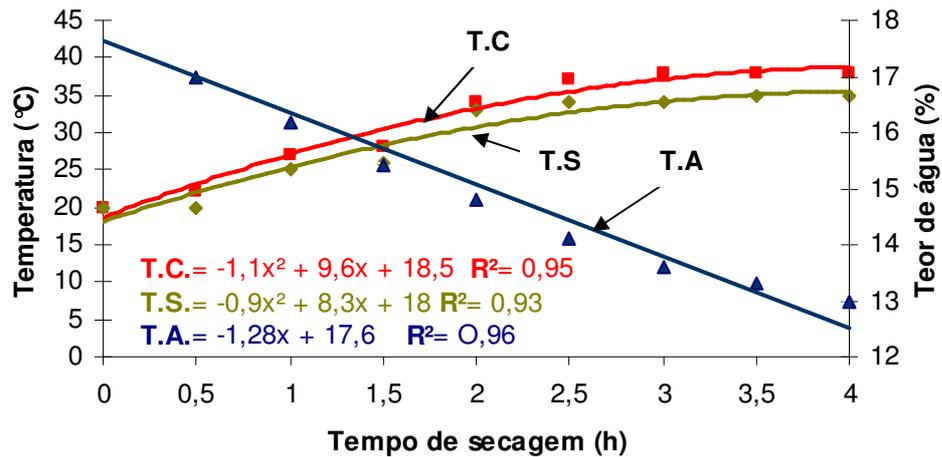
TABELA 1. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, para máxima temperatura da massa de 38 °C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	T AR (°C)	TC (°C)	TS (°C)	US (%)
0	21	74	30	20	20	18,0
0,5	21	75	50	22	20	17,0
1	21	71	66	27	25	16,2
1,5	21	71	90	28	26	15,4
2	21	72	94	34	33	14,8
2,5	22	70	89	37	34	14,1
3	23	72	79	38	34	13,6
3,5	23	69	77	38	35	13,3
4	24	60	75	38	35	13,0
média	21	70	77			

Legenda: h-horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; TAR- temperatura do ar de secagem; TC- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; TS- temperatura das sementes na saída do secador; US- umidade das sementes.

Pela Figura 9, observa-se comportamento linear do teor de água em função do tempo de secagem, estando de acordo com os trabalhos de VILLELA (1991) e LACERDA (2003). A velocidade de secagem para a temperatura da massa de 38 °C, foi de 1,3 pp/h, ocorrendo oito voltas no secador e com tempo de residência de 6,5 min, as sementes ficaram expostas ao ar aquecido por 52 min.

A relação estabelecida da temperatura da massa de sementes na câmara de secagem com a da saída do secador mostrou variação constante de 3 °C, desde 2,5 h de secagem, sendo ambas as curvas quadráticas. Inicialmente, observa-se que as curvas estavam próximas, ou seja, estando as sementes na câmara de secagem com teor de água elevado, o calor recebido foi absorvido pela água não alterando acentuadamente a temperatura na descarga no secador. Porém no transcorrer da secagem, observa-se que vai aumentando essa diferença de temperatura, ou seja, as sementes estando mais secas maior parte do calor absorvido é rapidamente dissipado, devido ao menor calor específico da semente seca.



Legenda: **T.C.**- temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S.** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A.** - teor de água das sementes (%).

FIGURA 9. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 38°C na massa de sementes.

De acordo com a Tabela 2, é observado o comportamento do teor de água em função do tempo de secagem, com a temperatura da massa de sementes de 41°C, verificando-se que a temperatura média do ar de secagem correspondente a esta temperatura da massa de sementes é de 83°C.

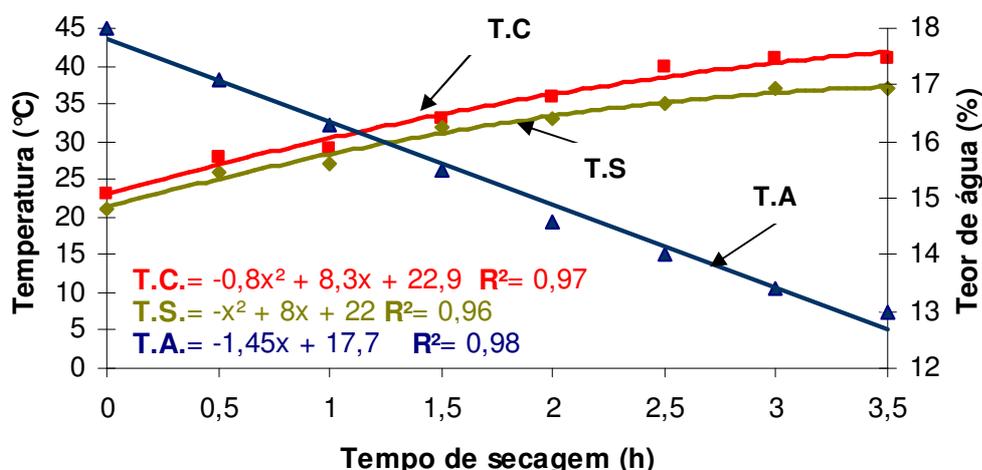
Com a utilização do gráfico psicrométrico verificou-se que a umidade relativa do ar de secagem diminuiu para 3,2 %, devido ao aquecimento.

TABELA 2. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 41°C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	T AR (°C)	T C (°C)	T S (°C)	U S (%)
0	12	94	30	23	21	18,0
0,5	13	95	52	28	26	17,1
1	13	95	71	29	27	16,3
1,5	13	95	101	33	32	15,5
2	13	95	105	36	33	14,6
2,5	15	95	85	40	35	14,0
3	15	95	83	41	37	13,4
3,5	16	95	83	41	37	13,0
média	14	95				

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; TAR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; US- umidade das sementes.

Decrescendo a temperatura do ar a partir de duas horas de secagem para 83°C, nota-se que a temperatura das sementes alcança no máximo 41°C, constatando-se uma redução 12,5% no tempo de secagem em comparação com a temperatura da massa de 38°C, sendo esta redução diretamente relacionada à velocidade de secagem ser de 1,45 pp/h, conforme a Figura 10. O tempo de exposição das sementes para condição de secagem de 41°C, foi de 45,5min. O comportamento da temperatura da massa de sementes na câmara de secagem relativamente à da saída do secador mostrou uma variação constante de 4°C, desde 3 h de secagem, sendo representado por funções quadráticas.



Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A** - teor de água das sementes (%).

FIGURA 10. Curva de secagem relacionando o teor de água, a temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 41°C na massa de sementes.

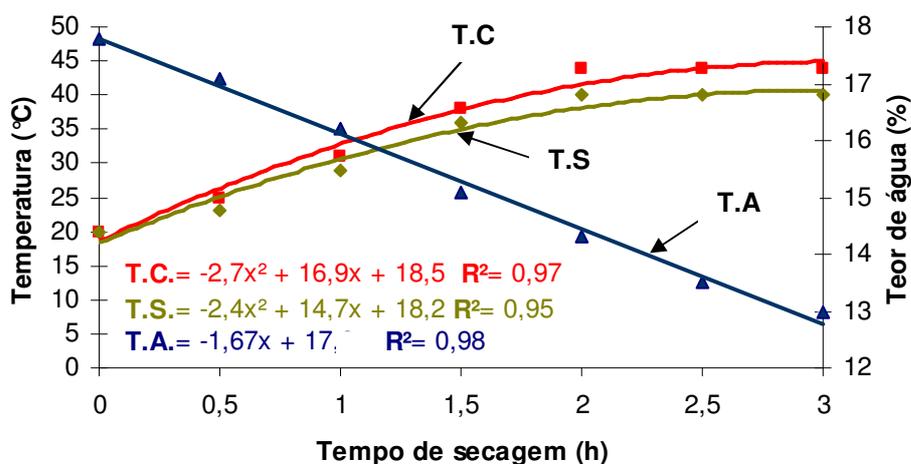
De acordo com a Tabela 3, verifica-se que a temperatura média do ar de 89°C correspondeu à temperatura de 44°C na massa de sementes, sendo a variação de temperatura da massa que atravessou a câmara de secagem e respectiva saída do secador de 4°C, constante desde 2,5h de secagem. Em relação às condições experimentais da temperatura da massa de 41°C e 38°C, verifica-se uma redução no tempo de secagem de 14% e 25%, respectivamente. Neste caso, o tempo de exposição das sementes na câmara de secagem foi de 36 min.

TABELA 3. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 44°C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	T. AR. (°C)	T C (°C)	T S (°C)	TA (%)
0	20	78	30	20	20	17,8
0,5	20	78	70	25	23	17,1
1	20	78	90	31	29	16,2
1,5	20	78	106	38	36	15,1
2	20	78	93	44	40	14,3
2,5	20	78	86	44	40	13,6
3	20	78	88	44	40	13,0
média	20	78				

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; T.AR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; TA- teor de água.

Conforme a Figura 11, a condição de temperatura de 44°C estabeleceu uma velocidade de secagem é de 1,6 pp/h, sendo que as sementes realizam seis passagens pelo secador.



Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A** - teor de água das sementes (%).

FIGURA 11. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 44°C na massa de sementes.

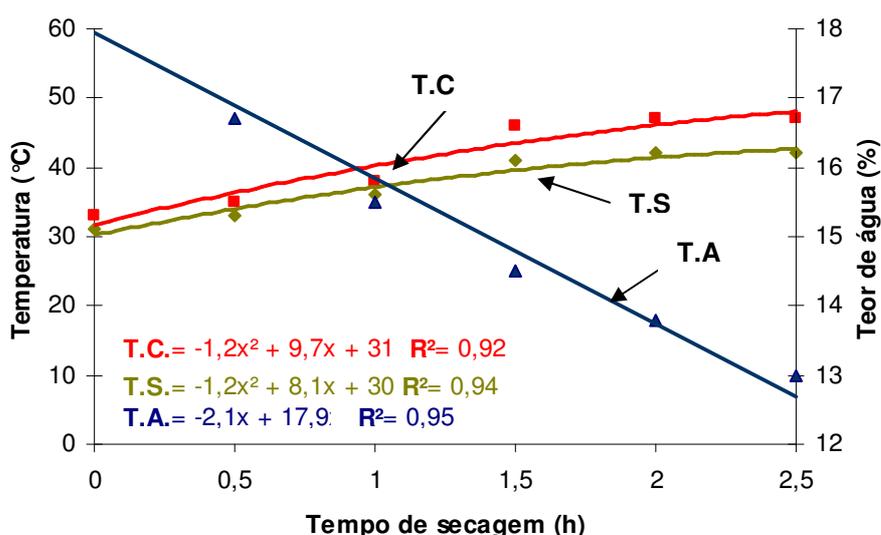
Na condição de 47°C na massa de sementes, observa-se que é necessário o emprego do ar de secagem de 97°C. Sendo a velocidade de secagem de 2,16pp/h, tempo de secagem de 2,5h e tempo de exposição das sementes na câmara de secagem de 32,5 min, o que implica na redução de tempo de secagem e de

exposição ao ar aquecido de 17, 29 e 38%, em relação às condições de 44, 41 e 38°C, respectivamente, conforme Tabela 4 e Figura 12.

TABELA 4. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 47°C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	T. AR. (°C)	T C (°C)	T S (°C)	TA (%)
0	20	81	60	33	31	18,4
0,5	20	82	82	35	33	16,7
1	20	82	93	38	36	15,5
1,5	20	82	102	46	41	14,5
2	21	80	97	46	42	13,8
2,5	21	80	97	47	42	13,0
média	20	81				

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; T.AR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; TA- teor de água.



Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A** - teor de água das sementes (%).

FIGURA 12. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 47°C na massa de sementes.

De acordo com a Figura 13, constata-se que pelo menos duas médias de velocidade de secagem são diferentes em função das condições de temperatura da massa de sementes, sendo, portanto, significativo em nível de probabilidade de 5%.

Devido o modelo linear ser altamente significativo e por explicar 90% do comportamento da velocidade de secagem, no intervalo de 38 a 47°C, propicia a melhor representação.

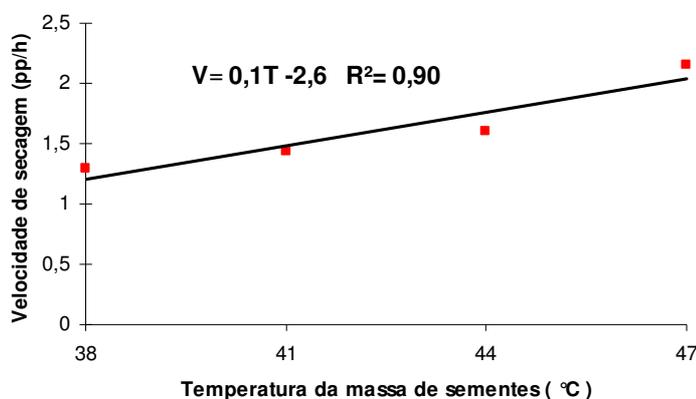


FIGURA 13. Velocidade de secagem em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47°C.

É possível constatar que quanto maior a temperatura das sementes na câmara de secagem, menor será o tempo de exposição ao ar aquecido e conseqüentemente maior a velocidade de secagem, ou seja, a taxa de remoção de água na semente aumenta 0,1pp/h para cada aumento de um grau na temperatura da massa de sementes, porém torna-se fundamental a verificação da qualidade fisiológica das sementes.

A alta velocidade de secagem implica em rachaduras no tegumento, cotilédones e eixo embrionário, devido à migração de água sofrer os efeitos de forças de compressão interna e de tração na superfície, devido ao elevado gradiente de umidade entre o interior e a superfície da semente.

4.1.2 Qualidade fisiológica

Embora a variável resposta qualidade fisiológica pudesse ser representada por um modelo polinomial no intervalo de temperatura da massa de sementes, adotou-se a análise de comparação de média devido à possibilidade de haver lotes com alterações de qualidade. Dessa maneira, haveria a possibilidade de distorcer a representação adequada de um modelo polinomial, pois o interesse é inferir sobre o efeito da temperatura na massa de sementes, sendo oportuna a comparação das sementes oriundas da mesma carga de secagem.

Embora as variações dos valores de germinação, primeira contagem, envelhecimento acelerado e emergência de plântulas em campo na análise de

variância sejam baixas, foram constatadas diferenças entre os tratamentos em função do baixo coeficiente de variação, o qual induziu a um baixo resíduo.

Na Tabela 5, em relação às covariáveis (sementes expostas à secagem natural) de 38, 41, 44 e 47°C, não se observaram diferenças significativas de qualidade fisiológica em cada período de avaliação. No entanto, houve redução significativa principalmente entre o período inicial e após seis meses, sendo função do ambiente em que as sementes se encontravam devido à umidade relativa manter-se entre 80 a 90%.

Na temperatura da semente acima de 44°C não se observou efeito prejudicial imediato, no entanto foi verificado efeito latente ao final de seis meses, determinando que o limite tolerável sem prejudicar a qualidade fisiológica é a temperatura de 41°C.

Utilizando secagem intermitente em sementes de aveia branca, cuja temperatura da massa atingiu 48 e 52 °C, MARINI et al. (2005) verificou efeito prejudicial imediato na germinação.

Segundo LACERDA et al. (2003), a temperatura elevada muitas vezes não causa efeito imediato nas sementes, porém o efeito latente manifesta-se no armazenamento. A qualidade das sementes sofre influência do tempo que as sementes ficam expostas à temperatura do ar de secagem.

Verificando o efeito da temperatura da massa de sementes de aveia no intervalo de 41 e 51,3°C, AHRENS et al. (2000) verificaram redução de germinação somente após seis meses de armazenamento.

TABELA 5. Dados médios de germinação dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)		
	0	3	6
38	83 Aa	79 Ba	73 Ca
41	84 Aa	79 Aa	72 Ba
44	83 Aa	80 Aa	60 Bb
47	83 Aa	81 Aa	59 Bb
38N	83 Aa	80 Ba	71 Ca
41N	80 Aa	81 Aa	71 Ba
44N	84 Aa	80 Aa	70 Ba
47N	85 Aa	82 Aa	71 Ba

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 4,6; DP=2,77.

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

No período inicial, na primeira contagem de germinação não se verificou efeito imediato no intervalo de 38 a 47°C. Foram observados efeitos prejudiciais latentes a partir do terceiro mês. Porém, para ambos os períodos de avaliação não houve efeito de dano térmico no intervalo de 38 a 41°C, devido à redução de qualidade estar associada à temperatura e umidade relativa de armazenamento, conforme a Tabela 6.

O teste de primeira contagem avalia o vigor inicial das sementes conforme (BRACCINI et al., 2001), portanto altas temperaturas na secagem implicam na redução da velocidade de germinação e no aumento de plântulas anormais.

TABELA 6. Dados médios de primeira contagem de germinação dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)		
	0	3	6
38	78 Aa	75 Ba	64 Ca
41	77 Aa	74 Aa	64 Ba
44	77 Aa	69 Bb	60 Cab
47	76 Aa	67 Bb	53 Cc
38N	75 Aa	75 Aa	59 Bb
41N	75 Aa	73 Aa	63 Ba
44N	77 Aa	72 Aa	61 Bab
47N	76 Aa	76 Aa	63 Bab

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 6,1; DP=4,1. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%.

No teste de envelhecimento acelerado verifica-se uma diminuição expressiva da qualidade entre os períodos de 0, 3 e 6 meses. No entanto, o limite de temperatura da massa de sementes sem afetar a qualidade fisiológica foi de 41°C, conforme verifica-se na Tabela 7.

O elevado número de sementes mortas, resultantes do teste de envelhecimento acelerado constatado na Tabela 7, pode ser oriundo da perda da integridade do sistema de membranas, o que implica na morte dos tecidos funcionais das sementes (BRACCINI et al., 2001).

TABELA 7. Dados médios de envelhecimento acelerado dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)		
	0	3	6
38	72 Aa	64 Ba	53 Ca
41	73 Aa	65 Ba	56 Ca
44	73 Aa	56 Bb	33 Cb
47	72 Aa	54 Bb	27 Cb
38N	73 Aa	65 Ba	55 Ca
41N	72 Aa	66 Ba	55 Cb
44N	74 Aa	66 Ba	55 Ca
47N	73 Aa	67 Ba	56 Cb

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 4,8; DP=3,1. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%.

A emergência em campo, embora com valores altos comparativamente ao envelhecimento acelerado, manteve como limite a temperatura de 41 °C, conforme a Tabela 8.

TABELA 8. Dados médios de emergência em campo dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPERATURA (Meses)
38	69 a
41	70 a
44	57 b
47	54 b
38N	73 a
41N	71 a
44N	70 a
47N	72 a

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 3,5; DP=2,6. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%.

Na Tabela 9 verificam-se as condições psicrométricas de umidade relativa e da temperatura local, constatando-se que a umidade relativa média mensal manteve-se acima de 80% de maio a outubro de 2008 e 2009.

TABELA 9. Condições psicrométricas de temperatura e umidade relativa.

Ano	Variáveis	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2008	T (°C)	23	22	22	18	15	11	14	12	14	17	21	21
	UR (%)	75	79	81	77	86	84	88	84	82	80	78	76
2009	T (°C)	22	23	22	19	16	12	11	15	15	17	21	22
	UR (%)	74	77	81	74	77	79	82	83	84	82	87	82

Fonte: Estação Agroclimatológica de Pelotas. <http://www.cpact.embrapa.br/agromet/>

4.1.3 Desempenho energético

Conforme a Figura 14, o modelo linear melhor explica o comportamento do consumo efetivo de energia em função da temperatura da massa de sementes. A taxa de consumo foi de 52.780 kcal para cada aumento na temperatura da massa de sementes de 1 °C, o que corresponde a um consumo de 0,003 m³ de lenha.

Verifica-se que a energia dissipada através das paredes do secador em função da temperatura da massa de sementes não foi significativo em nível de probabilidade de 5%, sendo o valor médio da dissipação de 13,25%, ou seja, independentemente da temperatura da massa no intervalo de 38 a 47°C, a dissipação nas paredes não variou.

Neste contexto, constata-se que a dissipação de energia no secador de 13,25% é considerável, sendo oportuna a inserção de novos materiais que reduzam a condutividade de energia térmica ou aumento da espessura da chapa do secador, pois um aumento de 2 mm para 4 mm, resultaria numa redução de 5%. A densidade da lenha utilizada foi de 400kg/m³.

Em relação à eficiência energética não se observou diferença significativa, conforme o aumento da temperatura da massa de sementes, sendo constante de 30,63%, o que significa que apenas 30,63% de energia foi de fato utilizada para o aquecimento. Considerando que 13% são dissipados através das paredes, verifica-se que em torno de 57% é dissipado na tubulação de distribuição do ar aquecido ao secador, na fornalha e eficiência de combustão da lenha.

São relevantes maiores estudos direcionados à obtenção de maior vedação nas paredes dos secadores, seja com materiais de menor condutividade térmica ou de maior espessura, para que seja possível dessa forma minimizar a dissipação energética, resultando assim em menor despesa para o produtor e uso mais racional de energia, promovendo assim maior preservação dos recursos naturais.

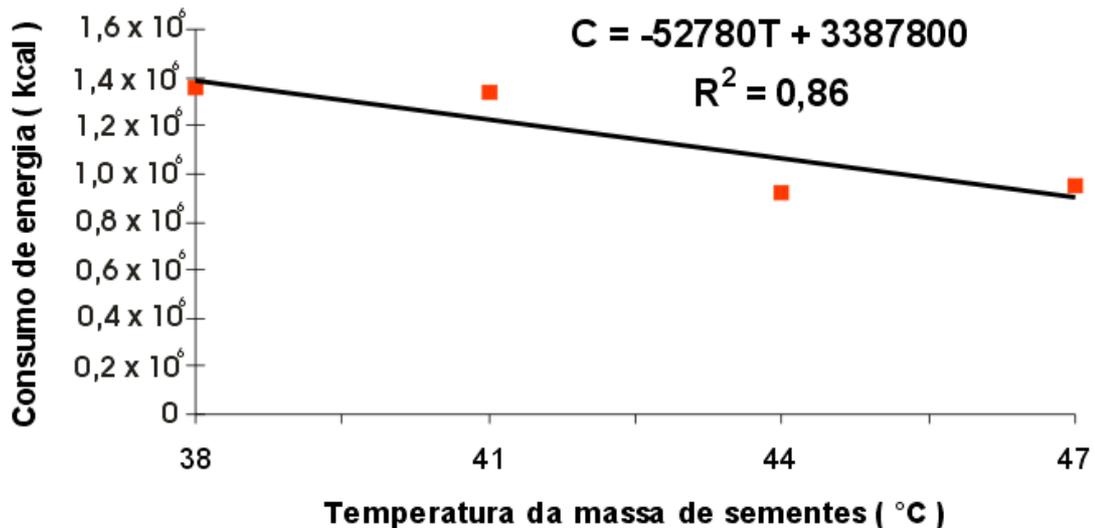


FIGURA 14. Consumo efetivo de energia em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47°C.

4.2 Secador B

4.2.1 Velocidade de secagem

Em relação ao secador B, verificam-se na Tabela 10 e Figura 15 que a velocidade de secagem foi de 1,22 pp/h, inferior à velocidade de secagem do secador A que foi de 1,3 pp/h para a condição de 38°C.

Apesar de o tempo de residência do secador B ser de 9 min e do secador A ser 6 min, é provável que esta redução de velocidade de secagem esteja relacionada à temperatura de estabilização do ar de secagem, que no caso do secador A foi de 77°C e no secador B de 74°C. Além disto, outro fator que influencia a velocidade de secagem é o grau de umidade inicial da semente, ou seja, pequenas variações podem ocasionar significativas variações de velocidades.

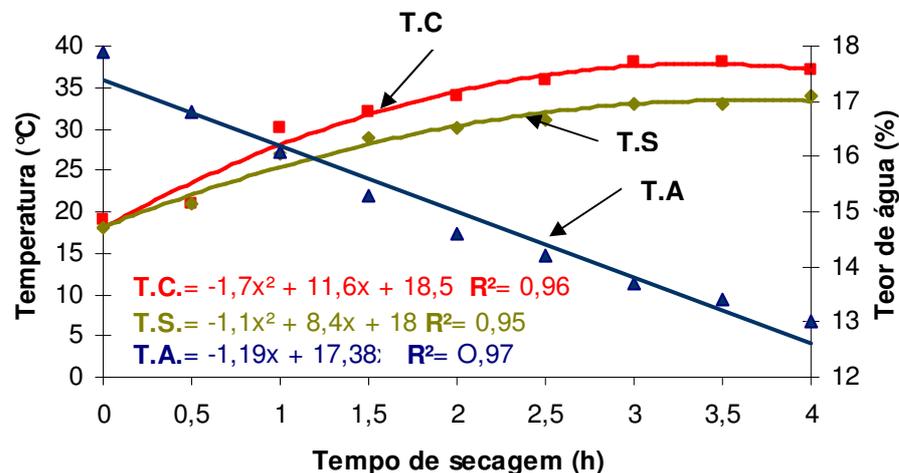
Em relação à temperatura da massa na câmara de secagem e na descarga do secador, a diferença foi de aproximadamente 4°C, a partir de 2h de secagem, diferentemente do secador A que teve variação de 3°C, a partir de 2,5h de secagem. Esta maior variação de temperatura do secador B provavelmente pode ser atribuída à maior distância da câmara de secagem até a descarga do secador.

Utilizando o gráfico psicrométrico, verificou-se que o aquecimento do ar ambiente da temperatura de 19°C e umidade relativa de 78% para 77°C, corresponde a redução da umidade relativa do ar de secagem para 4,6 %.

TABELA 10. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 38°C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	TAR (°C)	T C (°C)	T S (°C)	TA (%)
0	19	78	20	19	18	17,9
0,5	19	76	48	21	21	16,8
1	19	76	66	30	27	16,1
1,5	18	77	73	32	29	15,3
2	19	77	74	34	30	14,6
2,5	19	77	93	36	31	14,2
3	19	77	73	38	33	13,7
3,5	19	76	75	38	33	13,4
4	19	77	72	37	34	13,0
média	18	76				

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; T.AR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; TA- teor de água das sementes.



Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A** - teor de água das sementes (%).

FIGURA 15. Comportamento da curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 38°C na massa de sementes.

Na Tabela 11 e Figura 16, constata-se que a velocidade de secagem no secador B equivaleu a 1,45 pp/h, para a condição de 41°C, correspondendo à temperatura do ar de 79°C.

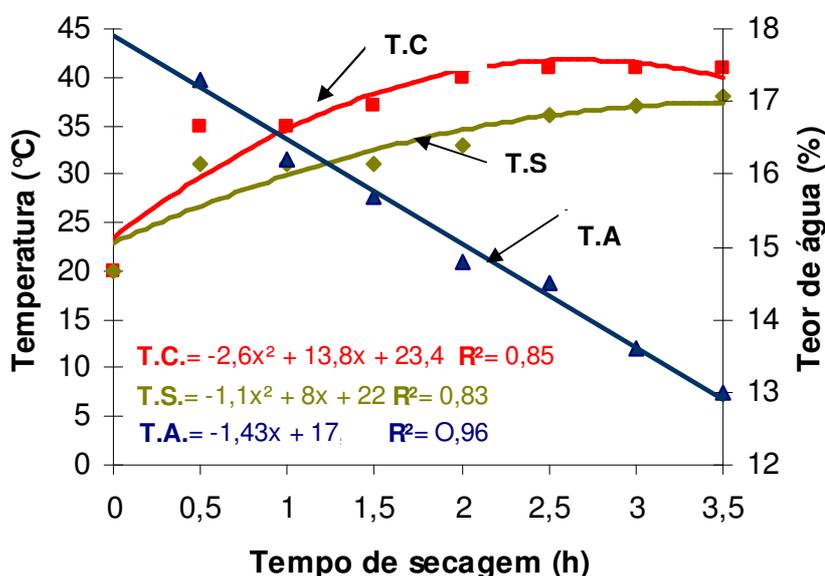
As velocidades de secagem no secador B em relação as no secador A foram próximas, sendo, entretanto, diferentes as temperaturas do ar de secagem, sendo no secador A de 83°C e no secador B de 79°C. Estabelecendo que embora a temperatura do ar seja inferior, o tempo de exposição maior das sementes ao ar aquecido conduz as sementes a terem a mesma temperatura.

A variação da temperatura da massa de sementes na câmara de secagem em relação à descarga foi representada por funções quadráticas, sendo a variação máxima de 7°C e mínima de 4°C, após a estabilização da temperatura do ar.

TABELA 11. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 41°C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	TAR (°C)	T C (°C)	T S (°C)	TA (%)
0	16	87	25	20	20	18,1
0,5	16,5	88	41	35	31	17,3
1	16	87	40	35	31	16,2
1,5	16	88	90	37	31	15,7
2	16	88	65	40	33	14,8
2,5	16	88	79	41	36	14,5
3	16	88	79	41	37	13,6
3,5	15	88	76	41	37	13,0
média	15,94	87,8				

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; T.AR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; TA- teor de água das sementes.



Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A** - teor de água das sementes (%).

FIGURA 16. Comportamento da curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 41°C na massa de sementes.

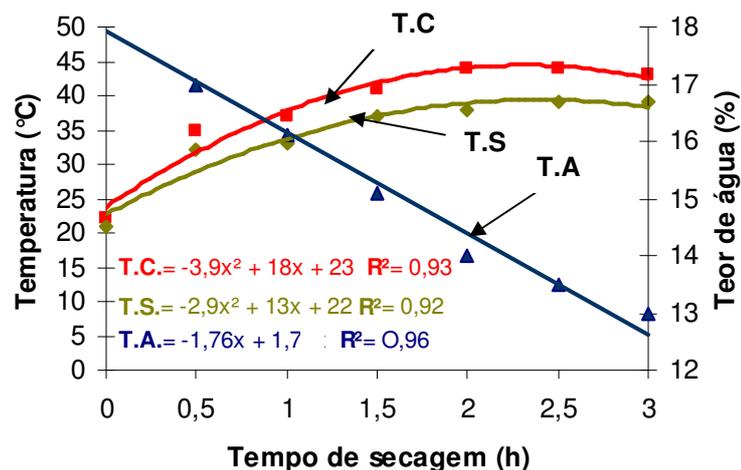
Na Tabela 12 e Figura 17, na condição de 44°C na massa de sementes, a velocidade de secagem foi de 1,73 pp/h, maior que a velocidade de secagem no secador A, porém esta diferença pode estar relacionada com a umidade inicial da semente no secador, pois valores baixos de umidade inicial podem promover variações significativas na velocidade de secagem.

A temperatura do ar de secagem para esta condição foi de 84°C, sendo 5°C inferior comparativamente a mesma condição de 41°C, em relação ao secador B.

TABELA 12. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 44°C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	T AR (°C)	T C (°C)	T S (°C)	TA (%)
0	22	75	33	22	21	18,2
0,5	22	75	65	35	32	17,0
1	22	75	80	37	33	16,1
1,5	22	75	75	41	37	15,1
2	22	75	84	44	38	14,0
2,5	22	75	84	44	39	13,5
3	22	75	86	43	39	13,0
média	22	75				

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; T.AR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; TA- teor de água das sementes.



Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A** - teor de água das sementes (%).

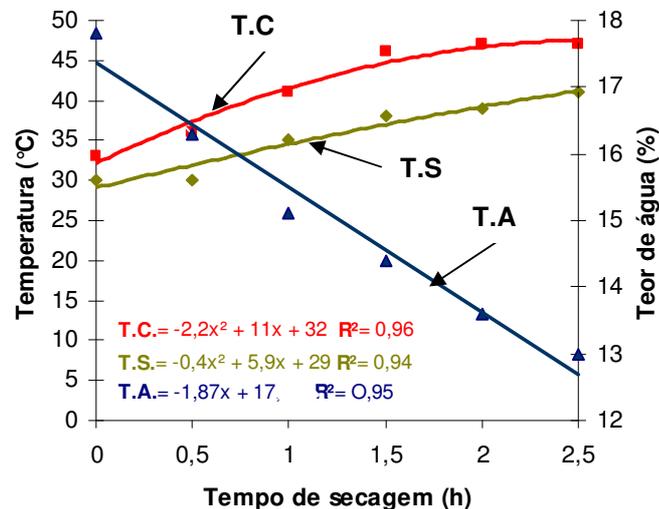
FIGURA 17. Comportamento da curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 44°C na massa de sementes.

Na condição de 47°C na massa de sementes, conforme a Tabela 13 e Figura 18 observa-se que é necessário o emprego do ar de secagem de 89°C. Sendo a velocidade de secagem de 1,92 pp/h, as sementes ficam submetidas ao ar aquecido por 45 min na câmara de secagem, sendo um aumento de 28% no tempo de exposição ao ar aquecido em comparação à mesma condição de 47°C no secador A.

TABELA 13. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 47°C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	T AR (°C)	T C (°C)	T S (°C)	TA (%)
0	17	89	41	33	30	17,8
0,5	17	89	62	36	30	16,3
1	17	89	87	41	35	15,1
1,5	17	88,5	85	46	38	14,4
2	17	89	91	47	39	13,6
2,5	17	89	91	47	41	13,0
média	17	88				

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; T.AR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; TA- teor de água.



Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **TA** - teor de água das sementes (%).

FIGURA 18. Comportamento da curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 47°C na massa de sementes.

A análise de variância da velocidade de secagem em relação às condições experimentais de temperatura da massa de sementes no secador B, verifica-se, que pelo menos duas médias de temperatura da massa de sementes diferem em nível de probabilidade de 5%.

O modelo linear foi altamente significativo e explica 94,2% da variação do comportamento da velocidade de secagem no intervalo de 38 a 47°C, propiciando a melhor representação, conforme a Figura 19.

A taxa de secagem aumenta 0,07 pp/h, para cada aumento de 1°C na temperatura da massa de sementes no intervalo de 38 a 47°C.

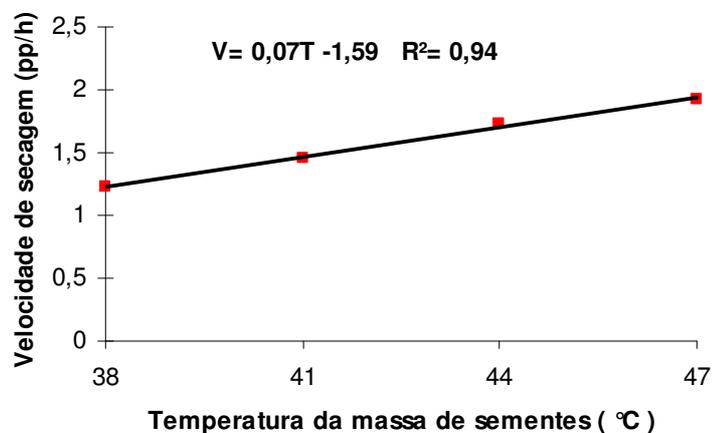


FIGURA 19. Velocidade de secagem em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47°C.

4.2.2. Qualidade fisiológica

Em relação à qualidade fisiológica das sementes oriundas das secagens realizadas no secador B, verifica-se que não houve dano térmico imediato às sementes, sendo verificado dano latente causado por elevada temperatura, a partir dos seis meses de armazenamento, nas condições de 44°C e 47°C.

No entanto, observa-se que as sementes procedentes da secagem na condição de 41°C eram representativas de um lote de menor qualidade fisiológica, pois nos testes avaliados, sua qualidade sempre foi inferior. Mesmo assim, não houve diferença comparativamente à secagem natural da condição de 41°C, ou seja, a redução de qualidade nos períodos foi determinada em função das condições de

temperatura e umidade relativa de armazenamento, conforme as Tabelas 14, 15, 16 e 17.

Embora KIRK et al. (1955) e MIRANDA (1978) recomendem que o limite máximo da temperatura do ar de secagem seja de 75°C, sem afetar a qualidade fisiológica, é pertinente observar que, dependendo do modelo do secador, é possível utilizar temperaturas superiores, pois mais importante é a temperatura atingida pela massa de sementes em função do tempo de exposição, que neste caso o limite estabelecido é de 41 °C.

Na Tabela 14, verifica-se inicialmente que não houve efeito imediato na germinação em função dos tratamentos térmicos, mesmo com o fato de as sementes oriundas do lote do tratamento de 41 °C pertencer a lotes de qualidade inferior, não ficou suscetível a danos térmicos.

Apesar de a redução da germinação ser significativa no decorrer do tempo, ela não pode ser vinculada às temperaturas na faixa de 38 a 41 °C, porque as covariáveis relacionadas aos respectivos tratamentos também tiveram redução de germinação. Entretanto, é possível associar aos efeitos de temperatura e umidade relativa do local de armazenamento (BOEMEKE et al., 2003 e CAVARIANI, 1983).

Enquanto a redução de germinação das covariáveis de intervalo de 44 a 47°C foi de aproximadamente 12pp no período de seis meses, as temperaturas de 44 a 47°C neste mesmo período, resultaram em redução de aproximadamente 25pp. Assim sendo, praticamente metade da diminuição da qualidade é inerente às condições ambientais de armazenamento e a outra metade inerente das condições térmicas de secagem.

No teste de primeira contagem de germinação (Tabela 15), verifica-se que não houve efeito imediato por temperatura no intervalo de 38 a 47°C, sendo que no intervalo de 38 a 41 °C não se evidenciou redução de qualidade, no período de seis meses relacionados a fatores térmicos de secagem.

A redução na qualidade fisiológica das sementes relacionadas ao intervalo de 38 a 41 °C foi, provavelmente, função do período de exposição ao ambiente de armazenamento, sendo relacionado aos fatores temperatura e umidade relativa, onde se constatou redução de 13% e 29% na sua qualidade entre o período inicial até completar seis meses de observação.

Esta maior redução de qualidade ao tratamento de 41°C é resultante da menor qualidade inicial das sementes, o que possivelmente determinou aceleração na taxa de deterioração.

Nos testes de germinação e de primeira contagem foram verificadas a presença de plântulas anormais e redução na velocidade de germinação, de sementes submetidas à secagem em alta temperatura, acordo com afirmação de HARRINGTON (1972) e FLEURAT-LESSARD (2002).

Na Tabela 16, utilizando o teste de envelhecimento acelerado, verifica-se que inicialmente que somente a temperatura de 47°C ocasionou dano imediato significativo à qualidade das sementes. Após o período de 3 meses, além da temperatura de 47°C, a temperatura de 44°C ocasionou efeito latente de temperatura, aumentando progressivamente a deterioração até o período de 6 meses. No entanto, as temperaturas da massa de 38 a 41°C não ocasionaram efeitos prejudiciais, imediatos e nem latentes.

Na Tabela 17, no teste de emergência em campo, constatou-se inicialmente que o tratamento correspondente a 41°C obteve valores diferentes, sendo oriundo da inferioridade de qualidade do lote, pois os valores de emergência foram menores que os dos tratamentos correspondentes a 44°C e 47°C, verificando desta forma a inexistência de dano térmico imediato.

Enquanto a redução de vigor correspondente ao tratamento de 38°C foi de aproximadamente 10pp, os tratamentos de 44°C e 47°C causaram uma redução em torno de 30pp.

Na Tabela 18, os valores da variável umidade das sementes inicialmente com valores médios 13% apresentaram um incremento significativo para o período de 3 meses, sendo de aproximadamente 10%. No entanto, para o período de 6 meses, embora os valores não fossem significativos, houve um aumento nos valores de umidade, com a elevação da umidade relativa do ar. Da mesma forma, MIRANDA (1978) e CAVARIANI (1983), armazenando sementes de soja na região de Pelotas, inicialmente com umidade de 10%, verificaram aumento para 13% e 15% após três e cinco meses, respectivamente, em virtude de a umidade relativa média ser superior a 80%, ocasionando assim redução da sua qualidade fisiológica.

TABELA 14. Dados médios de germinação dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)		
	0	3	6
38	81 Aa	75 Ba	70 Ca
41	72 Ab	61 Bb	51 Cc
44	77 Aa	74 Ba	59 Cb
47	77 Aa	72 Ba	57 Cb
38N	81 Aa	76 Ba	68 Ca
41N	70 Ab	61 Bb	52 Cc
44N	81 Aa	74 Ba	71 Ba
47N	79 Aa	72 Ba	72 Ca

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 3; DP=2,09.

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

TABELA 15. Dados médios de primeira contagem dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPERATURA (Meses)		
	0	3	6
38	74 Aa	68 Babc	63 Ca
41	62 Ab	52 Bd	43 Ccd
44	71 Aa	64 Bc	52 Cb
47	70 Aa	66 Bbc	39 Cd
38N	74 Aa	71 Aab	65 Ba
41N	61 Ab	55 Ad	48 Bbc
44N	72 Aa	71 Aab	66 Ba
47N	74 Aa	70 Aa	68 Ba

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 3,7; DP=2,38.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%.

TABELA 16. Dados médios de envelhecimento acelerado dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)		
	0	3	6
38	70 Aab	66 Aa	53 Ba
41	55 Ac	48 Bb	26 Cb
44	67 Ab	46 Bb	29 Cb
47	65 Ab	45 Bb	19 Cc
38N	73 Aa	63 Ba	50 Ca
41N	56 Ac	50 Bb	30 Cb
44N	67 Ab	62 Ba	52 Ca
47N	70 Aab	62 Ba	53 Ca

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 4,58; DP=2,41.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%.

TABELA 17. Dados médios de emergência em campo dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)	
	0	6
38	76 Aa	71 Ba
41	61 Ab	47 Bb
44	75 Aa	51 Bb
47	78 Aa	53 Bb
38N	72 Aa	71 Aa
41N	64 Ab	47 Bb
44N	73 Aa	52 Bb
47N	74 Aa	73 Aa

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 6,1; DP=3,78. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 18. Dados médios de umidade dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)		
	0	3	6
38	13,1 Aa	14,4 Ba	15,1 Ba
41	13,3 Aa	14,7 Ba	15,4 Ba
44	13,2 Aa	14,5 Ba	15,6 Ba
47	13,5 Aa	14,7 Ba	14,8 Ba
38N	13,0 Aa	14,9 Ba	16,8 Ba
41N	13,2 Aa	14,8 Ba	14,7 Ba
44N	13,5 Aa	15,3 Ba	14,1 Ba
47N	13,4 Aa	14,4 Ba	14,7 Ba

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 8,2; DP=6,4. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%.

4.2.3. Desempenho energético

No consumo efetivo de energia verifica-se que pelo menos duas condições de temperatura propiciaram consumos de energia diferentes, sendo significativo em nível de probabilidade de 5%.

O modelo linear melhor explica o comportamento do consumo efetivo de energia em relação às condições de temperatura, conforme a Figura 20.

A taxa de consumo energético é de 80565,33 kcal para uma elevação de 1 °C na temperatura da massa de sementes, correspondente a 0,09 m³ de combustão de lenha.

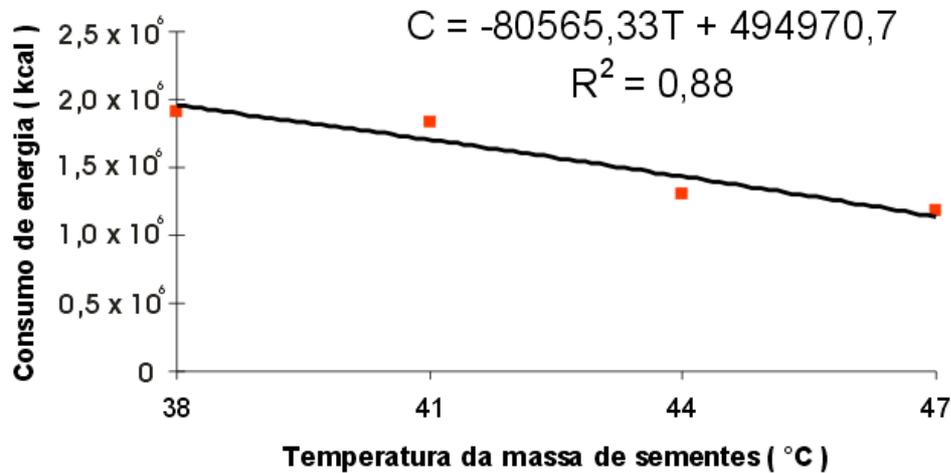


FIGURA 20. Consumo efetivo de energia em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47°C.

A energia dissipada através das paredes do secador em função da temperatura da massa de sementes não foi significativa em nível de probabilidade de 5%, sendo o valor médio da dissipação de 15,24%.

Na análise de variância da eficiência energética não se observou diferença significativa, conforme o aumento da temperatura da massa de sementes, sendo o valor constante de 21,33%. Isto significa que apenas 21,33% de energia foi utilizada, de fato, para o aquecimento do ar. Considerando que 15% foi dissipado através das paredes, verifica-se que praticamente 64% foi dissipado na tubulação de distribuição do ar aquecido ao secador, na fornalha e eficiência de combustão da casca de arroz.

4.3 Secador C

4.3.1 Velocidade de secagem

Verifica-se na Tabela 19 e Figura 21 que a velocidade de secagem no secador C foi de 1,17 pp/h e o tempo de residência de 38min. As sementes atingiram a temperatura de 38°C, com temperatura média do ar de 46°C.

Nos secadores A, B e C, as velocidades de secagem foram próximas, sendo diferencial o tempo de residência e a temperatura do ar correspondente à condição de 38°C.

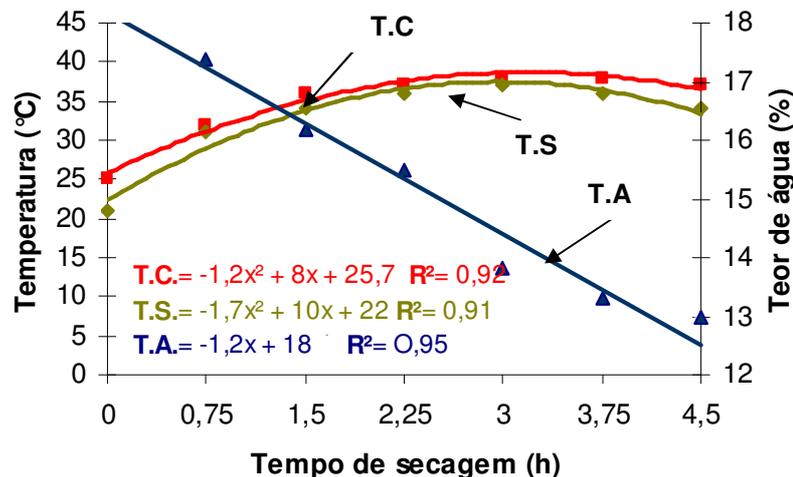
No secador C, o tempo de residência foi 84% e 76% superior em relação aos secadores A e B, respectivamente. No entanto, a temperatura do ar reduziu 40,25% e 41,89% comparativamente aos secadores A e B, respectivamente.

Em relação às temperaturas da massa na câmara de secagem e na descarga do secador, a diferença foi aproximadamente de 2°C, sendo esta variação de temperatura determinada pela reduzida distância linear da câmara de secagem ao sistema de descarga.

TABELA 19. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 38°C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR		SEMENTES	
	T (°C)	UR (%)	T AR (°C)	T C (°C)	T S (°C)	TA (%)
0	22	75	26	25	21	18,3
0,75	23	75	55	32	31	17,4
1,5	23	75	42	36	34	16,2
2,25	23	75	47	37	36	15,5
3	23	75	48	38	37	13,8
3,75	23	75	44	38	36	13,3
4,5	23	75	45	37	34	13
média	23	75				

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; T.AR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; TA- teor de água das sementes.



Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A** - teor de água das sementes (%).

FIGURA 21. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 38°C na massa de sementes.

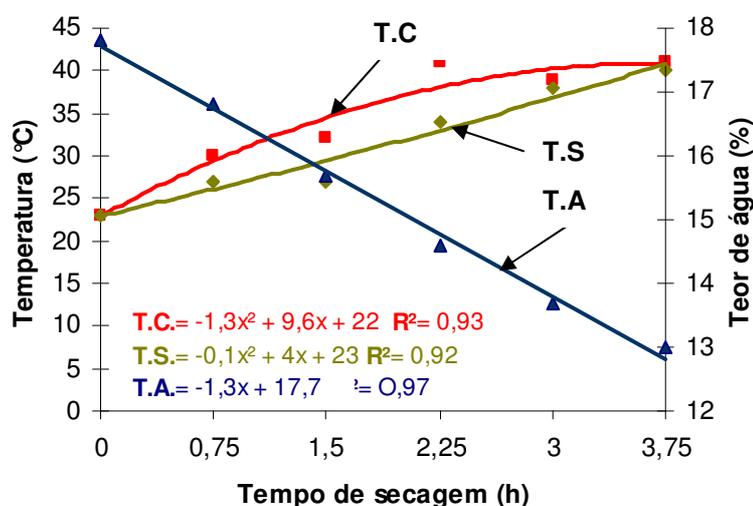
Na condição de 41 °C, a velocidade de secagem foi de 1,28 pp/h, com ar a temperatura de 55 °C, conforme a Tabela 20.

A variação de temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador foi representada por equações do segundo grau, conforme Figura 22.

TABELA 20. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja com máxima temperatura da massa de 38 °C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	T AR (°C)	T C (°C)	T S (°C)	TA (%)
0	25	71	28	23	23	17,8
0,75	24	70	41	30	27	16,8
1,5	25	70	58	32	27	15,7
2,25	25	70	56	41	34	14,6
3	25	70	56	39	38	13,7
3,75	25	70	55	41	40	13,0
média	25	70	56			

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; T.AR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; TA- teor de água das sementes.



Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A** - teor de água das sementes (%).

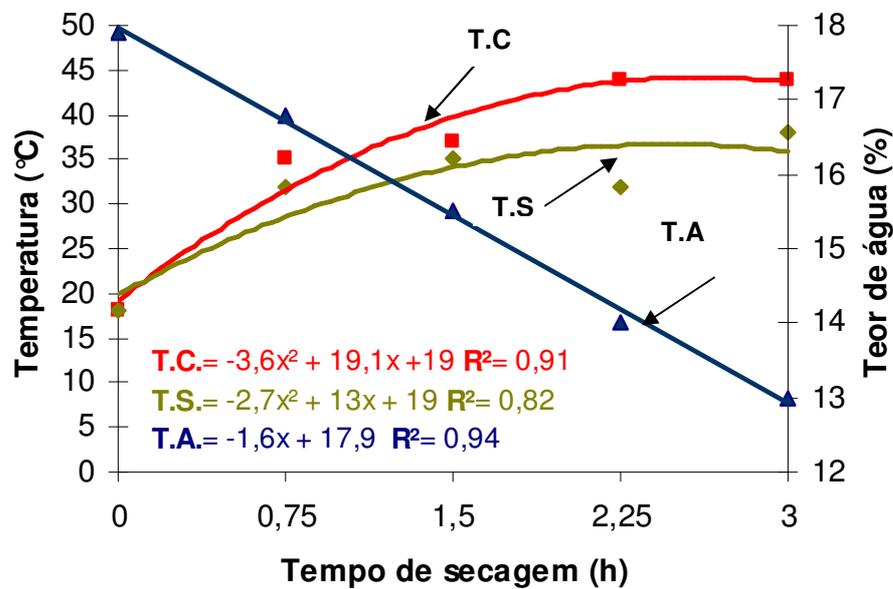
FIGURA 22. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 41 °C na massa de sementes.

Nas condições de 44°C e 47°C verificam-se velocidades de secagem de 1,63 pp/h e 2,08 pp/h, com número de voltas pelo secador de 4 e 3, respectivamente, conforme Tabelas 21 e 22 e Figuras 23 e 24.

TABELA 21. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 44 °C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	T AR (°C)	T C (°C)	T S (°C)	TA (%)
0	17	87	18	18	18	17,9
0,75	17	87	71	35	32	16,8
1,5	17	87	64	37	35	15,5
2,25	17	87	63	44	42	14,0
3	17	87	63	44	43	13,0
média	17	87	64			

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; T.AR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; TA- teor de água das sementes.



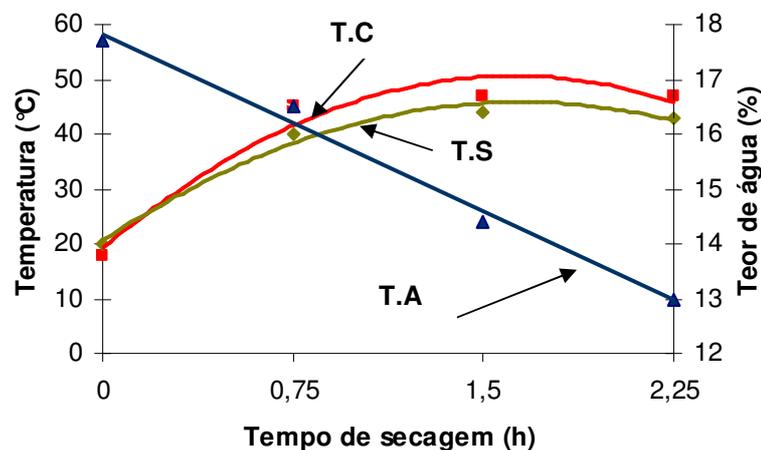
Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A** - teor de água das sementes (%).

FIGURA 23. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 44 °C na massa de sementes.

TABELA 22. Dados obtidos durante a secagem intermitente de sementes de soja, com máxima temperatura da massa de 47°C.

TEMPO DE SECAGEM (h)	AMBIENTE		SECADOR	SEMENTES		
	T (°C)	UR (%)	T AR (°C)	T C (°C)	T S (°C)	TA (%)
0	21	82	25	18	20	17,7
0,75	21	82	74	45	40	16,5
1,5	21	82	75	47	44	14,4
2,25	21	82	70	47	43	13
média	21,0	82,0				

Legenda: h- horas; T- temperatura ambiente; UR- umidade relativa ambiente; T.AR- temperatura do ar de secagem; T.C- temperatura da massa de sementes na câmara de secagem; T.S- temperatura das sementes na saída do secador; TA- teor de água das sementes.



Legenda: **T.C** - temperatura das sementes na câmara de secagem (°C); **T.S** - temperatura das sementes na saída do secador (°C); **T.A** - teor de água das sementes (%).

FIGURA 24. Curva de secagem relacionando teor de água, temperatura da massa de sementes na câmara de secagem e na saída do secador durante a secagem intermitente com o tratamento de 47°C na massa de sementes.

Sendo significativa a velocidade de secagem em relação aos níveis de temperatura, verifica-se que o modelo linear é o mais apropriado, por ser significativo e explicar 94% do comportamento da velocidade de secagem no intervalo de 38 a 47°C, propiciando a melhor representação (Figura 25).

A taxa de secagem aumenta 0,1 pp/h, para cada aumento de 1°C na temperatura da massa de sementes, no intervalo de 38 a 47°C.

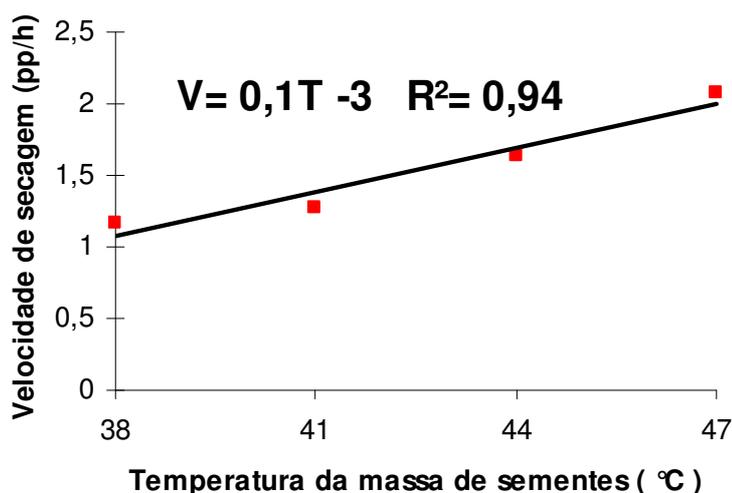


FIGURA 25. Velocidade de secagem em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47 °C.

4.3.2 Qualidade fisiológica

Na verificação da qualidade fisiológica constata-se que os lotes referentes às condições 38 °C e 41 °C são de baixo vigor. No entanto, nas condições de 44 °C e 47 °C, apesar de serem oriundos de lotes de melhor qualidade fisiológica, tiveram redução de qualidade.

O dano térmico foi imediato para temperaturas maiores que 44 °C, estando em desacordo com os secadores A e B, havendo danos latentes, principalmente após seis meses de armazenamento. Observa-se que o limite de temperatura na massa de sementes, sem que houvesse redução na sua qualidade fisiológica foi 38 °C.

No secador C, na condição 41 °C, houve redução de qualidade, sendo considerável em virtude do tempo prolongado de exposição ao ar aquecido. Desta maneira, na secagem não basta apenas considerar o limite máximo de temperatura na massa de sementes, mas também é importante que esta informação venha associada ao respectivo tempo de exposição ao ar aquecido.

Na Tabela 23, verifica-se efeito imediato na germinação em virtude da temperatura da massa de sementes, sendo a redução significativa para temperaturas acima de 44 °C. Provavelmente, esta redução de germinação seja em virtude do tempo de residência ser de 38min.

Após 3 e 6 meses de armazenamento, verifica-se efeito latente nas sementes para temperaturas acima de 41 °C.

Do período inicial até os 6 meses, utilizando a temperatura da massa de sementes de 38 °C, observa-se uma redução na qualidade de 18pp e a covariável correspondente uma redução de 15pp, ou seja, a redução da qualidade é provavelmente em função das condições ambientais.

Para as temperaturas de 41 °C, 44 °C e 47 °C, a redução da germinação neste mesmo período foi de 47pp, 32pp e 71pp, respectivamente. As covariáveis das temperaturas de 41 °C, 44 °C e 47 °C tiveram a redução de 15pp, 10pp e 16pp, respectivamente. Esta ocorrência evidencia que mais de 50% de redução de germinação nestes períodos é em função da temperatura da massa e do tempo de exposição ao ar de secagem.

O principal problema causado por elevadas temperaturas é a desorganização do sistema de membrana, o qual compromete a germinação (BURRIS, 1997). Na célula, a organela principal de fornecimento de energia para o desenvolvimento das plântulas é a mitocôndria. Da mesma forma, pesquisas realizadas por BRACCINI et al. (2001) e BURRIS et al. (1997) têm verificado que temperaturas elevadas da massa de sementes comprometem a funcionalidade desta organela produzindo assim cristas pouco visíveis.

Na Tabela 24, o teste de primeira contagem verifica-se efeitos semelhantes ao do teste de germinação. No entanto, os valores são aproximadamente 10pp menores, ou seja, as temperaturas afetaram a velocidade de germinação, conforme BURRIS et al. (1997), ao ressaltar que a velocidade de germinação é reduzida em função da alta temperatura da massa de sementes.

Na Tabela 25, constata-se que o teste de envelhecimento acelerado detectou efeito imediato nas temperaturas superiores a 44 °C, atribuído provavelmente ao elevado tempo de exposição das sementes ao ar aquecido, devido ao elevado tempo de residência, ocasionando assim o valor limite de 38 °C de temperatura da massa de sementes. Valores de temperatura de 41 °C causaram efeitos latentes, pois estabeleceram reduções maiores que a correspondente covariável.

A redução causada pela temperatura de 38 °C foi de aproximadamente 40pp, no período de seis meses, enquanto que a temperatura de 47 °C ocasionou um decréscimo de 60pp, no mesmo período.

Na Tabela 26, no teste de emergência em campo verifica-se que a redução de emergência inicial para a final das temperaturas de 38°C, 41°C, 44°C e 47°C corresponderam a 5pp, 33pp, 29pp e 78pp, respectivamente. Estes valores próximos referentes às temperaturas de 41°C e 44°C são resultantes da maior qualidade das sementes oriundas dos lotes de 44°C.

Na Tabela 27, o tratamento de 38°C determinou um incremento de umidade em torno de 12pp no período de 6 meses, enquanto que o de 47°C obteve um incremento de 5%, ou seja, o parâmetro de qualidade inicial do lote de sementes tem influência mais significativa que os parâmetros térmicos.

TABELA 23. Dados médios de germinação dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)		
	0	3	6
38	64 Ac	60 Ab	52 Ab
41	58 Ac	46 Bd	31 Cb
44	75 Ab	63 Bb	51 Cb
47	76 Ab	58 Bbc	22 Cd
38N	65 Ac	62 Ab	55 Bb
41N	62 Ac	54 Bc	53 Bb
44N	80 Aab	75 Ba	72 Ba
47N	84 Aa	76 Ba	71 Ba

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 4,4; DP=2,7. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%.

TABELA 24. Dados médios de primeira contagem de germinação dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)		
	0	3	6
38	53 Ac	55 Bc	46 Cb
41	41 Ad	36 Be	24 Cc
44	75 Aa	60 Bb	43 Cb
47	68 Ab	57 Bbc	17 Cd
38N	56 Ac	55 Bc	45 Cb
41N	52 Ac	46 Bd	42 Cb
44N	76 Aa	69 Ba	65 Ca
47N	77 Aa	70 Ba	62 Ca

Legenda: **N** - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 3,7; DP=1,9. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%.

TABELA 25. Dados médios de envelhecimento acelerado dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)		
	0	3	6
38	57 Abc	42 Bbc	36 Bc
41	56 Ac	35 Bc	21 Cd
44	63 Aabc	35 Bc	19 Cd
47	41 Ad	16 Bd	16 Bd
38N	64 Aabc	40 Bbc	38 Bc
41N	62 Aabc	53 ABab	49 Bbc
44N	71 Aab	63 ABa	60 Bab
47N	72 Aa	67 Aa	63 Aa

Legenda: N - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 14; DP=6,2.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 26. Dados médios de emergência em campo dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)	
	0	6
38	63 Ac	59 Aa
41	62 Ac	41 Bc
44	64 Ac	45 Bc
47	62 Ac	14 Bd
38N	66 Ac	48 Bc
41N	57 Ac	50 Bc
44N	73 Ab	55 Bb
47N	75 Aa	63 Ba

Legenda: N - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 7,2; DP=4,2.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%.

TABELA 27. Dados médios de umidade dos níveis das variáveis e covariáveis do fator temperatura em cada período.

TRATAMENTOS	TEMPO (Meses)		
	0	3	6
38	13,0 Aa	14,6 Ba	15,2 Ba
41	12 Aa	15,3 Ba	15,3 Ba
44	13,5 Aa	14,8 Ba	14,2 Ba
47	13,7 Aa	14,2 Ba	14,3 Ba
38N	13,8 Aa	16,1 Ba	14,8 Ba
41N	13,2 Aa	16,1 Ba	15,2 Ba
44N	14,4 Ab	16,3 Ba	14,7 Ba
47N	13,4 Aa	15,1 Ba	15,1 Ba

Legenda: N - secagem natural das sementes que foram retiradas no carregamento do secador antes da secagem artificial de determinado nível do fator temperatura. CV (%) = 9,2; DP=5,44.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na mesma linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey em nível de probabilidade de 5%.

4.3.3 Desempenho energético

Com a variação significativa do consumo de energia nas condições da temperatura da massa de sementes, o modelo linear possibilita melhor representação do consumo efetivo de energia no intervalo de 38 °C a 47 °C.

A taxa de consumo de energia decresce 78.260 kcal para cada aumento de 1 °C na temperatura da massa de sementes, o que representa uma economia de 0,05m³ de lenha para cada 1 °C de elevação da temperatura.

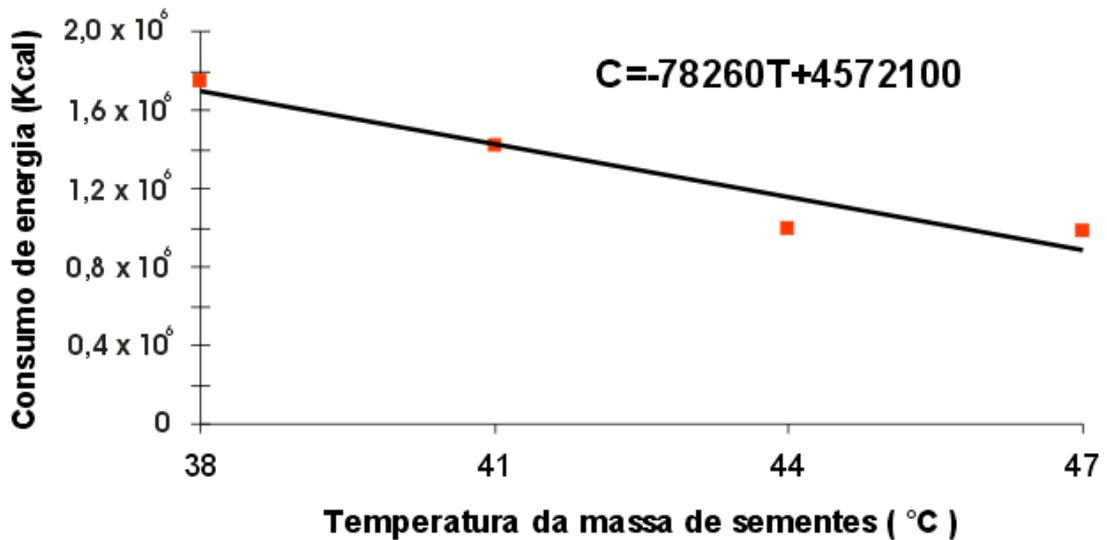


FIGURA 26. Consumo efetivo de energia em função do intervalo de temperatura da massa de sementes de 38 a 47 °C.

A energia dissipada através das paredes do secador em função da temperatura da massa de sementes não foi significativa em nível de probabilidade de 5%, sendo o valor médio da dissipação igual a 13%.

CONCLUSÕES

O limite máximo da temperatura das sementes de soja na câmara de secagem, sem prejudicar a qualidade fisiológica, varia de 38°C a 41 °C, dependendo da relação de intermitência e do tempo de residência do secador.

Nos secadores intermitentes, a velocidade de secagem de sementes de soja aumenta linearmente com o aumento da temperatura da massa de sementes, sendo os limites superiores variáveis de 1,17 pp/h a 1,45 pp/h, correspondentes a temperaturas da massa de sementes de 38°C a 41 °C.

A variação de temperatura das sementes de soja entre a câmara de secagem e a descarga atinge no máximo entre 3°C a 5°C, conforme o tempo de residência do secador intermitente.

A taxa de consumo de energia decresce linearmente com o aumento da temperatura da massa de sementes.

A energia dissipada através das paredes de um secador intermitente representa em média de 13% a 15% da energia efetiva consumida.

A energia necessária para o aquecimento do ar representa 21% a 30% da energia efetivamente utilizada na secagem em secadores intermitentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, D.C. Secagem intermitente de sementes de aveia branca empregando altas temperaturas iniciais. **Revista Brasileira de Sementes**, v.22, n2. , p.45-52, 2000.

BAUDET, L.M.L. ; AMARAL, A.dos S. Efeitos da temperatura de secagem sobre a qualidade fisiológica de semente de sorgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 3, Campinas,1983. Resumos. Brasília: ABRATES, 1983. p.143.

BAUDET, L.M.L.; VILLELA, F.A.; CAVARIANI, C. Princípios de secagem. **Seed News**, Pelotas, n.10, p.20-27,1999.

BRACCINI, A. de L. E.; BRACCINI, M. do C. L.; SCAPIM, C. A. Mecanismos de deterioração das sementes: aspectos bioquímicos e fisiológicos. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 10-15, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA, 1992. 365p.

BROOKER, D.D.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450p.

BOEMEKE, L. R. S.; SIMIONI, D.; ROMANO, C. M.; AOSANI, E.; PEREIRA, F. M.; SCHIRMER, M.A. S.; ELIAS, M. C. Desempenho energético em secagens estacionária e intermitente de arroz. In: SIMPÓSIO SUL BRASILEIRO DA QUALIDADE DE ARROZ, 1., 2003, Pelotas. Anais Passo Fundo: Berthier, 2003. p. 415-422.

BURRIS, J. S.; PETERSON, J. M.; PERDOMO. Morphological and hysiological changes associated with desiccation in maize embryos. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON SEEDS: BASIC AND APPLIED ASPECTS OF SEED BIOLOGY, 5., 1995, Reading. Proceedings... Reading: University of Reading, 1997. p. 103-111.

CARDOSO, M. (2005). Qualidade do arroz no beneficiamento. Disponível em: <<http://www.artigosqualidadedo.com.br?menu=331>>. Acesso em: 21 abr. 2009.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CARVALHO, N. M. A. **Secagem de sementes**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2005. 184 p.

CAVARIANI, C. Efeito da secagem intermitente sobre a qualidade de semente de soja. 1983. 94f. . Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1983.

COPERGÁS. Combustíveis para racionamento nacional: <<http://www.copergás.com>=331>. Acesso em: 09 jun. 2008.

CEPAN. Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócio. Produção de soja no RS. Disponível em: <http://www.scp.rs.gov.br/ATLAS/indice_mapas.asp?menu=331>. Acesso em: 02 set. 2009.

GUIMARÃES, D. S. Desenvolvimento de módulo computacional para a secagem estacionária de sementes. 2005. 165f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes). Universidade Federal de Pelotas, 2005.

EMBRAPA SOJA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Disponível em <http://www.cnpso.embrapa.br/> acesso em outubro de 2009.

FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, Amsterdam, v. 38, p. 191-218, 2002

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Disponível em: <http://www.fao.org/rice2007/index_en.htm>. Acesso em: 21 mar. 2009.

HARRINGTON, J.F. Seed storage and longevity. In: KOZLOWSKI, T. (ed). Seed biology New York: Academic Press, 1972. v.2. 582p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola municipal. PAM. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias>>. Acesso em: 06 de out. de 2007.

KRAUTAU. Energia sustentável disponível em: <<http://www.kraut.enr.com>=331>. Acesso em: 05 jan. 2009.

KIRK, L.E. et al. **Almacenamiento y secado de granos**. Roma, ONU-FAO, 1955.

LACERDA, A. L. S.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E.; FILHO, W. V. V. Armazenamento de sementes de soja dessecadas e avaliação da qualidade fisiológica, bioquímica e sanitária. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.25, n.2, p.97-105, 2003.

LUZ, C.A.S.; PESKE, S.T. Secagem de arroz em secador intermitente lento. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.10, n.2, p.103-114, 1988.

MARINI, L. J.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C.; MEZZOMO, N. Efeito da secagem intermitente na estabilidade de grãos de aveia. **Brazilian Journal of Food Technology**, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 260-267, 2005.

MILMAN, M. J. Manejo da relação de intermitência e da temperatura do ar na secagem industrial do arroz. 2001. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Industrial). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

MIRANDA, T. R. Secagem intermitente lenta de sementes de soja. 1978. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1978.

PARKER, R.; RING, S.G. Aspects of the physical chemistry of starch. *Jornal of Cereal Science*, Saint Paul, v3, n1, p3-5, 2008.

PESKE, S. T; VILLELA, F. A. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 2. ed. Pelotas: UFPel, 2006. 470p.

PESKE S. T; VILLELA, F.A.; Secagem a alta velocidade. **Seed News**, Pelotas, n.2, p.22-26, 2008.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL (34:2006: Pelotas). Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2006/2007. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 237p.

SINÍCIO, R.; MAURI, A.L.; ARAUJO, E.F. Equacionamento da longevidade de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.33, n.2, p. 127-133, 2008.

VILLELA, F.A. Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- USP, 1991. 104f. (Tese Doutorado).

VILLELA, F. A; SILVA, WR. Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho. **Anais da ESALQ**. Piracicaba, v. 48, n.1, p. 185-209, 1991.

VILLA, L.G.; ROA,G. **Secagem e armazenamento da soja industrial e sementes a granel**. Campinas: Fundação Cargill, 1979. 64p.

WEBER, É. Curso de beneficiamento e armazenagem de grãos e sementes. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 1998.