



UNICAMP

GONZALO VILLALOBOS SANJINES

○
**DETERMINAÇÃO DO EFEITO DAS VARIÁVEIS DA SECAGEM EM SILOS
SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES DE SOJA**
○

TESE APRESENTADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO MAGISTER SCIENTIAE

ORIENTADOR
Dr. LUÍS GABRIEL VILLA

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

1977

BRUNO A. B. JUNIOR

BRUNO A. B. JUNIOR

Com amor

*À memória de minha
avó Hortensia.*

Com carinho

*A meus pais e as
minhas irmãs Beatriz e Es-
tela.*

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar sua sincera gratidão ao Professor Dr. Luis Gabriel Villa pela sua brilhante orientação, efetiva dedicação e amizade durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Dr. José Luiz Vasconcellos da Rocha pelas valiosas sugestões e colaboração na redação do presente trabalho.

A Organização dos Estados Americanos OEA, pelo apoio econômico.

Ao Instituto Agronômico de Campinas IAC, especialmente na pessoa do Eng. Agr. Octavio Tisselli Filho pela efetiva colaboração na obtenção da semente de soja.

A Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola e ao Grupo de Energia Solar da UNICAMP pelas facilidades concedidas para a execução do trabalho.

Aos Engs. Agrs. Roberto Usberti e Dirce Bissoli Ortola ni do Laboratório Central de Sementes da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral CATI, pelo uso de suas instalações e pelas sugestões na realização dos testes de germinação e vigor das sementes.

A Angelo Bianchi pela colaboração nos trabalhos de computação, e a todas aquelas pessoas que me incentivaram e apoiaram.

Poesia nº 27

Enquanto a vida cria imagens errôneas,
completamente vazias
Enquanto o tempo lentamente flui de
longo ante tarefas úteis
E as estrelas tristemente dão voltas
no céu
Os homens não devem rir.

CONTEÚDO

ÍNDICE DE QUADROS	i
ÍNDICE DE ESQUEMAS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
I INTRODUÇÃO	1
II OBJETIVOS	4
III REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 Características da Soja	5
3.2 Produção Brasileira e Mundial da Soja	5
3.3 Deterioração da Qualidade Fisiológica das Sementes de Soja	6
3.4 Determinação da Qualidade Fisiológica da Semente	8
3.5 Fatores que Afetam a Qualidade da Semente Antes da Secagem	12
3.6 Fatores que Afetam a Qualidade das Sementes Durante a Secagem em Silos	16
3.7 Modelo Matemático para a Secagem de Soja em Silos	24
IV MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 Materiais	30
4.1.1 Matéria Prima	30
4.1.2 Outros Materiais	30
4.1.3 Equipamentos	30

4.2 Métodos	31
4.2.1 Acondicionamento da Matéria Prima	31
4.2.2 Desenvolvimento do Modelo Matemático	32
4.2.2.1 Metodologia Experimental	32
4.2.2.2 Metodologia Analítica	37
4.2.3 Comprovação do Modelo Matemático	41
4.2.3.1 Metodologia Experimental	41
4.2.3.2 Metodologia Analítica	43
V RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 Modelo Matemático de Deterioração	45
5.2 Comprovação do Modelo Matemático	62
5.3 Determinação das Vazões Mínicas Para a Secagem de Se- mentes de Soja	73
VI CONCLUSÕES	76
BIBLIOGRAFIA	78
ANEXO I	85
ANEXO II	86

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro I .	Comparação da Germinação em Condições de Laboratório e de Campo de 94 Lotes de Sementes de Soja	10
Quadro II .	Germinação Inicial e Após 18 Meses de Armazenamento, e Vigor de 28 Lotes de Sementes de Milho	13
Quadro III .	Germinação Standard (Tempo de Secagem em horas) de Soja Varieda Dare	22
Quadro IV .	Umidade Relativa nos Frascos e Umidade de Equilíbrio das Sementes de Soja	35
Quadro V .	CO_2 Acumulado nos Frascos Cada Oito Horas	36
Quadro VI .	Percentagens de Germinação e Vigor das Sementes de Soja Submetidas as Diversas Condições de Temperaturas e Umidade	46
Quadro VII .	Índices de Germinação (G_i) das Sementes Submetidas às Diferentes Temperaturas e Conteúdos de Umidade ...	47
Quadro VIII.	Porcentagens de Germinação, Vigor e Umidade, Experimentais e Simuladas, das Sementes, Durante a Secagem no Silo Solar	71
Quadro IX .	Vazões Mínimas Para a Secagem de Sementes de Soja Santa Rosa, de 20% b.u. de Umidade Inicial, nas Faixas de Temperaturas Ambiente e Solar	75

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema I	- Secagem de Uma Camada Delgada, Segundo Thompson et.al.	25
-----------	--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Estrutura da Semente de Soja Indicando a Germinação ...	7
Figura 2	Relação entre o Vigor e a Germinação	11
Figura 3	Efeito das Condições Ambientais no Campo Sobre o Poder Germinativo e o Teor de Umidade de Sementes de Soja	15
Figura 4	Danificação Mecânica Durante a Colheita de Sementes de Soja. Apresentando Diferentes Teores de Umidade e a Diferentes Rotações do Cilindro da Colheadeira	17
Figura 5	Influência de Temperatura e o Conteúdo de Umidade na Germinação de Sementes de Soja	19
Figura 6	Germinação em Função da Temperatura de Armazenamento, para Soja Secada a Diferentes Temperaturas	20
Figura 7	Conteúdo de Umidade e Germinação em Função do Tempo da Secagem	23
Figura 8	Disposição das Sementes e da Solução no Interior dos Frascos	34
Figura 9	Silo Secador Solar	42
Figura 10	Índices de Germinação e Vigor das Sementes para os	

	Diferentes Conteúdos de Umidade na Temperatura de 20°C	48
Figura 11	Índices de Germinação e de Vigor das Sementes para os Diferentes Conteúdos de Umidade na Temperatura de 30°C	49
Figura 12	Índices de Germinação e de Vigor das Sementes para os Diferentes Conteúdos de Umidade na Temperatura de 38°C	50
Figura 13	Índices de Germinação e Vigor das Sementes para as Diferentes Temperaturas na Umidade de 7,3% b.u.	51
Figura 14	Índices de Germinação e Vigor das Sementes para as Diferentes Temperaturas na Umidade de 10,5% b.u.	52
Figura 15	Índices de Germinação e Vigor das Sementes para as Diferentes Temperaturas na Umidade de 13,5% b.u.	53
Figura 16	Índices de Germinação e Vigor das Sementes para as Diferentes Temperaturas na Umidade de 18,8% b.u.	54
Figura 17	Previsão na Condição Padrão dos Índices de Deteriora ção da Germinação e do Vigor, calculados pelas Equa ções Encontradas	57
Figura 18	Germinação: Previsão do Multiplicador de Umidade M_u ..	60
Figura 19	Vigor: Previsão do Multiplicador de Umidade M_u'	61
Figura 20	Germinação: Previsão do Multiplicador de Temperatu ra M_t	63

Figura 21	Vigor: Previsão do Multiplicador de Temperatura M_t^1 ...	64
Figura 22	Previsão dos Índices de Germinação na Temperatura de 20°C	65
Figura 23	Previsão dos Índices de Germinação na Temperatura de 30°C	66
Figura 24	Previsão dos Índices de Germinação na Temperatura de 38°C	67
Figura 25	Previsão dos Índices de Vigor na Temperatura de 20°C	68
Figura 26	Previsão dos Índices de Vigor na Temperatura de 30°C .	69
Figura 27	Previsão dos Índices de Vigor na Temperatura de 38°C	70
Figura 28	Vazões Mínicas e Tempos Correspondentes Para a Secagem das Sementes de Soja Variedade Santa Rosa	74

RESUMO

A secagem em silos é um processo relativamente lento, no qual, para ventilação ascendente, as camadas superiores podem demorar em atingir os teores de umidade de segurança para a conservação da qualidade fisiológica das sementes, e a camada inferior pode sofrer uma excessiva secagem, também prejudicial.

Neste trabalho determinou-se quantitativamente o efeito do tempo de permanência, a diferentes condições de temperatura e umidade, sobre a qualidade fisiológica (germinação e vigor) de sementes de soja da variedade Santa Rosa. Com estes dados, elaborou-se um modelo matemático para simular a deterioração que as sementes de soja possam experimentar durante a secagem em silos.

Sumarizando-se esquematicamente, o modelo matemático obtido constitui-se da seguinte forma:

Germinação

$$G_i = 1 - [0.4123(e^{0.0002907 T_{eq} - 1}) + 0.00005842 T_{eq}^{0.8225}]$$

onde:

G_i = Índice de germinação = % Germinação/% Germinação inicial

T_{eq} = Tempo equivalente = $\frac{T}{M_u M_t}$; T = tempo em horas

$M_u = 0.95 + 0.054U$; para umidades: $U < 10.9\%$ b.u.

$M_u = 232.0718U^{-2.0992}$; para umidades: $U \geq 10.9\%$ b.u.

$M_t = 4.03 - 0.101t$; para temperaturas: $t \leq 30^\circ\text{C}$

$M_t = 1 + (0.41308 - 0.24152 \ln U + 0.002075U^{1.5275})(t - 30)$; para $t > 30^\circ\text{C}$

Vigor

$$V_i = 1 - [0.0015196(e^{0.00395405T'_{eq}} - 1) + 0.000366435T'_{eq}]$$

onde:

V_i = Índice de vigor = % Vigor / % Vigor inicial

T'_{eq} = Tempo equivalente = $\frac{T}{M'_u M'_t}$; T = tempo em horas

$M'_u = 1.482 + 0.00811U$; para umidades $U < 10.9\%b.u.$

$M'_u = 251.68U^{-2.1273}$; para umidades $U \geq 10.9\%b.u.$

$M'_t = 1 + (0.37445 - 0.20348 \ln U + 0.00025984U^{2.02058}) (t-30)$;
para $20^\circ C \leq 38^\circ C$

Este modelo foi testado na secagem de 780 kilogramas de semente de soja, variedade Santa Rosa, num silo secador provido de um coletor solar para o aquecimento do ar. Durante a secagem determinou-se por simulação, a cada 30 minutos, as condições de umidade e temperatura das sementes, empregando-se o modelo adaptado de Thompson et.al.

Com o modelo obtido, determinou-se também, a vazão mínima de ar a ser utilizada na secagem em silos de sementes de soja, com teor inicial de umidade de 20% b.u., para condições constantes de ar situados nas faixas da secagem solar e natural.

ABSTRACT**DETERMINATION OF THE EFFECT OF BIN DRYING VARIABLES ON THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF THE SOYBEANS SEEDS**

Delay of Drying may cause important losses of soybean germination due to excess humidity in the grain. Drying of seeds in bins is a relatively slow process where the grain located in the upper layers of the seed bed remains wet for a relatively long period of time. Therefore, it is required to adequate the airflow in order to start the drying of this upper layer before germination losses are too large.

In the present research work, the effect of moisture, temperature and time on physiological quality (germination and vigor) of Santa Rosa soybean seeds was studied. A mathematical model for predicting germination and vigor under different ambient conditions was developed. The model was effectively tested for predicting the deterioration of seed quality during the bin drying process. Minimum airflows, for bin drying under different ambient conditions were also determined. It was found that it is needed to double airflow for bin drying soybean seeds in comparison with the airflow recommended for industrial soybeans.

I INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas que afligem a humanidade, num mundo com elevados índices de aumento populacional, e a perspectiva da fome. Atualmente, segundo dados da FAO, 4,5 milhões de pessoas morrem por ano como consequência da fome, e de um terço à metade da população apresenta deficiências nutricionais.

Dos alimentos consumidos que, sem dúvida, podem contribuir para solucionar as deficiências protéicas e calóricas das populações, destaca-se a soja.

A soja é considerada, dentre os produtos de origem vegetal, como uma das fontes importantes de óleo; e o resíduo resultante da sua extração, constitui-se numa das mais ricas fontes protéicas para a indústria mundial de alimentos.

Nos últimos anos no Brasil, a soja está ganhando cada vez mais, posição de destaque nas espécies vegetais cultivadas de maior importância para a sua economia. Partindo de uma produção praticamente insignificante na década de 50, está atualmente colocado entre os três primeiros produtores e exportadores mundiais de soja, ao lado dos Estados Unidos da América do Norte e da China.

Fator primordial para o êxito da produção é a boa qualidade fisiológica da semente, a que, após da colheita, deverá ser mantida até o plantio.

Para evitar a deterioração no campo, e reduzir o dano mecânico que possam experimentar durante a colheita mecânica, as sementes de soja devem ser colhidas com umidade superior àquela que de

verão possuir para poderem ser armazenadas, precisando então, de submeterem-se à secagem.

Embora, imprescindível para a conservação da semente, a própria secagem pode comprometer o produto. Os secadores industriais contínuos, para grãos, geralmente não podem ser utilizados para sementes, pois são projetados para secagens rápidas que utilizam temperaturas que ultrapassam as permitidas para a secagem de sementes, ou então, têm que ser adaptados para trabalharem com temperaturas inferiores, reduzindo desta forma sua capacidade e eficiência de secagem.

A secagem estacionária em silos, utilizando-se ar ambiente ou com pouco aquecimento por meio de um coletor solar, poderá constituir-se em boa alternativa para a secagem de sementes, especialmente a nível de fazenda. Podendo-se utilizar o mesmo silo secador como armazenador, haverá também redução de equipamento, mão de obra e do manuseio que danifica a semente.

Na secagem de sementes num silo que introduz o ar secador pela base, a secagem começa nas camadas inferiores. O ar trocando calor e umidade com estas camadas, não possui condições de realizar a secagem das camadas superiores, podendo até, ocasionar-lhes maior umedecimento. Essa situação vai mudando, à medida que, pela própria secagem das camadas inferiores, a frente de secagem vai avançando até alcançar a camada superior.

Modelos matemáticos (46,51), permitem determinar, para cada período de tempo, as condições de temperatura e umidade a que as sementes de cada camada são submetidas durante a secagem. Conhe-

cendo a deterioração fisiológica das sementes para essas diversas condições, pode-se calcular a deterioração total das sementes como função das variáveis do processo de secagem.

Este trabalho, mediante a determinação quantitativa do efeito do conteúdo de umidade, temperatura e tempo de exposição, sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja variedade Santa Rosa, aporta com dados experimentais e um modelo matemático, aos critérios que visam aperfeiçoar as operações da secagem de sementes em silos secadores.

II OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho resumem-se em:

- 2.1 Desenvolver um modelo matemático para quantificar o efeito das condições de secagem em silos, de sementes de soja variedade Santa Rosa, sobre a qualidade fisiológica: a) Germinação e b) Vigor.
- 2.2 Comprovar o modelo matemático, comparando-se a previsão simulada do modelo com os dados experimentais, obtidos mediante a secagem de sementes de soja variedade Santa Rosa, em silo secador provido de coletor solar.
- 2.3 Estabelecer as condições adequadas da vazão de ar para a secagem de sementes de soja em silos.

III REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Características da Soja

A soja, Glycine max (L) Merrill é uma leguminosa dicotiledonea pertencente à Família Leguminosae, Sub-família Papilionoideae e Tribo Faseolas (40). Tendo a possibilidade de mecanização integral para culturas em grandes áreas, representa uma das fontes mais baratas e abundantes de proteína de boa qualidade (50).

Possui 15 a 20% de matérias graxas. 40 a 50% do peso seco total, está constituído por proteínas, nas quais são encontrados todos os aminoácidos essenciais à vida humana. Seu conteúdo protéico é quatro vezes maior que o do ovo, quinze vezes o do leite, o dobro do encontrado em carne de aves, três vezes o da carne de carneiro e duas vezes e meia o da carne de gado. Também possui elevados teores de sais minerais (5%), principalmente cálcio e fósforo, e apresenta bom nível de vitaminas, em particular as de complexo B (6,50).

3.2 Produção Brasileira e Mundial de Soja

No Brasil, em 1953 graças a melhoramentos genéticos, obtiveram-se novas variedades brasileiras de soja, que sendo de boa produtividade e juntamente com os bons preços do mercado internacional, incentivaram a sua cultura. Assim, a produção de soja passou de 60.800 t., com uma área cultivada de 47.500 hectares no início da década de 50 a 11.000.000t com uma área cultivada aproximada de 8 mi-

lhões de hectares em 1975/76; estimando-se que esta tendência de aumento continuará no futuro (21,22 e 50).

Segundo dados do CACEX (22), em 1974/75, de uma produção de 9.804.300 t., foram exportadas 3,3 milhões de toneladas de soja em grão e 3,1 milhões de toneladas de farelo. O consumo interno absorveu cerca de 4,8 milhões de toneladas para a indústria de óleo, um milhão de toneladas se destinaram a outros fins industriais e 700 mil toneladas foram utilizadas como sementes para o plantio.

Em 1975/76 a produção mundial de soja foi de 67,2 milhões de toneladas, destacando-se os Estados Unidos da América do Norte como principal produtor mundial, atingindo 41,4 milhões de toneladas ou seja 61,6% do total. A produção do Brasil com 11,0 milhões de toneladas representa 16,4% do total, e o coloca em segundo lugar, seguido pela China que produziu 10,1 milhões de toneladas com 15,0% do total. Restando 4,7 milhões de toneladas com 7,0% do total para os outros países produtores (22).

3.3 Deterioração da Qualidade Fisiológica das Sementes de Soja

A deterioração das sementes está representada pela soma de todas as transformações degenerativas físicas, fisiológicas e bioquímicas, que concorrem para a perda da qualidade fisiológica. (19,36)

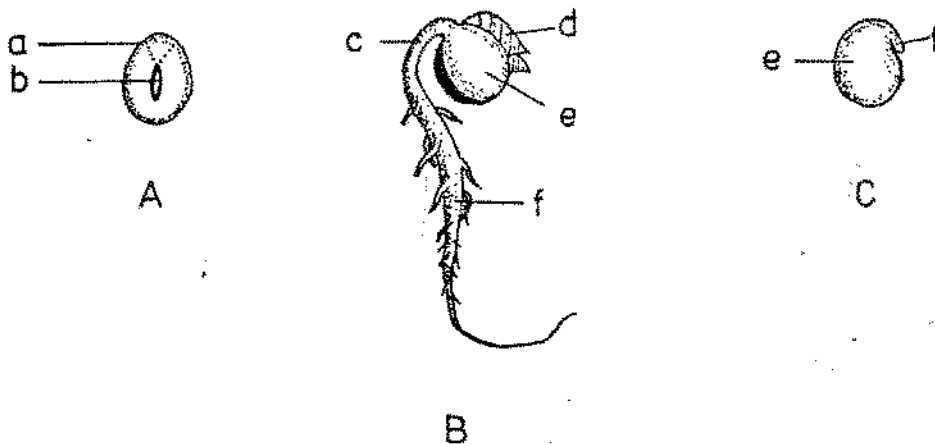
A deterioração qualitativa da semente é fenômeno para o qual contribuem vários fatores que podem atuar isolada ou conjunta

mente, e sendo estes fatores acumulativos, a qualidade da semente co-
lhida não pode ser melhorada, apenas é possível diminuir as veloci-
dades das transformações degenerativas, que dependem das condições de
produção, colheita, beneficiamento, transporte, secagem e armazena-
mento. As modificações deteriorativas são, porém, irreversíveis (17,
36).

Delouche (15) indica que a estrutura e fisiologia da se-
mente de soja, contribui também para facilitar a sua deterioração, já
que a posição da radícula, hipocótilo, axis e a delicada cobertura da
semente, aumentam a susceptibilidade para as injúrias ou danificações
mecânicas. (figura 1)

Figura 1

Estrutura da Semente de Soja Indicando a Germinação



A - Semente; B - Semente germinada; C - Embrião

a - tegumento; b - hilo; c - hipocótilo; d - plúmula; e - cotiledone;
f - raiz primordial

Fonte: James C. Delouche. Maintaning Soybean Seed Quality. 1974.

Segundo Delouche (15), a deterioração das sementes de soja inicia-se com a degeneração da membrana dos mitocôndrios. Durante a germinação e crescimento inicial da radícula, existem decréscimos nos rendimentos de energia dos processos biossintéticos e na transferência de matéria seca dos tecidos de reserva para o eixo embrionário, reduzindo-se a velocidade de germinação. Velocidade reduzida de germinação e crescimento da radícula, refletem em retardamentos do desenvolvimento da planta. Como consequência, a floração e a maturidade das plantas, no campo, tornam-se cada vez mais desuniformes. Quando a deterioração atinge fase muito avançada, as sementes não conseguem emergir e finalmente, não germinam mesmo nas melhores condições de meio ambiente.

3.4 Determinação da Qualidade Fisiológica da Semente

A qualidade fisiológica da semente é a sua capacidade de desempenhar funções vitais, originando uma planta sadia e produtiva quando semeada no campo (19). A qualidade fisiológica é determinada pela viabilidade e vigor da semente (34).

A viabilidade é a capacidade da semente de germinar (26). É medida, principalmente, pelo teste de percentagem de germinação, que é o mais difundido e, praticamente, o único empregado pelas leis que regulamentam a fiscalização do comércio de sementes. Consiste basicamente, em colocar quatro repetições de cem sementes, em condições favoráveis de temperatura, umidade, oxigênio e substrato, determinando-se o número de sementes germinadas capazes de produzir plântulas normais. (19,26,35,37)

Nas sementes de soja, recomenda-se para o teste de germinação, utilizar como substrato rolos de pano; e temperaturas do germinador de 20 a 30°C. A contagem inicial é feita ao 4º ou 5º dia e, afinal no 8º dia, para as quatro repetições de cem sementes de cada amostra. (37)

Delouche (13,15) comenta que os procedimentos do teste de germinação, foram estabelecidos em princípios visando a otimização da germinação das sementes. É realizado em condições artificiais padronizadas, utilizando-se meios esterilizados, umidade e temperatura controladas por períodos suficientemente longos, possibilitando que mesmo as sementes fracas, tenham desenvolvimento normal. Considera que por este motivo, o teste de germinação resulta insensível para a determinação rigorosa da qualidade da semente, já que não leva em conta as perdas de potencial de rendimento que podem acontecer antes que as sementes percam a capacidade de germinar.

Estes decréscimos no potencial de rendimento das sementes atribuem-se às transformações na qualidade fisiológica, e influem, diretamente, na capacidade de armazenamento e no desempenho no campo. (15) Assim, muitos agricultores são frequentemente surpreendidos porque sementes com boa porcentagem de germinação, falham em rendimento satisfatório quando semeadas no campo. (quadro I)

QUADRO I

Comparação da Germinação em Condições de Laboratório e de Campo de 94 Lotes de Sementes de Soja

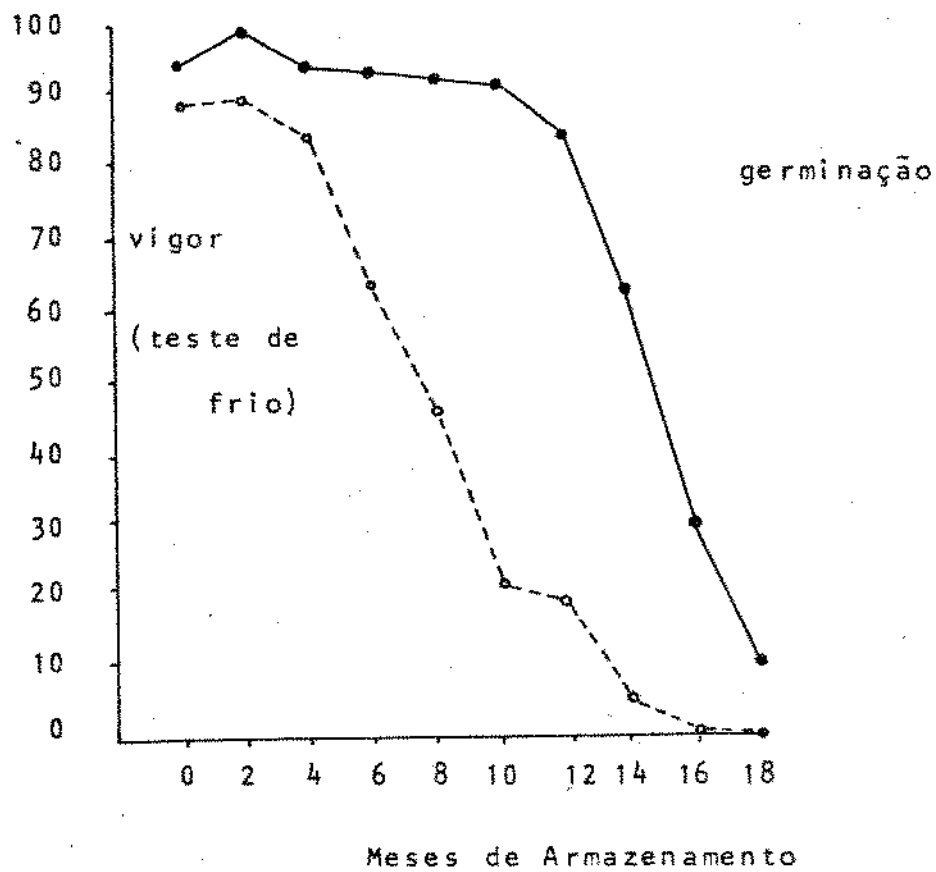
Emerg. no Campo (%)	Germinação em Laboratório (%)			Total de Lotes
	90-94	85-89	80-84	
90-	5	0	0	5
80-89	9	12	0	21
70-79	10	14	6	30
60-69	2	8	4	14
50-59	3	6	6	15
40-49	0	3	2	5
-39	0	4	0	4
Total Nº	29	47	18	94

Fonte: J.C. Delouche. 1974. Maintaining Soybean Seed Quality.

Os testes de vigor determinam a germinação de sementes após terem sido submetidas a condições ambientes, similares às condições adversas que podem ser encontradas no campo, avaliando-se todos os fatores do vigor de semente. Os testes de vigor, mais comumente empregados, são o de envelhecimento precoce, velocidade de crescimento e testes de frio. Os testes de vigor permitem avaliar de forma bem mais eficiente a qualidade fisiológica da semente (35). A figura 2 mostra a qualidade fisiológica de um lote de sementes de milho, avaliado pelo teste de germinação e por um teste de vigor (teste de frio); o vigor revelou perdas acentuadas de qualidade a partir do 6º mês de armazenamento, enquanto o teste de germinação somente detetou essas perdas a partir do 14º mês. (9)

Além de indicar melhor a qualidade fisiológica das se-

Figura 2
Relação Entre o Vigor e a Germinação



Semente de Milho, armazenada a:

30° Centígrados

55% U.R. do Ar

Fonte: Byrd, W. 1970. Evaluating Seed Storability and Vigor

mentos, os testes de vigor podem ser utilizados para avaliar o potencial inicial de armazenagem das mesmas (13). O quadro II mostra como os lotes Nº 12 e 22, que apresentam a mesma germinação inicial (98%) mas diferente vigor (89% a 44%), mostraram diferentes germinações, 94 e 46% respectivamente, depois de 18 meses de armazenamento sob iguais condições. Assim também, os lotes Nº 4 e 5 apresentando germinação superior a 80%, que segundo os padrões de sementes (20) é exigida para as sementes básicas de boa qualidade, o teste de vigor indicou que, na realidade, estes lotes estavam já deteriorados e não possuíam capacidade de armazenagem.

O teste de envelhecimento precoce consiste em submeter a semente em condições adversas de elevadas temperaturas e umidades relativa do ar, por um período de tempo determinado, e em seguida proceder a um teste comum de germinação. As temperaturas recomendadas se situam entre 40 e 45°C, e a umidade relativa do ar entre 75 a 100%. O período de exposição é variável de acordo com a espécie, sendo tanto maior, quanto menor for a temperatura utilizada. (13,35)

No caso de soja, para o teste de envelhecimento precoce, Delouche e Baskin (13), recomendam submeter as sementes a 40°C e 100% de umidade relativa durante 42 horas ou 30°C e 75% de U.R. durante 72 horas. Usberti (48), para sementes de soja variedade Santa Rosa recomenda temperaturas entre 40 e 44°C e 100% de umidade relativa durante 48 horas.

3.5 Fatores que Afetam a Qualidade da Semente Antes da Secagem

O desenvolvimento da semente inicia-se no floresci-

QUADRO II

Germinação Inicial e Após 18 Meses de Armazenamento, e Vigor de 28 Lotes de Sementes de Milho

Nº do Lote	Germinação Inicial (%)	Teste de Envelhecimento Precoce. (45°C, 100% UR, 60h)	Germinação após 18 meses de Armazenamento. (%)
30	99	97	99
25	94	97	96
18	98	96	96
27	98	95	84
21	99	93	98
24	99	93	94
28	97	90	96
23	97	90	82
12	98	89	94
29	99	80	90
17	96	80	85
13	98	77	80
19	96	76	74
10	95	70	36
15	96	52	72
22	98	44	46
03	97	41	84
31	96	11	20
26	90	74	78
08	92	69	64
11	92	67	22
09	91	61	46
14	94	59	72
07	92	19	63
05	90	06	18
16	88	83	84
04	86	00	08
20	80	00	02

Fonte: Delouche, J. e Baskin, C. 1971. Development of Methods for Predicting The Longevity of Crop Seed Lost in Storage.

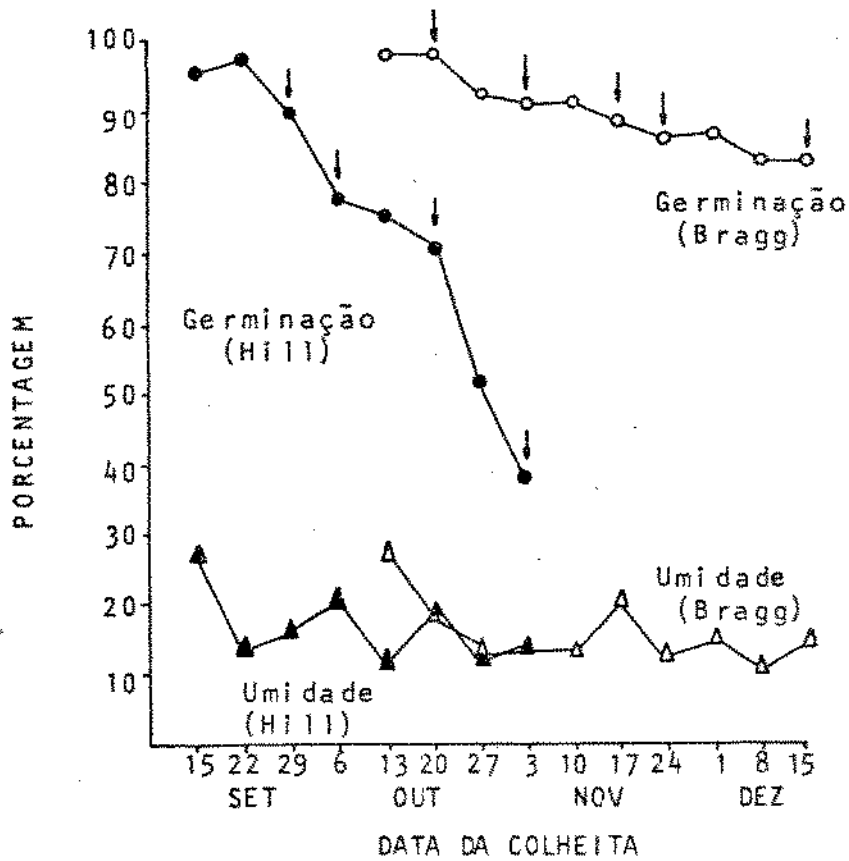
mento após a fecundação. Os dois cotiledones e as demais partes essenciais da semente estão totalmente diferenciadas em duas semanas (41). Segundo Delouche (15), o peso seco da semente aumenta devagar durante os primeiros 20 e 30 dias, enquanto que o conteúdo de umidade decresce lentamente de 90% a 80%. A partir desta fase a matéria seca experimenta um rápido acréscimo que atinge seu máximo aos 65 a 75 dias, para ficar depois constante. No período de rápido acréscimo da matéria seca, a umidade decresce a 40 - 50% b.u. Neste momento, a semente possui o máximo teor de matéria seca, alcançando a maturidade fisiológica, sendo também máximos sua germinação e vigor. No entanto, ela já pode germinar quando possui um terço da matéria seca acumulada (15).

A semente após atingir a maturidade, fica praticamente "armazenada" no campo. Delouche (15) indica que a qualidade é grandemente afetada quando a umidade da semente reduz-se pela primeira vez abaixo de 25% b.u. durante o período de pós-maturação até a sua colheita. Em boas condições de secagem no campo, a umidade da semente pode decrescer a 15 - 18% b.u. numa semana após ter atingido a maturidade fisiológica; porém quando acontecem frequentes ou prolongadas precipitações pluviais, produzem-se reumedecimentos e secagens alternativos das sementes nas vagens, ocasionando séveras deteriorações. Os efeitos climáticos tornam-se mais graves, em função dos aumentos da temperatura ambiente.

Em termos de qualidade da semente, o momento da colheita é muito importante para minimizar a deterioração no campo (13) (Figura 3).

Figura 3

Efeito das Condições Ambientais no Campo Sobre o Poder Germinativo e o Teor de Umidade da Semente de Soja



Variedades Hill e Bragg

Variedades Hill e Bragg. (↓ = Chuva na semana anterior)

Fonte: Delouche, J. e Baskin, C. 1971. Development of Methods for Predicting the Longevity of Crop Seed Lost in Storage.

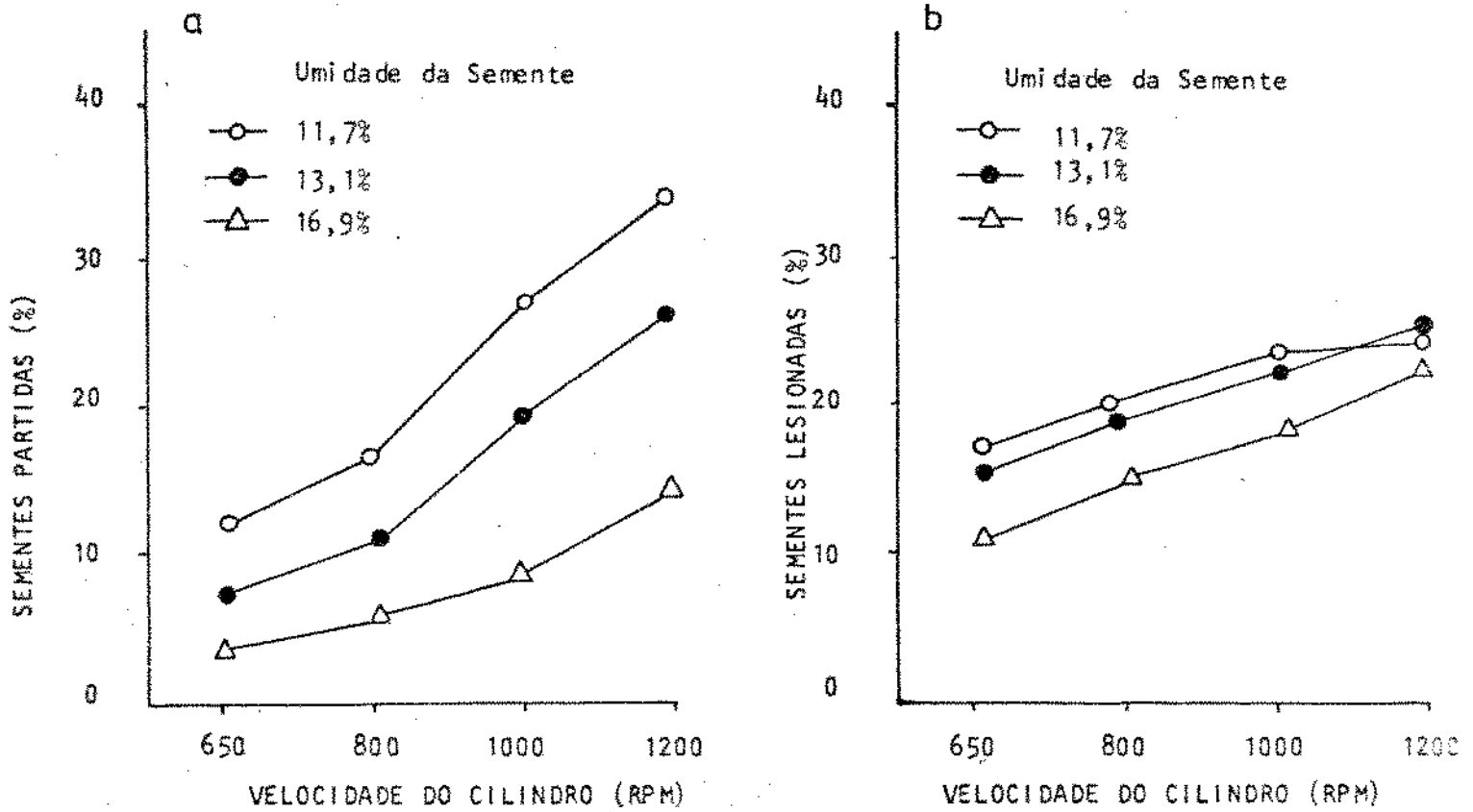
Quando a umidade reduz-se a menos de 14% b.u. as sementes ficam muito sensíveis às injúrias mecânicas (15). As fissuras e quebraduras aumentam rapidamente quando o conteúdo de umidade está abaixo de 12,5%, e a germinação das sementes com 10% de umidade pode reduzir-se a 10% pelo impacto de uma queda de 1,53m. sobre uma lâmina metálica. Em quedas de 6m. não foram percebidos efeitos notórios na germinação quando as sementes apresentaram-se com 14% de umidade. Dificuldades na limpeza da semente e outras injúrias menos visíveis, mas também deteriorativas, aumentam quando a colheita é feita com conteúdos de umidade acima de 14% b.u. (15)

O conteúdo de umidade mais favorável para a colheita mecânica é controvertido. Segundo Delouche (15) ela deve realizar-se quando a umidade da semente está na tangente que aproxima a 14% b.u., segundo Popinigis (34,35) a semente experimentará menor dano mecânico quando a umidade estiver em torno de 17% b.u. A figura 4 mostra as danificações mecânicas durante a colheita de sementes de soja para diversas velocidades de rotação do cilindro da colhedeira, podendo-se observar que para todas as diferentes velocidades dos cilindros, a menor deterioração encontrada foi quando as sementes apresentavam 16,9% de umidade b.u. Matthers, K. e G.B. Welch (27) indicam que para se evitar a permanência prolongada das sementes em condições deteriorativas de campo, é aconselhável realizar a colheita com umidades mais altas, em torno de 22% b.u., e proceder imediatamente a sua secagem.

3.6 Fatores que Afetam a Qualidade das Sementes Durante a Secagem em Silos

Christensen e Kauffman (10) encontraram que a germina-

Figura 4
Danificação mecânica Durante a Colheita de Sementes de Soja, Apresentando Diferentes Teores de Umidade e a Diferentes Rotações do Cilindro da Colhedeira.



a) % de fragmentos iguais ou menores que 1/2 de semente.

b) Sementes com lesões visíveis no tegumento.

Fonte: Popinigis, F. 1976. Preservação na qualidade Fisiológica da Semente Durante o Armazenamento.

ção das sementes de soja é grandemente afetada pelas condições de temperatura, conteúdo de umidade e tempo de permanência (Figura 5). Em razão disso, as condições do ar, caracterizadas pela sua temperatura, umidade relativa e vazão, são fatores críticos para a secagem de sementes em silos. Por outra parte, o teor inicial de umidade e o dano mecânico das sementes a serem secas, influem também na sua qualidade final. (1,7,27,31,41)

Referindo-se aos critérios gerais da secagem de soja, McKenzie (29) comenta que altas temperaturas do ar produzem fissuras ou quebraduras do tegumento da semente. Essas fissuras possibilitam a penetração da microflora externa, fato que acontece especialmente no armazenamento. Recomenda para a secagem de sementes de soja em geral, não utilizar temperaturas superiores a 43°C , para evitar danos no germen e quebraduras do tegumento, que podem ocasionar a separação dos cotilédones. Puzzi (38) indica que elevadas temperaturas do ar comprometem também a viabilidade do embrião.

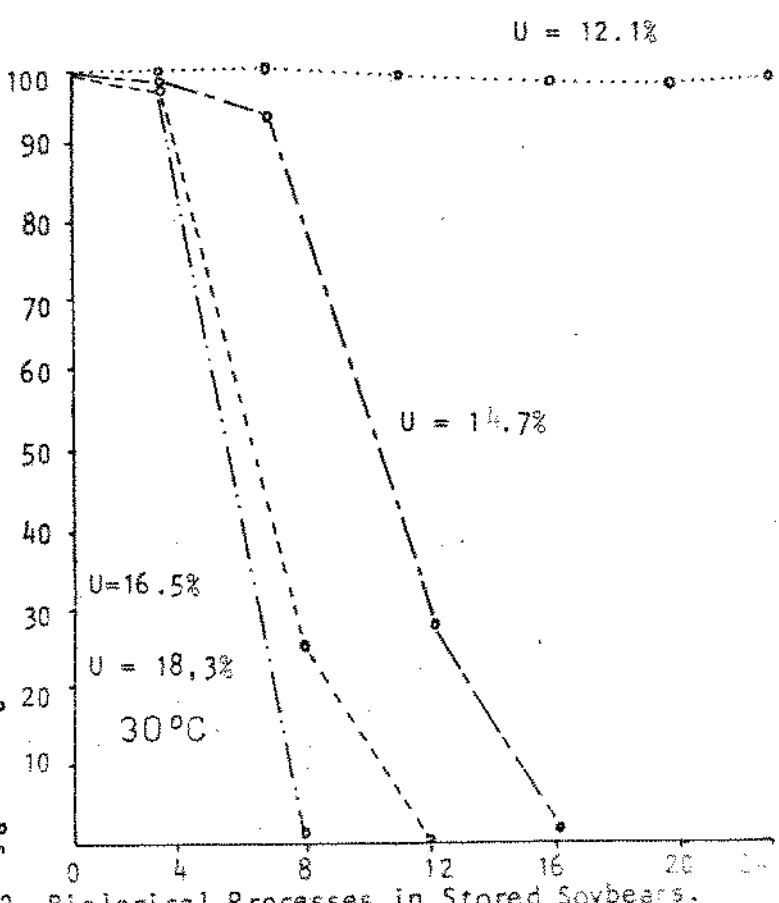
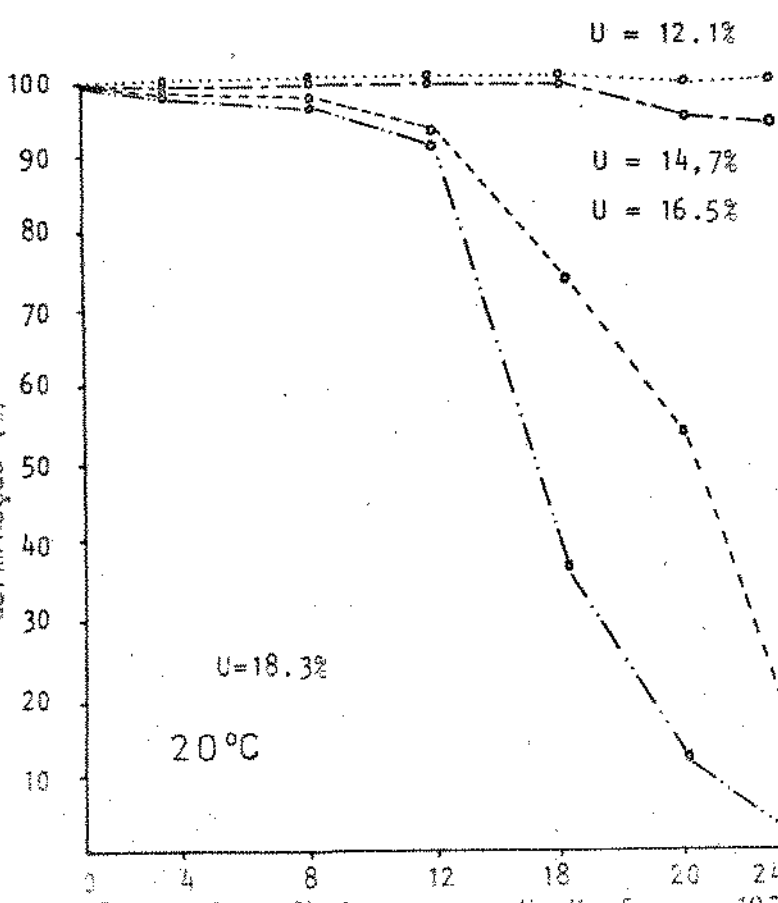
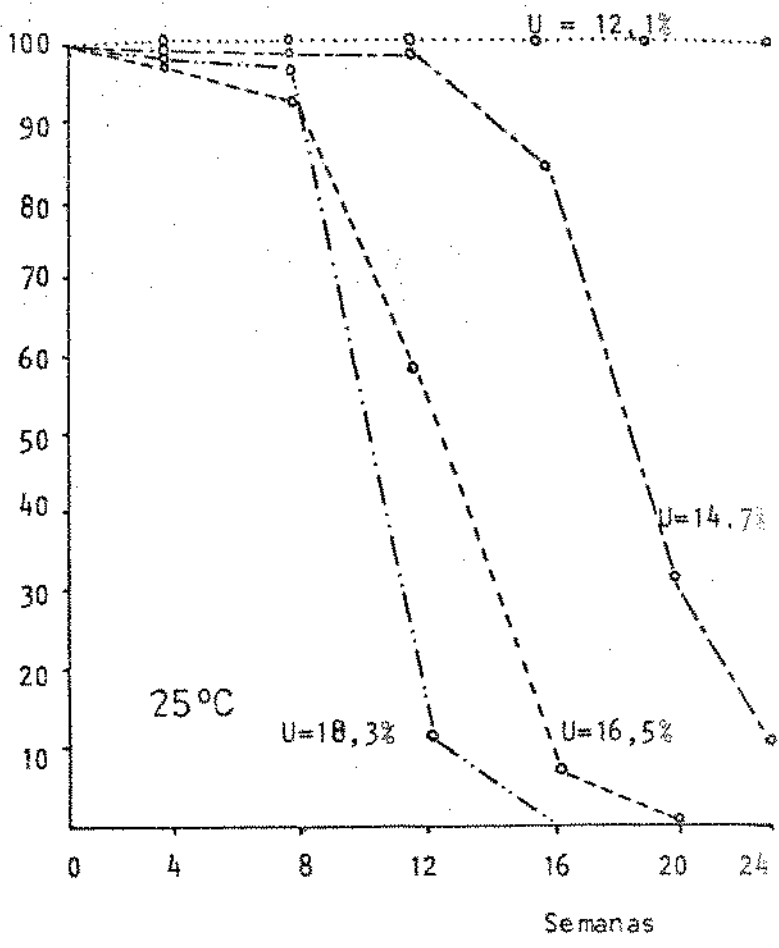
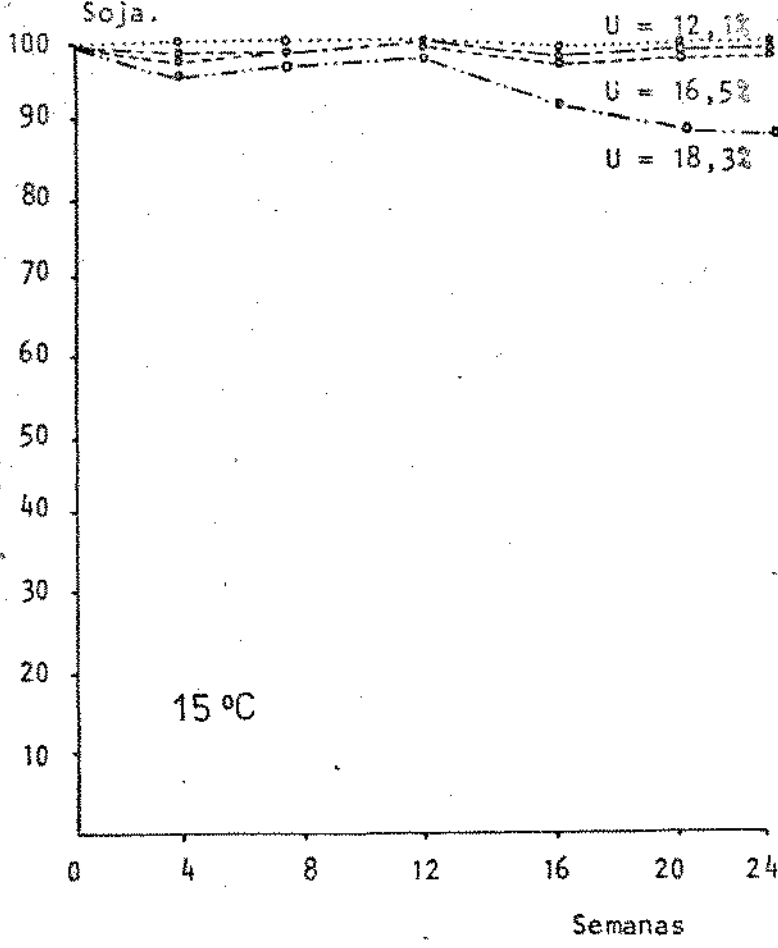
White, et al. (52) concluíram que a secagem de sementes de soja com temperaturas superiores a 50°C , não só reduz grandemente a germinação após a secagem, como também estas sementes ficam debilitadas para o armazenamento. (Fig. 6) Outras pesquisas mostraram que, quando submetidas a temperaturas elevadas, as sementes mais úmidas são mais afetadas na germinação do que aquelas mais secas, (24)

Delouche (15) indica que além da temperatura, umidades relativas do ar inferiores a 40%, podem ocasionar também fissuras do

Figura 5

Influência da Temperatura e o Conteúdo de Umidade na Germinação de Sementes de

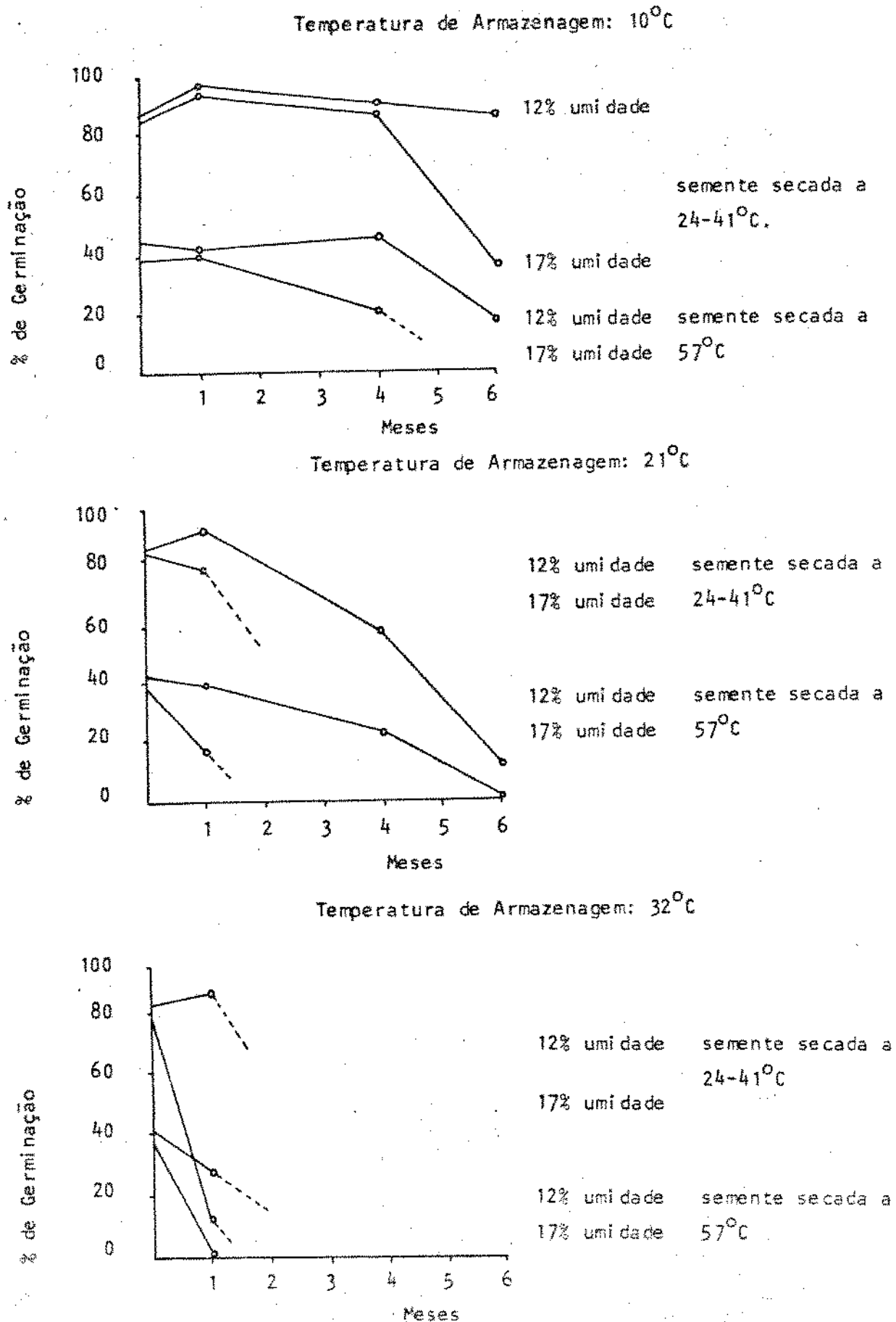
Soja.



Fonte: C.M. Christensen e H. Kaufmann, 1972. Biological Processes in Stored Soybeans.

Figura 6

Germinação em Função da Temperatura de Armazenamento, para Soja Secada a Diferentes Temperaturas.



Fonte: White, Loev, Ross e Egli. 1976. Storage Characteristics of Soybeans Dried with Heated Air.

tegumento e afetar negativamente a germinação da soja.

O conteúdo de umidade recomendado a que se deve chegar na secagem de sementes de soja, para poderem ser armazenadas, é de 9 a 11% b.u. (29,35,36). Por outra parte, Boyd menciona que em sementes de soja variedade Lee, para umidades de 6,7% b.u., se manifestam danificações nas células do hipocótilo do embrião, que prejudicam a germinação. (7)

Dados sobre as vazões recomendáveis para a secagem de sementes em silos, são escassos. Delouche (15) indica vazões de 2 a 3 m³/min.t utilizando ar natural para sementes de soja com umidade em torno de 16% b.u., e vazões de 3 a 6 m³/min.t com ar aquecido para sementes com teor de umidade superior a 16% b.u.; limitando este aquecimento para que a umidade relativa do ar, se mantenha no redor de 40%. Boyd (7) encontrou que para a secagem de sementes de soja (variedade Lee) com 14,8% de umidade b.u., utilizando ar com temperaturas menores de 38°C e umidades relativas de 30 a 55%, podem ser empregadas vazões de 3 m³/min.t sem observar-se uma deterioração considerável.

Integrando todos os fatores que afetam a secagem de sementes com alto conteúdo de umidade em silos, Matthes, et.al. (27) concluíram que é possível realizar a secagem de sementes de soja, variedade Dare, quando o teor inicial das sementes é de 22% b.u., e obter um produto final de boa qualidade. A temperatura do ar não deve ser superior a 40°C e a umidade relativa deve estar na faixa de 40 a 50%, com uma vazão de ar de 9 a 12 m³/min.t. O quadro III e a Figura 7 apresentam os resultados destes pesquisadores. No quadro III

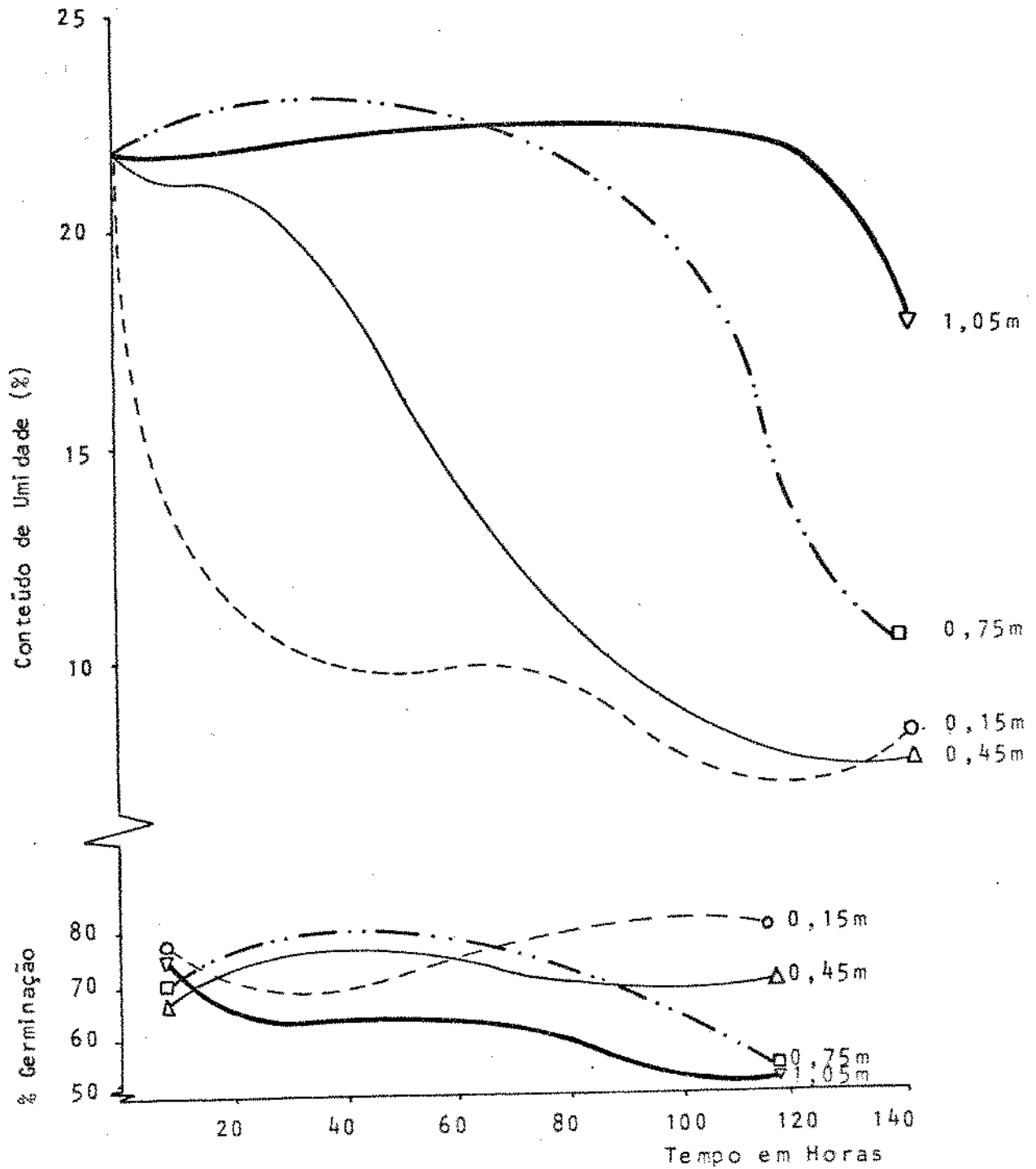
QUADRO III
 Carmineção Standard (Tempo da Secagem em horas) de Soja Variedade Dara

	Fluxo do ar (m ³ /min.t)	Altura da Camada		
		0,15m	0,45m	0,75m
Umidade relativa do ar: 55%	1,5	79,5 (74)	71,0 (152)	58,0 (200)
	3	82,0 (16)	75,0 (68)	68,6 (128)
	6	76,0 (16)	75,5 (56)	71,5 (104)
	9	86,0 (12)	76,5 (38)	69,0 (56)
	12	83,5 (8)	76,5 (20)	79,5 (30)
Umidade relativa do ar: 42%	3	77,5 (10)	75,9 (58)	66,5 (98)
	6	86,5 (6)	74,5 (28)	78,0 (62)
	9	87,5 (4)	83,5 (12)	80,5 (38)
	12	88,5 (4)	83,5 (12)	82,5 (38)
				81,0 (46)

Fonte: Matthes K.R., Boyd, A.H. e Welch, G.B. 1974. Heated Air Drying of Soybean Seed.

Figura 7

Conteúdo de Umidade e Germinação em Função do Tempo da Secagem



Fonte: Matthes K.R., Boyd, A.H. e Welch, G.B. 1974. Heated Air Drying of Soybean Seed.

pode-se observar como a vazão do ar e a umidade relativa influenciam quanto ao maior ou menor tempo da secagem, observando-se que umidades relativas superiores a 50% e vazões do ar inferiores a $9 \text{ m}^3/\text{min.t.}$, prolongam o tempo da secagem e portanto, afetam mais a qualidade final da semente. A figura 7 mostra que a camada superior que leva mais tempo para secar, experimenta maior deterioração.

Trabalhos desenvolvidos recentemente na quantificação da secagem e da deterioração, permitem realizar estudos mais sistemáticos do efeito da secagem sobre a qualidade do produto.

Assim, Villa et.al. (51) adaptaram um modelo matemático de simulação de secagem por camada delgada, desenvolvido por Thompson et.al. (46), e um modelo de deterioração que determina a perda de matéria seca, desenvolvido por Steele et.al. (43,44) para estabelecer as vazões mínimas de ar necessárias para secar grãos de soja, antes que aconteça a deterioração comercial.

O método utilizado consiste basicamente em prever com um modelo matemático de secagem as condições de temperatura e umidade do grão, durante o processo. Simultaneamente, uma vez conhecidas estas condições, usando-se o modelo de previsão da deterioração, calcula-se a deterioração relativa em cada camada, a cada momento, como função das variáveis da secagem. Conhecida a máxima deterioração permitível, pode-se estabelecer as vazões ótimas de ar para diferentes condições de secagem. (51)

3.7 Modelo Matemático para a Secagem de Soja em Silos

A massa de sementes num silo secador pode ser conside-

rada como constituída de camadas delgadas de um grão de espessura, colocadas uma em cima da outra. O modelo usado por Villa et.al. (51), baseado nos trabalhos de Thompson et.al. (46), determina por meio de balanços de energia e massa, a secagem de uma camada delgada de grãos, analisando as condições finais do grão e do ar após um tempo Δt , segundo o seguinte esquema:

Esquema I

Secagem de Uma Camada Delgada, Segundo Thompson et.al. (46)

ar de saída com $\left\{ \begin{array}{l} T-\Delta T \quad \Delta T = \text{temperatura cedida à semente } ^\circ\text{C} \\ W+\Delta W \quad \Delta W = \text{kg. de água/kg. do ar seco cedido pela semente} \end{array} \right.$



Camada Delgada de Sementes

ar de entrada com $\left\{ \begin{array}{l} T = \text{temperatura } ^\circ\text{C} \\ W = \text{quantidade de água kg. de água/kg. de ar seco} \end{array} \right.$

Sementes antes da Secagem com $\left\{ \begin{array}{l} M = \% \text{ de umidade base seca} \\ T_s = \text{temperatura da semente} \end{array} \right.$

Sementes após a Secagem durante o Tempo (Δt) $\left\{ \begin{array}{l} M-\Delta M \quad \Delta M = \text{umidade perdida pela semente (\% b.s.)} \\ T_s + \Delta T \quad \Delta T = \text{temperatura cedida à semente pelo ar} \end{array} \right.$

A previsão da secagem de uma camada grossa (massa de sementes do silo) é feita considerando a secagem de camada delgada, onde as condições finais de cada camada são usadas como iniciais da

próxima, e assim até completar a simulação de toda a massa.

O modelo empregado por Villa et.al. (51) na secagem de soja, para determinar as curvas de secagem de camada delgada, de umidade de equilíbrio, o calor latente de vaporização e o calor específico, emprega as seguintes relações:

Equações de Troeger e Hunkilli (citadas em 51) são usadas para conhecer o tempo em minutos em que a semente alcança um conteúdo (M) de umidade.

$$t = P_1(M-M_e)^{q_1} - P_1(M_o-M_e)^{q_2} \quad ; \quad \text{quando } M_o \leq M < M_{x1}$$

$$t = P_2(M-M_e)^{q_2} - P_2(M_{x1}-M_e)^{q_2} + t_{x1} \quad ; \quad \text{quando } M_{x1} \leq M < M_{x2}$$

$$t = P_3(M-M_e)^{q_3} - P_3(M_{x2}-M_e)^{q_3} + t_{x2} \quad ; \quad \text{quando } M_{x2} \leq M \leq M_e$$

$$M_{x1} = 0.40 (M_o - M_e) + M_e$$

$$M_{x2} = 0.12 (M_o - M_e) + M_e$$

$$t_{x1} = P_1(M_{x1}-M_e)^{q_2} - P_1(M_o-M_e)^{q_1}$$

$$t_{x2} = P_2(M_{x2}-M_e)^{q_2} - P_2(M_{x1}-M_e)^{q_2} + t_{x1}$$

$$P_1 = \exp(-2.45 + 6.42 M_o^{1.25} - 3.15RH + 9.62 M_o RH + 0.030T - 0.002V)$$

$$P_2 = \exp(2.82 + 7.49 (RH+0.01)^{0.67} - 0.0179T)$$

$$P_3 = 0.12 (M_o - M_e)^{(q_2 - q_3)} (P_2 \cdot q_2 / q_3)$$

$$q_1 = -3.98 + 2.87 M_o - 0.019 / (RH + 0.015) + 0.016 T$$

$$q_2 = -\exp(0.810 - 3.11 RH)$$

$$q_3 = -1.0$$

sendo:

M , M_o e M_e = Conteúdo de umidade, umidade inicial e umidade de equilíbrio (% decimal em base seca).

t = Tempo para um conteúdo M , em minutos

RH = Umidade relativa do ar, % decimal

T = Temperatura do ar, °F

V = Velocidade do ar, pes/minuto.

A equação desenvolvida por Roa (citada em 51) é empregada para representar as curvas de umidade de equilíbrio da soja:

$$M_e = (P_1 RH + P_2 RH^2 + P_3 RH^3) \exp (q_0 + q_1 RH + q_2 RH^2 + q_3 RH^3) (T + 273)$$

onde:

M_e = Teor de umidade em equilíbrio, base seca, % decimal

RH = Umidade relativa do ar, % decimal

T = Temperatura do ar, °C

P_i e q_i = Parâmetros do produto, sendo para a soja:

$$P_1 = 0,362614 E + 01$$

$$q_0 = -0.539091 E - 02$$

$$P_2 = -0,627984 E + 01$$

$$q_1 = -0.156279 E - 01$$

$$P_3 = 0,316125 E + 01$$

$$q_2 = 0.317788 E - 01$$

$$q_3 = -0.111789 E - 01$$

Como o modelo de Thompson pode prever a reumidificação por condensação, mais não pode prever a reumidificação que ocorre quando a umidade em equilíbrio é maior que a umidade da semente, o modelo utiliza a equação desenvolvida por Roa e Macedo (citada em

51) para calcular essa reumidificação, sendo esta:

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = e^{-m(P_{vs} - P_v)^n \cdot t^q}$$

onde:

M = Teor de umidade do grão, % decimal base seca

M_o = Teor inicial de umidade, % decimal b.s.

M_e = Teor de umidade em equilíbrio, % decimal b.s.

P_{vs} = Pressão de vapor saturado, Kg/m²

P_v = Pressão de vapor, Kg/m²

t = Tempo em horas

m, n e q = Parâmetros do produto que para a soja são:

$$m = 0.01448$$

$$n = 0.47088$$

$$q = 0.51168$$

A equação de Alam e Shove (2) é utilizada para determinar o calor latente de vaporização.

$$L = (1094 - 0.57T) (1 + 0.21624 e^{-6.233M})$$

onde:

L = Calor latente de vaporização, BTU/lb.

T = Temperatura, °F

M = Teor de umidade, % decimal

E o calor específico da soja é também determinado pela equação de Alam e Shove

$$C_p = 0.39123 + 0.4605 M$$

onde:

C_p = Calor específico, BTU/lb. °F

M = Teor de umidade, base seca decimal

3.8 Modelo Matemático de Deterioração de Sementes de Soja Durante a Secagem

Não se encontrou na literatura trabalhos que permitissem quantificar a deterioração da germinação e vigor de sementes de soja. Em consequência, a presente pesquisa visa a obtenção de dados experimentais e a análise matemática correspondente, para elaborar um modelo matemático, que permita quantificar a deterioração da qualidade fisiológica de sementes de soja, em relação às variáveis da secagem em silos.

IV MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Matéria Prima

- Semente Básica de Soja, variedade Santa Rosa, cultivada na Fazenda Santa Elisa do Instituto Agronômico de Campinas.

Semente básica é a progênie da semente genética, que mantém intrínseca sua identidade genética e pureza. A semente básica constitui o segundo elo na corrente de multiplicação, sendo a base da produção das sementes comerciais. (14)

4.1.2 Outros Materiais

- Fungicida contendo 70% de Thiram, em pó, para aplicação por via seca.
- Sais minerais: Cloreto de cálcio (CaCl_2) Brometo de sódio (NaBr), Sódio Cloreto (ClNa), Brometo de potássio (KBr), Cloreto de magnésio (MgCl_2), Nitrito de sódio (NaNO_2) e Cromato de potássio (K_2CrO_4).

4.1.3 Equipamentos

- Colhedeira mecânica combinada PENHA CLC 500
- Limpadora ELEXO SP-V 55 (Ventilação e peneiramento)
- Silo secador metálico de duplo fundo perfurado; capacidade interna útil de $0,785 \text{ m}^3$

- Coletor solar de fibra de vidro, com 0,80 m² de superfície coletora de radiação solar
- Ventilador centrífugo JAWAR, motor de I.H.P.
- Medidor laminar do fluxo de ar MERIAM 50 MC2-4
- Medidor de umidade digital (elétrico) BURROWS
- Câmaras reguladoras de temperatura OLIDEF C2
- Frascos plásticos herméticos
- Câmara para envelhecimento de sementes FABBE
- Germinadores FANEM
- Peneiras GRANUTEST
- Computador PDP 10

4.2 Métodos

4.2.1 Acondicionamento da Matéria Prima

O conteúdo médio de umidade das sementes no campo, antes da colheita, foi determinado periodicamente, com o medidor de umidade digital, a partir do momento em que estas haviam alcançado a maturidade fisiológica (45% b.u.). As sementes demoraram 16 dias para reduzir a sua umidade desde 45% até 23,7% b.u. Observaram-se períodos de maior decréscimo de umidade e também reumidecimento das sementes nas vagens conforme as variações das condições ambientais. A meados de abril, quando as sementes atingiram a umidade de 23,7% b.u., procedeu-se à colheita mecânica, utilizando a colhedeira combinada. Neste momento havia começado a queda das folhas das plantas.

Colheram-se 800K. de sementes. A semente colhida foi limpa mecanicamente e logo tratada com o fungicida, utilizando-se uma

dosagem de 250 gramas para cada 100 kilogramas de semente. Esta operação foi realizada aplicando o fungicida na semente depositada sobre um encerado, e misturando ambos mediante o uso de pás de madeira.

Em seguida a semente foi ensacada em 20 sacos, colocando-se em cada saco 40 kilogramas. Sendo a seguir transportada à Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da UNICAMP, onde se procedeu ao desenvolvimento da fase experimental.

Esta fase experimental compreende duas partes fundamentais: a) testes experimentais para obter-se os dados básicos do efeito da temperatura, umidade do grão e tempo, sobre a deterioração das sementes, necessários para o desenvolvimento do modelo matemático de deterioração, e b) testes de secagem de sementes em silo com aquecimento solar, para comprovar o modelo.

4.2.2 Desenvolvimento do Modelo Matemático

4.2.2.1 Metodologia Experimental

Separaram-se 16 kilogramas da semente de soja ensacada, havendo-se tomado 800 gramas de cada um dos 20 sacos. As sementes menores, com diâmetros iguais ou inferiores que 4 mm, foram descartadas mediante peneiração.

Os 16 kilogramas de semente foram divididos em quatro porções de 4 kg. cada, e colocadas numa série de peneiras em coluna vertical, para serem secas com ar a 37°C e 43% de umidade relativa. Após 72 horas obtiveram-se os quatro seguintes níveis de umidade: 7,3%,

10,5%, 13,7% e 18,0% b.u.

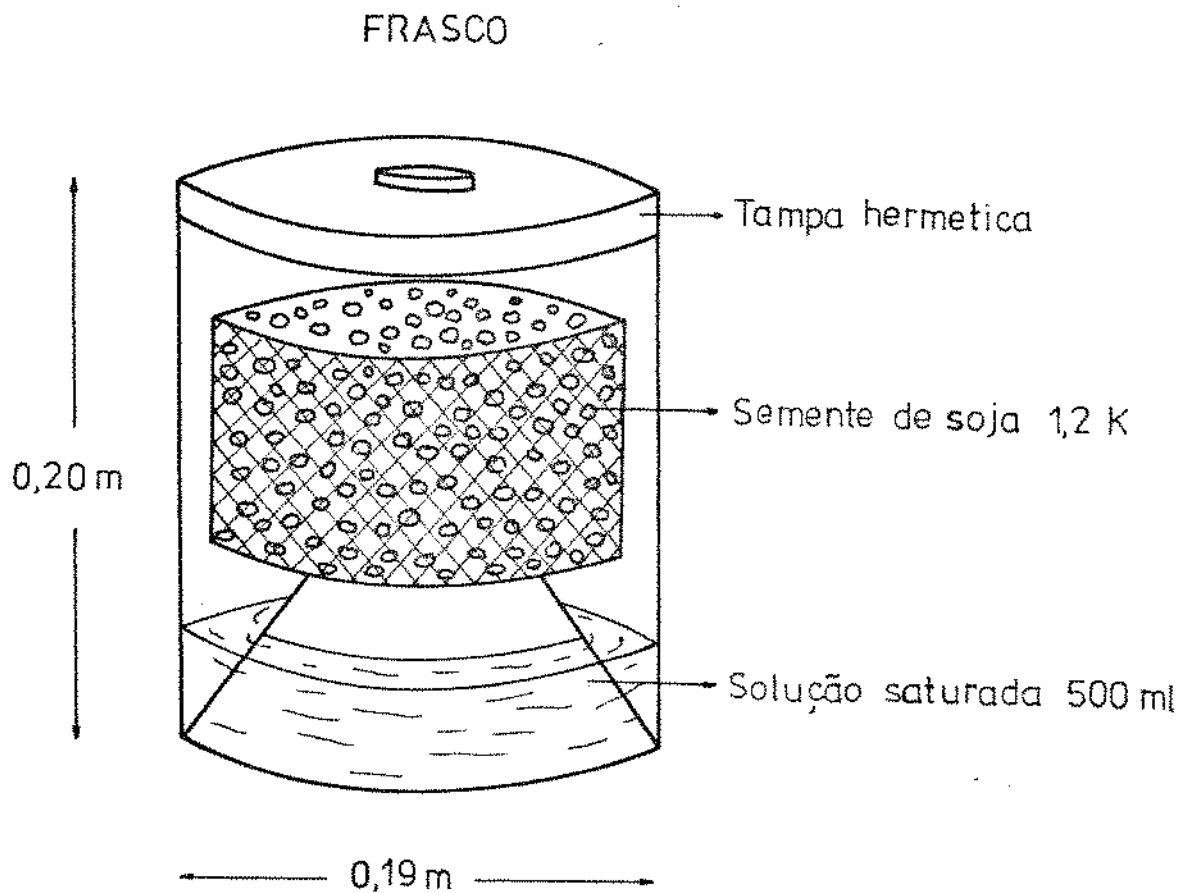
Utilizaram-se três câmaras de temperatura controlada a 20, 30 e 38°C respectivamente. Em cada câmara, colocaram-se quatro frascos herméticos, contendo cada frasco, uma das condições de umidade obtidas pela secagem. Em consequência, em cada câmara mantinham-se quatro condições de umidade.

Os frascos (figura 8) continham, além das sementes de soja, 500 ml de solução saturada de um sal específico que manteve uma umidade relativa constante no seu interior. As sementes, então, em cada temperatura, mantiveram a umidade de equilíbrio com a umidade relativa controlada pelas soluções salinas. Os sais empregados, a umidade relativa e a umidade de equilíbrio esperada em cada frasco, estão indicados no quadro IV.

Para evitar o excessivo acúmulo de CO₂ dentro dos frascos herméticos, produzido pela respiração das sementes, estes recipientes foram abertos durante dois minutos três vezes por dia, com o propósito de retirar o CO₂ produzido e renovar o oxigênio do interior, permitindo assim a normal respiração das sementes, como acontece durante a secagem. Qualquer perda ou ganho de umidade do ar do frasco, ao se realizar a operação de renovação de oxigênio era corrigida pela solução salina saturada, de forma que, a umidade de equilíbrio da semente não foi grandemente afetada por esta operação. No quadro V pode-se observar que o CO₂ acumulado dentro dos frascos, a cada 8 horas, para sementes de 18,5% de umidade b.u. nas temperaturas de 20°C, 30°C e 40°C, é sempre menor que 12%, valor a partir do qual, o teor de CO₂ começa a afetar a atividade respiratória da soja. (11)

Figura 8

Disposição das Sementes e da Solução no Interior dos Frascos



Volume do frasco = 5.670 cc

Volume ocupado pela soja e pela solução salina = 1.571 cc

Densidade aparente da soja ψ_{ap} = 0,77 gr/cc

Densidade real da soja ψ_r = 1,12 gr/cc

Volume do ar, no interior do frasco = 4.099 cc

Quadro IV
Umidade Relativa⁽¹⁾ nos Frascos e Umidade
de Equilíbrio das Sementes de Soja⁽²⁾

Temperatura da Câmara	Sal Empregada	Umidade Relativa %	Umidade de Equilíbrio Esperada das Sementes % Base Úmida
20°C	CaCl_2 Cloreto de Cálcio	32,3	6,3
	NaBr Brometo de Sódio	59,2	9,75
	ClNa Sódio Cloreto	75,5	14,0
	K Br Brometo de Potássio	84,0	18,0
30°C	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Cloreto de Magnésio	32,4	6,1
	NaNO_2 Nitrito de Sódio	63,3	10,0
	ClNa Sódio Cloreto	75,6	14,0
	K_2CrO_4 Crometo de Potássio	86,3	18,7
38°C	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2$ Cloreto de Magnésio	32,1	5,8
	NaNO_2 Nitrito de Sódio	61,5	9,5
	ClNa Sódio Cloreto	75,4	13,2
	K_2CrO_4 Cromato de Potássio	85,5	18,0

(1) Segundo dados de Carl W. Hall 1967 Drying Farm Crops

(2) Umidade de equilíbrio de soja (var. Wayne), segundo gráficos de Alam Anwar & Shove C. Gene 1972. Higroscopicity and Biochemical Deterioration of Seeds.

QUADRO V

CO₂ Acumulado nos Frascos Cada Oito Horas

Temperatura	1% de CO ₂ acumulado
20°C	1,35%
30°C	1,60%
40°C	6,23%

(1) Velocidade de respiração de soja segundo Mulner. Quadro em anexo II.

Volume do ar no interior do frasco = 4099 cc

Respiração de 1,2 kilogramas de semente a 18,5% de umidade b.u.

As condições iniciais de germinação e vigor das sementes nos frascos, foram determinadas tomando-se amostras de cada um dos quatro níveis de umidade obtidos pela secagem, e antes de serem colocadas nas câmaras a temperatura controlada. Durante o período de permanência das sementes nas câmaras, que durou 60 dias, a cada 10 dias apanharam-se amostras de sementes de cada frasco, para determinar as suas condições de germinação e vigor mediante testes de porcentagem de germinação e envelhecimento precoce. As sementes destas amostras foram selecionadas descartando-se as que apresentavam danos mecânicos. Os testes foram feitos logo após as amostras terem sido apanhadas.

Os testes de germinação se realizaram de acordo com as Normas para Análise de Sementes (37), colocando-se quatro repetições

de 100 sementes, para cada amostra, em panos esterilizados, umedecidos. Os germinadores mantinham uma umidade relativa de 96%, com temperaturas de 30°C durante o dia e 20°C durante a noite. As primeiras contagens realizaram-se no 5º dia, anotando-se como boas, as sementes que apresentavam um desenvolvimento normal e um comprimento do hipocótilo de pelo menos 4 cm; a segunda contagem se fazia no oitavo dia. O teste do envelhecimento precoce foi feito submetendo-se as amostras por 48 horas na câmara de envelhecimento, que mantinha 42°C e 100% de U.R., e logo realizando-se um teste de germinação normal.

4.2.2.2 Metodologia Analítica

Os valores percentuais dos testes de germinação e vigor, foram convertidos a índices de germinação (G_i) e vigor (V_i), dividindo-se respectivamente cada valor de germinação por sua germinação inicial ($G_i = \%G/\%G_0$) e cada valor de vigor por seu vigor inicial ($V_i = \%V/\%V_i$).

Procurou-se, então, uma equação para germinação e outra para o vigor, que representara a tendência de pontos para uma condição considerada como padrão. A condição padrão adotada foi a de 30°C e 13,4% de conteúdo de umidade das sementes (b.u.), por ser esta, uma condição média nas faixas de temperatura e umidade estudadas. Estas equações expressam a tendência da deterioração da germinação e do vigor em função do tempo (T) de permanência das sementes nessa condição padrão, e são:

$$(1) \quad G_i = 1 - [A(e^{BT} - 1) + CT^D] \quad , \quad \text{para germinação}$$

$$(2) \quad V_i = 1 - [A'(e^{B'T} - 1) + C'T^{D'}] \quad , \quad \text{para vigor}$$

Os parâmetros A, B, C e D no caso da germinação e A', B', C' e D' no caso do vigor, foram achados por regressão não linear, usando a rotina do computador (kinet), desenvolvida originalmente por Dye e Nicely (18). A rotina utiliza a minimização da soma tória de quadrados dos resíduos, como critério de otimização, na de terminação dos parâmetros.

Para que as equações de germinação e vigor achadas, pu dessem indicar as tendências de deterioração das outras condições es tudadas, colocou-se a variável tempo (T) em função de dois multipli cadores; um de umidade (M_u) e outro de temperatura (M_t), obtendo-se assim, "tempos equivalentes" (T_{eq} e T'_{eq}) para germinação e vigor res pectivamente, calculados a partir das seguintes relações:

$$(3) \quad T_{eq} = \frac{T}{M_u M_t} \quad ; \quad \text{para germinação}$$

$$(4) \quad T'_{eq} = \frac{T}{M'_u M'_t} \quad , \quad \text{para vigor}$$

Os multiplicadores de umidade (M_u e M'_u) para germinação e vigor, foram achados na temperatura de 30°C, relacionando com a con dição padrão, as tendências de queda dos pontos das outras condições de umidade. Determinando-se para essas condições de umidade, o "tem po equivalente" que, dentro da equação padrão, tivessem empregado pa

ra manifestar essa mesma deterioração, conforme a seguinte expressão:
 $M_u = T/T_{eq}$. Adotando-se como multiplicador de umidade, para cada condição de umidade, a média das relações de seus pontos com os tempos equivalentes correspondentes na curva padrão. Estes valores de M_u foram equacionados na seguinte forma:

Germinação:

$$(5) \quad M_u = a + bU \quad ; \quad \text{para umidades} \quad U < 10,9\% \text{ b.u.}$$

$$(6) \quad M_u = cU^d \quad ; \quad \text{para umidades} \quad U \geq 10,9\% \text{ b.u.}$$

e Vigor:

$$(7) \quad M'_u = a' + b'U \quad ; \quad \text{para umidades} \quad U < 10,9\% \text{ b.u.}$$

$$(8) \quad M'_u = c'U^{d'} \quad ; \quad \text{para umidades} \quad U \geq 10,9\% \text{ b.u.}$$

Equações estas que expressam o valor do multiplicador de umidade em função da umidade (U) das sementes. Os parâmetros a, b e a', b' foram achados algebricamente e os parâmetros c, d e c', d', por regressão linear.

Em forma similar os multiplicadores de temperatura (M_t e M'_t) para germinação e vigor, foram encontrados determinando o tempo equivalente que as condições de umidade iguais à padrão, nas temperaturas de 20 e 38°C, tivessem empregado para manifestar a mesma deterioração na curva padrão. Tendo-se adotado como multiplicador de

temperatura, a média das relações dos pontos dessas condições, com a curva padrão.

Estabelecidos os valores de M_t e M'_t , foram equacionados da seguinte forma:

Germinação:

$$(9) \quad M_t = m - nt \quad ; \quad \text{para temperaturas } 20^\circ \leq t \leq 30^\circ \text{C}$$

$$(10) \quad M_t = 1+p(t-30) \quad ; \quad \text{para temperaturas } 30^\circ \text{C} < t \leq 38^\circ \text{C}$$

Vigor:

$$(11) \quad M'_t = 1+p(t-30) \quad ; \quad \text{para temperaturas } 20^\circ \text{C} \leq t \leq 38^\circ \text{C}$$

Os parâmetros m e n foram achados algebricamente, e os parâmetros p e p' , que são funções da umidade das sementes, foram equacionados da seguinte forma:

$$(12) \quad p = q + k \ln U + h U^i \quad ; \quad \text{para germinação}$$

$$(13) \quad p' = q' + k' \ln U + h' U^{i'} \quad ; \quad \text{para vigor}$$

Onde os parâmetros q , k , h e i para germinação e os parâmetros q' , k' , h' e i' para vigor, foram encontrados por regressão não linear e diferença de mínimos quadrados, calculados pelo computador.

Este modelo matemático assim elaborado, calcula a que-

da da germinação e vigor das sementes em função do tempo, para qualquer condição de temperatura e conteúdo de umidade, nas faixas estudadas.

4.2.3 Comprovação do Modelo Matemático

4.2.3.1 Metodologia Experimental

Para comprovar o modelo matemático desenvolvido, foram colocados setecentos e oitenta kilogramas da semente de soja tratada no silo solar (figura 9).

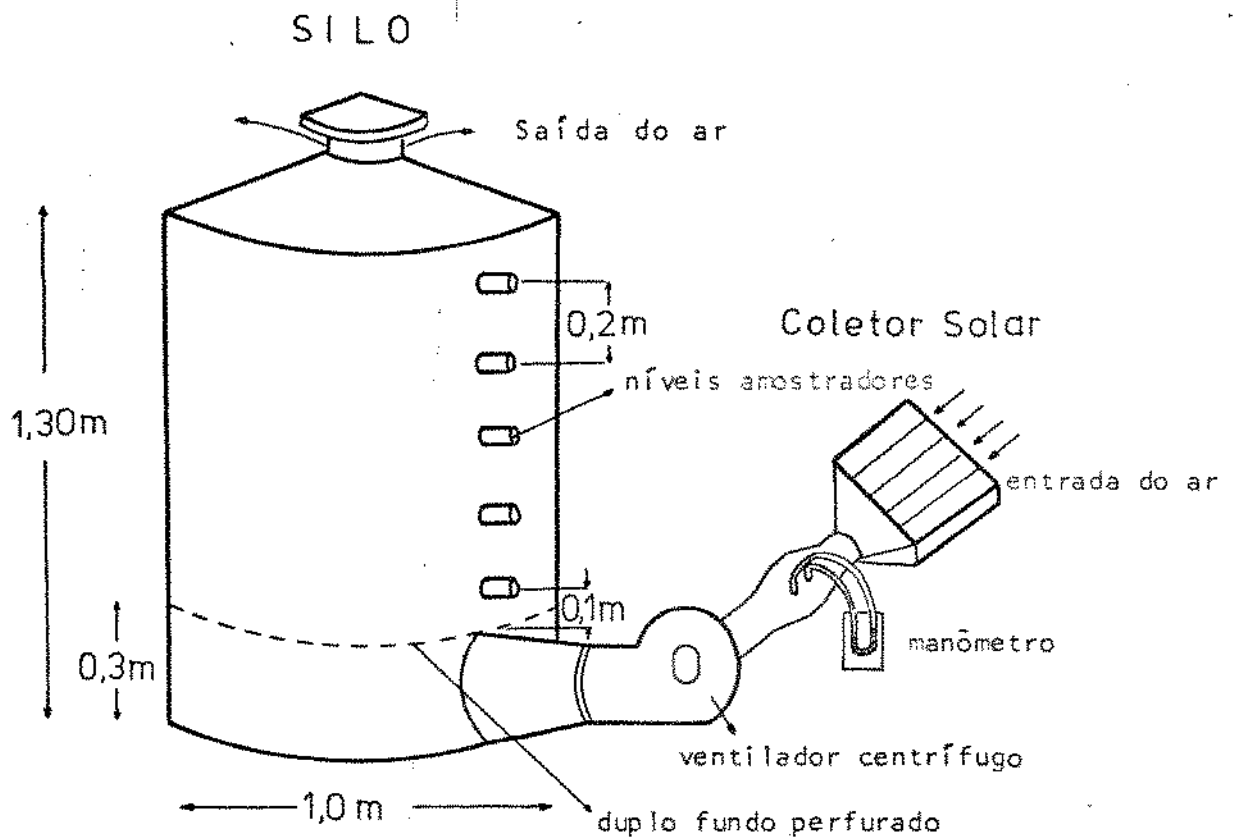
A secagem foi realizada pela circulação de um fluxo de ar aquecido introduzido pela base através do duplo fundo perfurado do silo. Este ar atravessando a massa de sementes de baixo para cima saía ao exterior pela parte superior do silo.

Para o aquecimento do ar utilizou-se de um coletor solar de fibra de vidro, com $0,80 \text{ m}^2$ de superfície coletora de radiação solar, que elevou a temperatura do ar ambiente em 7 a 8 graus centígrados, para uma razão constante de ar de $6,08 \text{ m}^3/\text{min.t.}$ Para a circulação forçada do ar, empregou-se o ventilador centrífugo elétrico. A vazão do fluxo do ar secador determinou-se com o medidor laminar, ligado em série entre o coletor solar e o ventilador centrífugo (Figura 9).

A experiência durou 12 dias, tendo-se secado a semente durante oito horas por dia, das nove da manhã até as 5 horas da tar-

Figura 9

Silo Secador Solar



Capacidade interna útil do silo = $0,785 \text{ m}^3$

de. Durante o período da secagem, foram feitas duas interrupções, com o propósito de prolongar a experiência, a primeira no 4º e 5º dias e a segunda no 11º e 12º dias. Durante a secagem, cada 30 minutos, foram medidas as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar aquecido pelo coletor, para calcular a umidade relativa.

Para determinar o efeito da secagem nas sementes, tomaram-se amostras dos seguintes três níveis de altura do silo: camada inferior 10 cm, camada média 50 cm. e camada superior 90 cm. Verificando-se a umidade destas amostras e realizando os testes de porcentagem de germinação e de envelhecimento precoce. A primeira amostragem efetuou-se pouco antes de começar a secagem obtendo-se assim as condições iniciais de cada uma das camadas indicadas; a segunda amostragem foi feita no 5º dia e a terceira e última amostragem no 12º dia.

Os testes de germinação e vigor das sementes destas amostras, foram feitos logo após delas terem sido apanhadas. A seleção das sementes e os procedimentos empregados para estes testes, foram os mesmos já indicados para a elaboração do modelo matemático de deterioração.

4.2.3.2 Metodologia Analítica

Os dados de temperatura, umidade relativa e vazão do ar, a cada meia hora, junto com as condições iniciais de umidade e temperatura do grão, foram utilizados para simular a deterioração da germinação e vigor durante o processo da secagem no silo solar. O modelo de simulação usado, consiste em preparar uma rotina para o computador

com as equações citadas no modelo matemático para a secagem de soja em silos (pgs. 26 a 29) e as equações para prever a deterioração (1 a 13) desenvolvidas durante o presente trabalho.

O modelo de previsão da deterioração foi também utilizado para estabelecer o tempo máximo de secagem, a diferentes condições de temperatura e umidade do grão. Estes tempos máximos de secagem permitidos, juntamente com a previsão dos tempos de secagem para diferentes vazões de um ar a 25°C e 69% de U.R. constantes, utilizaram-se para estabelecer a vazão mínima de ar para a secagem em silos de sementes de soja com 20% de umidade b.u. inicial.

V RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Modelo Matemático de Deterioração

Os resultados porcentuais dos testes de germinação e vigor das sementes de soja, para todas as condições experimentais, de temperatura e umidade estudadas, estão sumarizados no quadro VI.

Neste quadro VI também pode-se observar que o conteúdo de umidade das sementes dentro dos frascos, que foi controlado pelas soluções saturadas, variou pouco. Esta variação de umidade foi igual ou menor de 1,0% b.u. para todos os casos, menos para a condição de 30°C e 19,4% de umidade b.u., que variou 2,2% e, para a condição de 38°C e 19,2% de umidade b.u. que variou 1,2%. Para os cálculos, tomou-se como condição de umidade, a média das umidades adotadas pelas sementes no período dos 60 dias da experiência.

O quadro VII mostra estes resultados como índices de germinação: $G_i = \% \text{ de germinação} / \% \text{ germinação inicial}$, e vigor: $V_i = \% \text{ de vigor} / \% \text{ vigor inicial}$, para cada temperatura e para cada umidade média das sementes. Estes índices estão graficados, expressando-se nas figuras 10, 11 e 12 o efeito dos diferentes conteúdos de umidade para cada temperatura, e nas figuras 13, 14, 15 e 16 o efeito das diferentes temperaturas para cada umidade.

A deterioração indicada pelos índices de germinação nas figuras 10 e 11 especialmente para a temperatura de 20°C (Figura 10), são próximos, para tempos iguais, aos valores apresentados por Christensen e Kaufmann (Figura 5); tendo a soja, variedade Santa Rosa, sen

QUADRO VII
 Índices de Germinação (G_i) e Vigor (V_i)⁽¹⁾ das Sementes Submetidas às Diferentes Temperaturas e Contasdos de Unidade

Tempe- ratura °C	Uni- dade pro- meio %b.u.	Condições Iniciais		10 Dias (240hrs.)		20 Dias (480hrs.)		30 Dias (720hrs.)		40 Dias (960hrs.)		50 Dias (1.200hrs.)		60 Dias (1440hrs.)	
		G _i	V _i	G _i	V _i	G _i	V _i	G _i	V _i	G _i	V _i	G _i	V _i	G _i	V _i
20	7.8	1.00	1.00	0.98	0.93	0.98	0.88	0.97	0.82	0.94	0.77	0.94	0.76	0.94	0.73
	10.3	1.00	1.00	1.00	0.96	0.99	0.93	0.99	0.88	0.97	0.87	0.96	0.85	0.96	0.82
	13.7	1.00	1.00	0.96	0.96	0.97	0.91	0.97	0.80	0.95	0.77	0.90	0.75	0.90	0.69
	17.9	1.00	1.00	0.96	0.94	0.96	0.89	0.91	0.80	0.86	0.75	0.84	0.69	0.83	0.55
30	7.2	1.00	1.00	0.96	0.94	0.94	0.88	0.95	0.84	0.90	0.78	0.87	0.75	0.86	0.71
	10.8	1.00	1.00	0.98	0.95	0.97	0.90	0.98	0.85	0.90	0.81	0.87	0.74	0.85	0.65
	13.4	1.00	1.00	0.95	0.95	0.92	0.84	0.89	0.68	0.86	0.52	0.82	0.35	0.75	0.16
	19.5	1.00	1.00	0.93	0.81	0.83	0.40	0.71	0.06	0.50	0	0.18	0	0	0
38	6.9	1.00	1.00	0.95	0.88	0.94	0.81	0.91	0.77	0.91	0.76	0.85	0.71	0.82	0.69
	10.4	1.00	1.00	0.96	0.82	0.88	0.45	0.81	0.26	0.74	0.04	0.50	0	0.33	0
	13.4	1.00	1.00	0.82	0.28	0.42	0	0.11	0	0	0	0	0	0	0
	19.2	1.00	1.00	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(1) G_i = % de Germinação/% Germinação Inicial; V_i = % de Vigor/% Vigor Inicial

Figura 10

Índices de Germinação e de Vigor das Sementes para os Diferentes Conteúdos de Umidade na Temperatura de 20°C

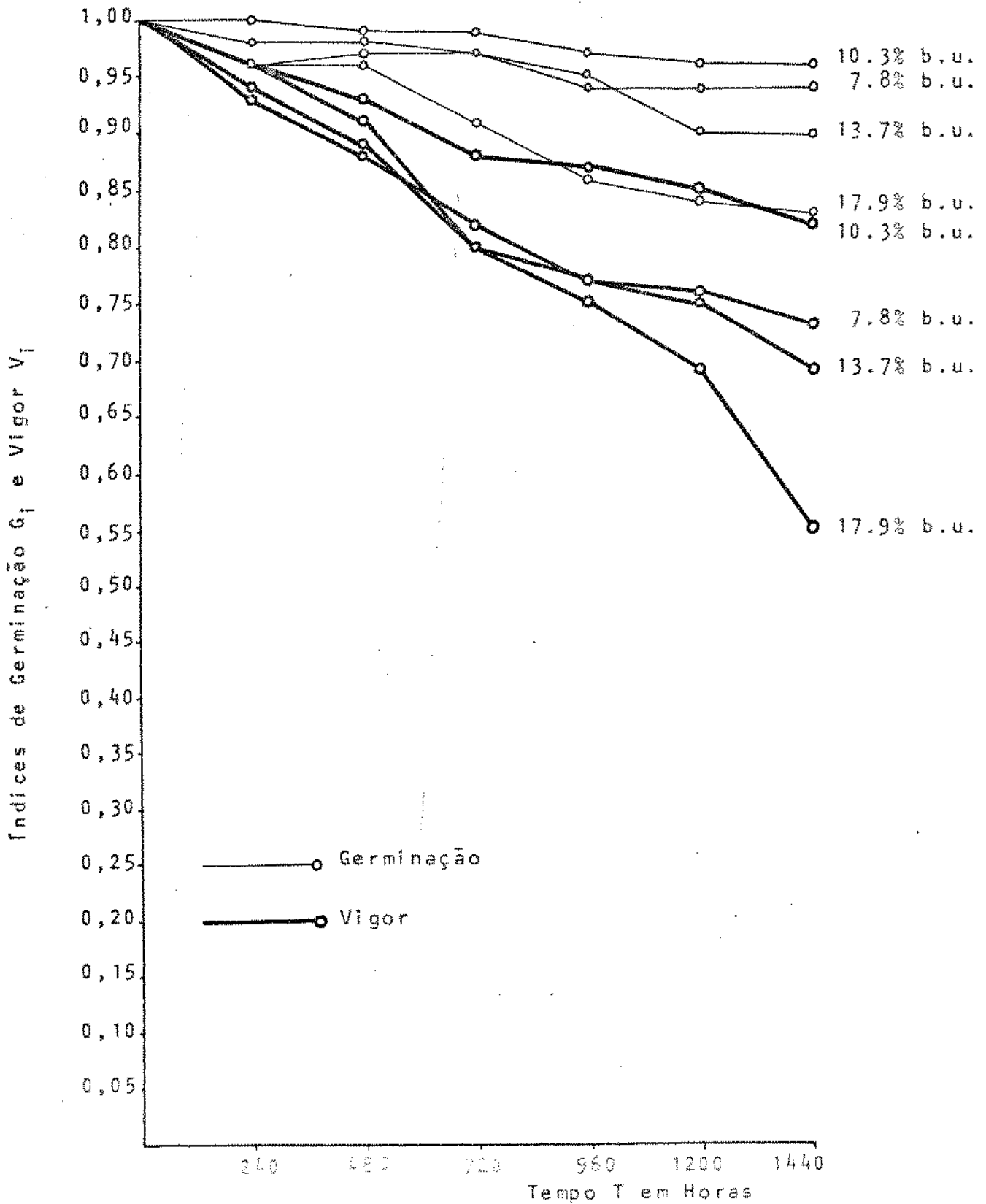


Figura 11

Índices de Germinação e de Vigor das Sementes para os Diferentes Conteúdos de Umidade na Temperatura de 30°C

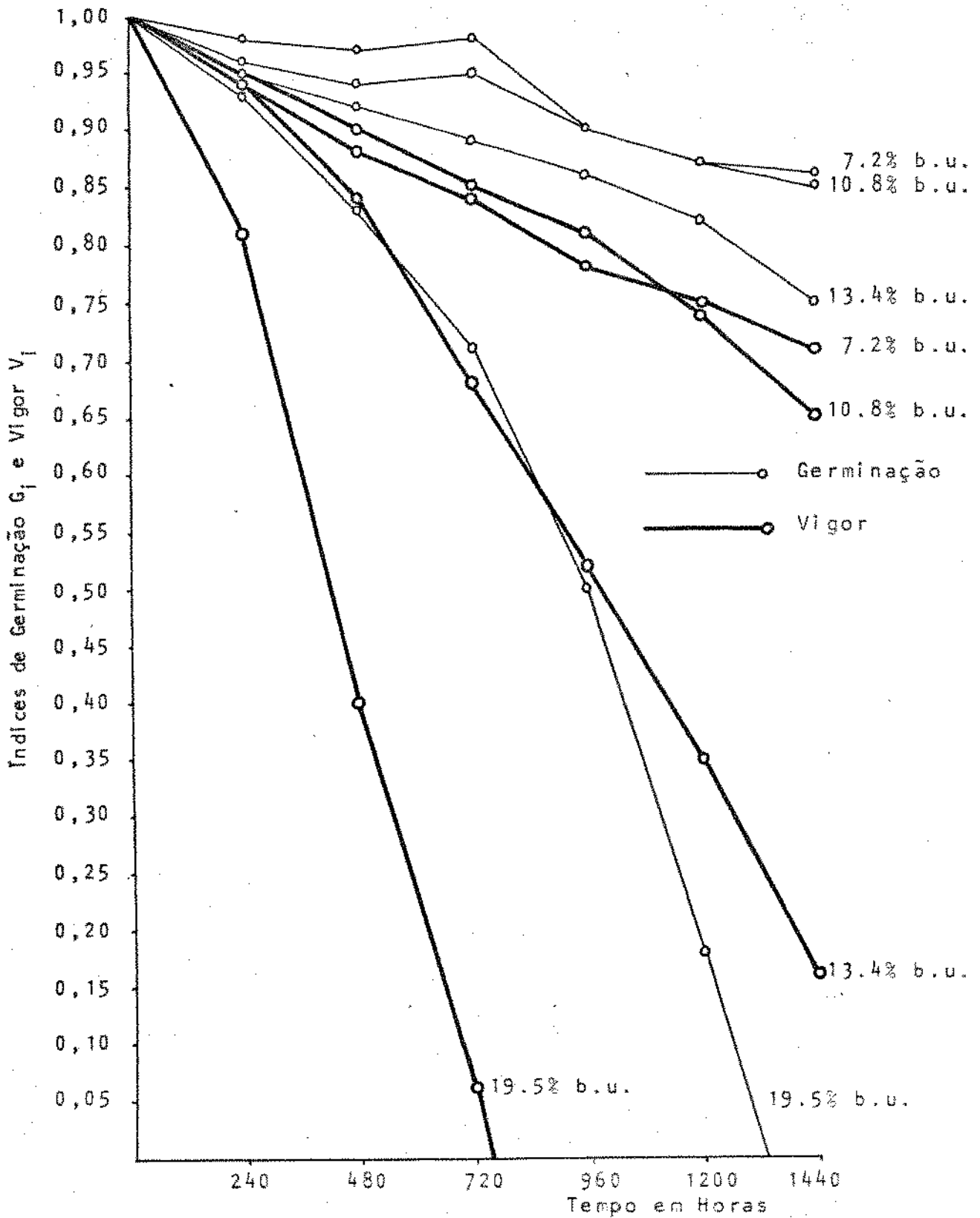


Figura 12

Índices de Germinação e de Vigor das Sementes para os Diferentes Conteúdos de Umidade na Temperatura de 38°C

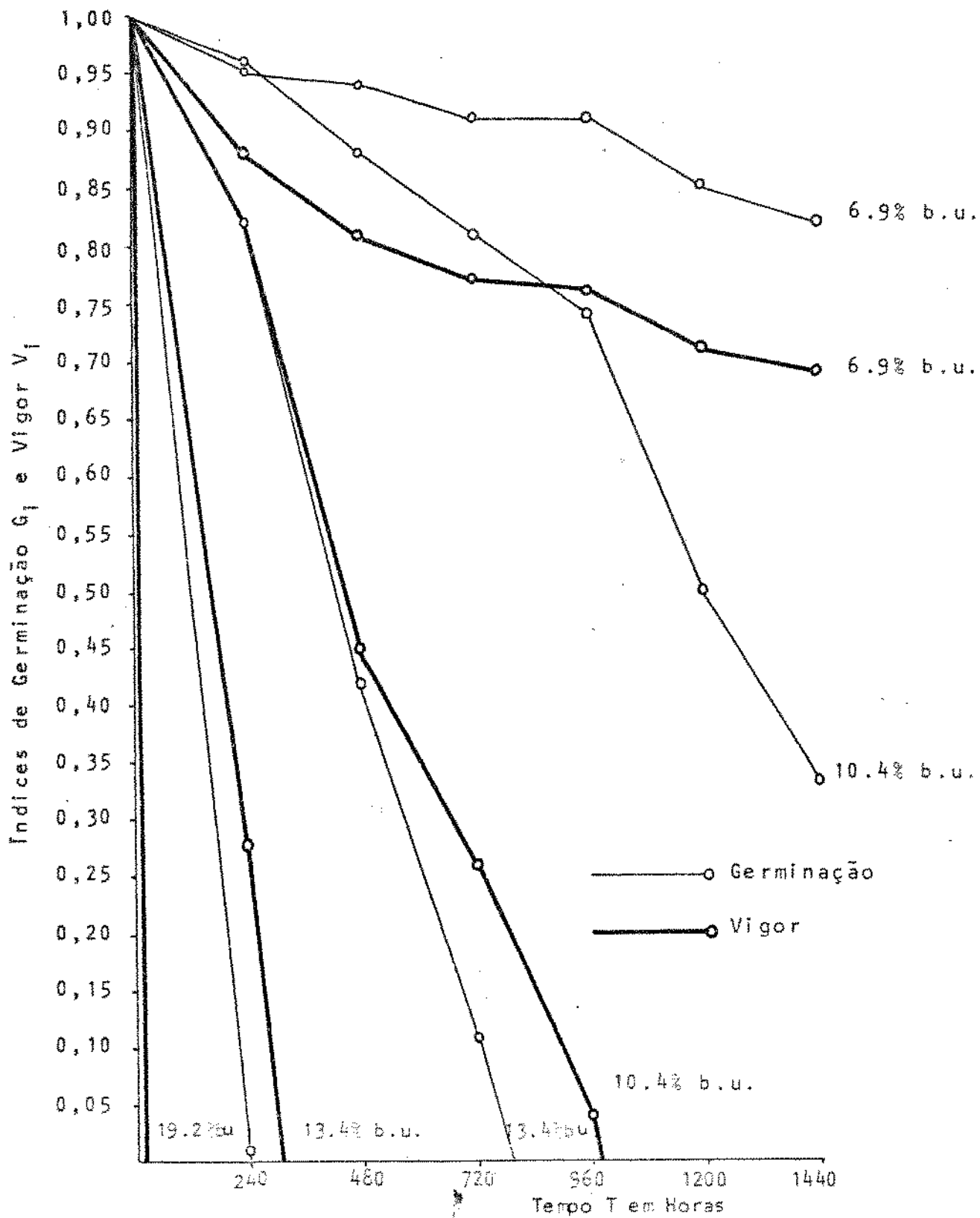


Figura 13

Índices de Germinação e Vigor das Sementes para as Diferentes Temperaturas na Umidade de 7,3% b.u.

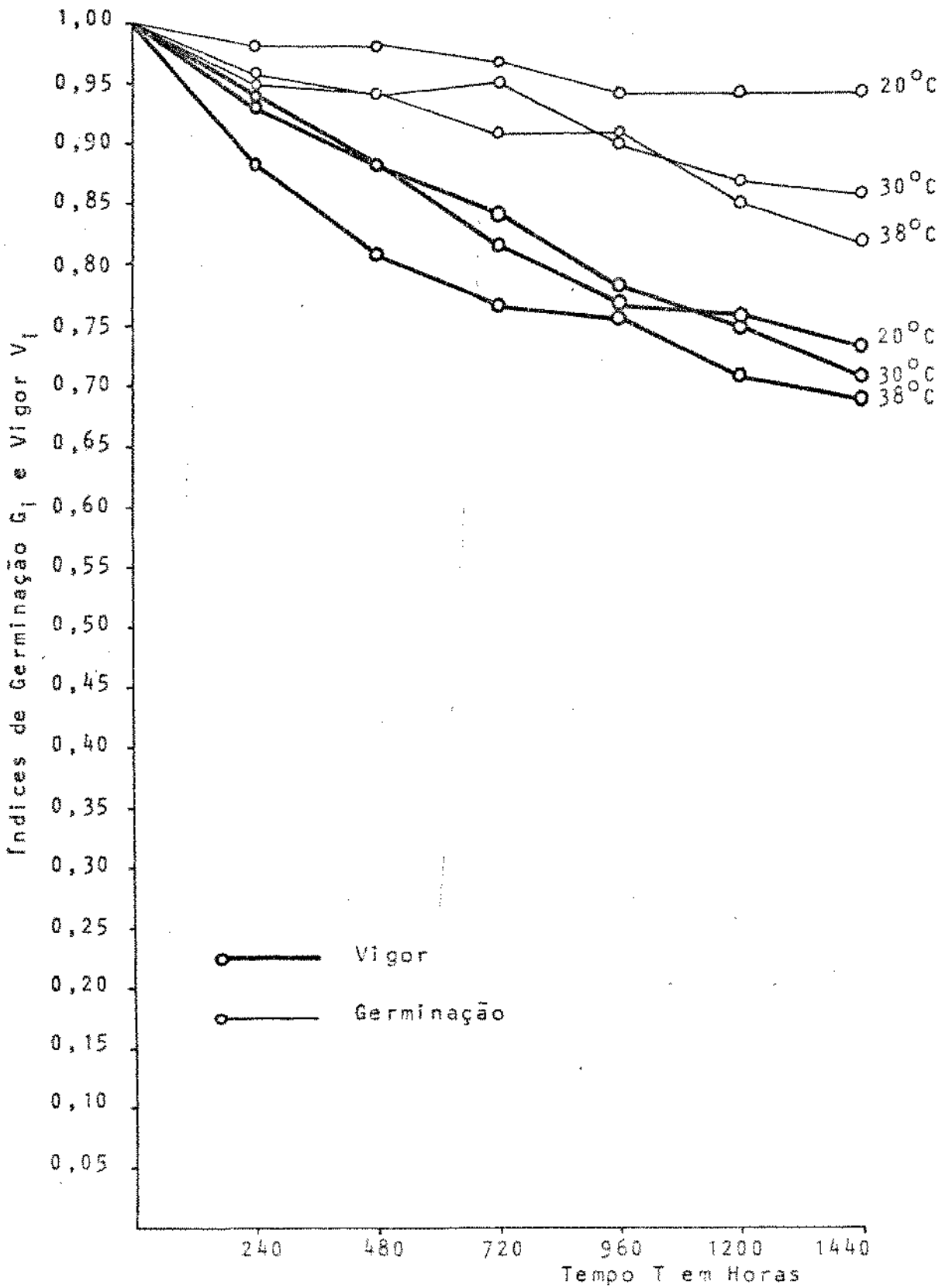


Figura 14

Índices de Germinação e Vigor das Sementes para as Diferentes Temperaturas na Umidade de 10,5% b.u.

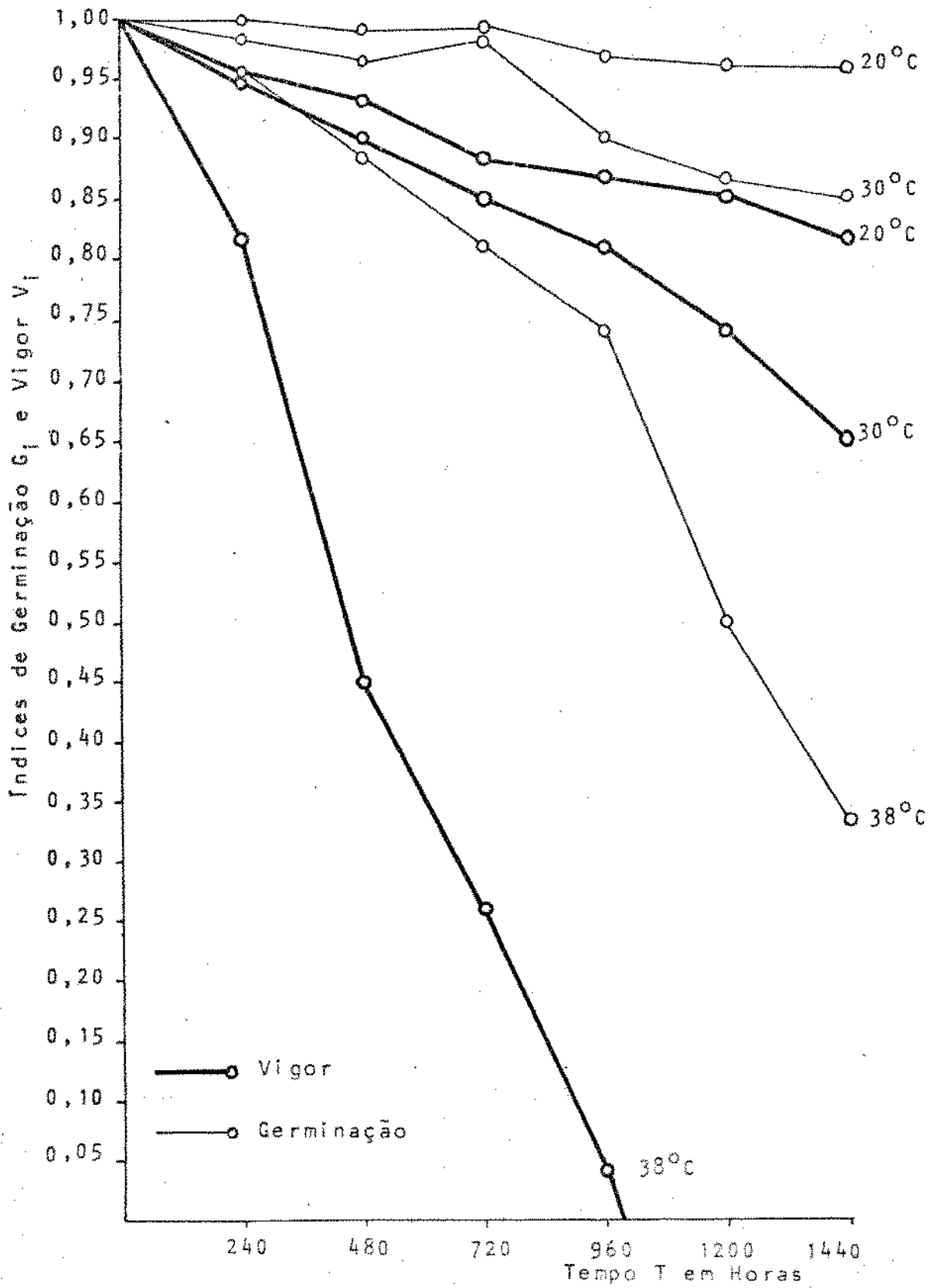


Figura 15.

Índices de Germinação e Vigor das Sementes para as Diferentes Temperaturas na Umidade de 13,5% b.u.

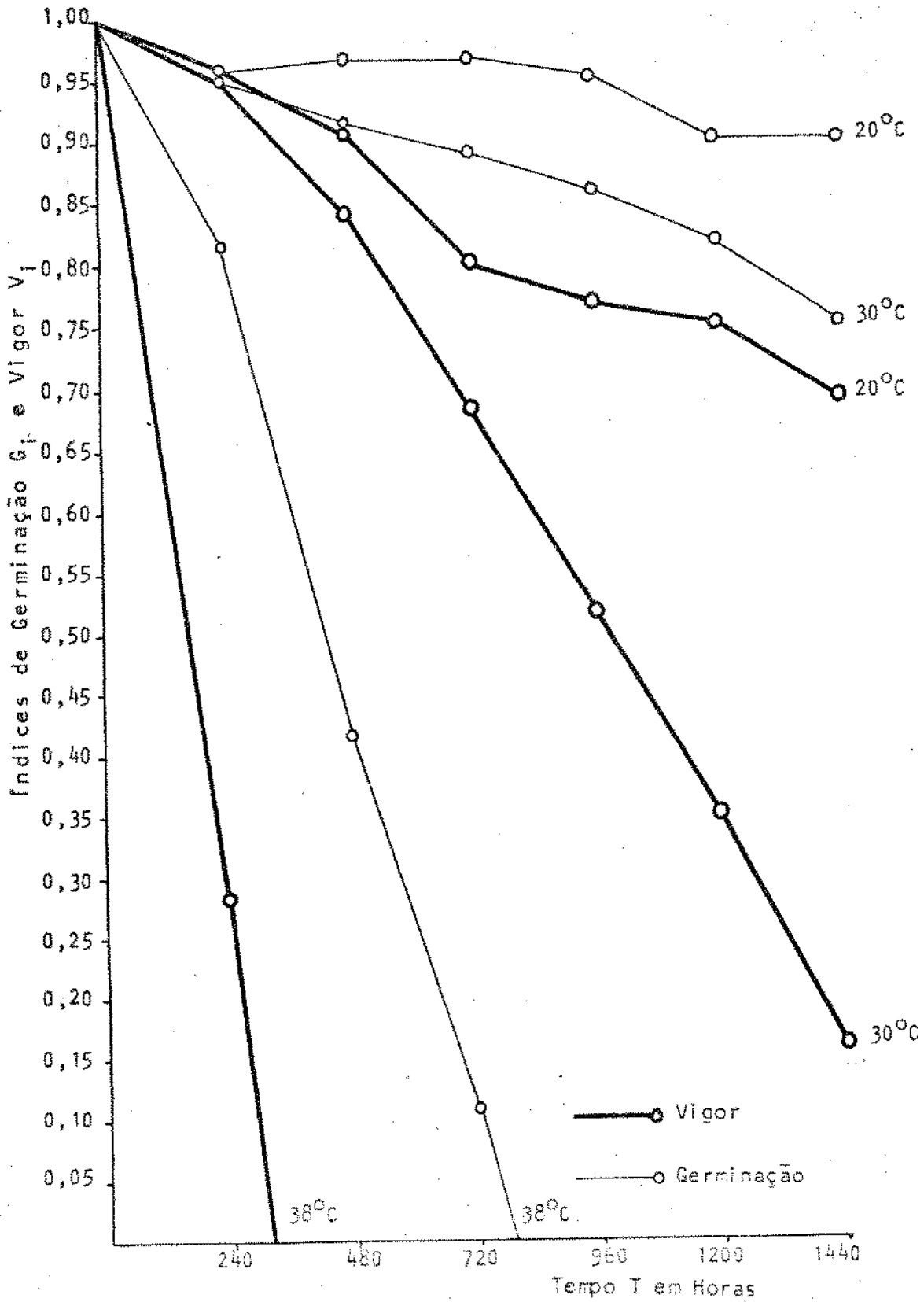
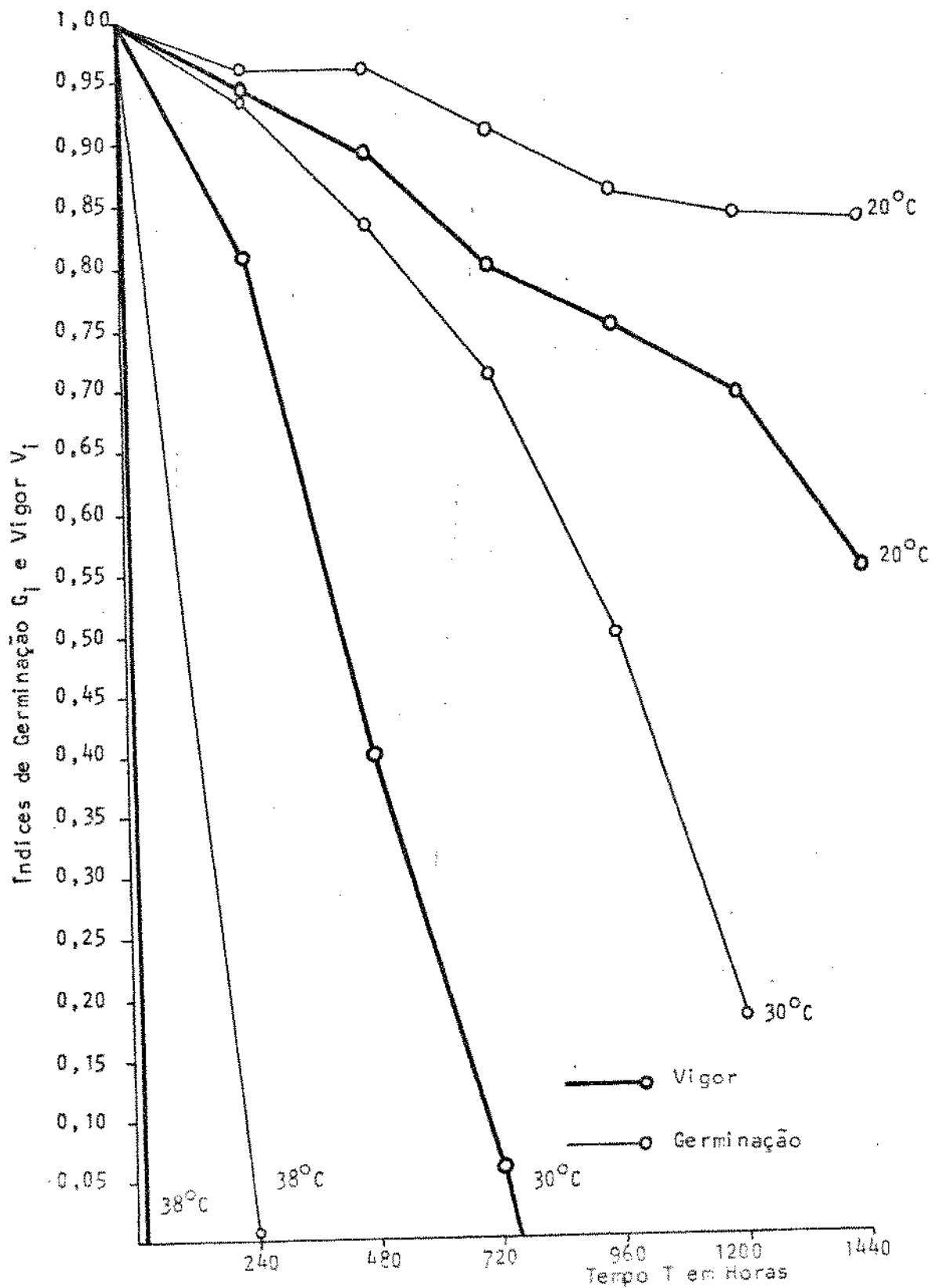


Figura 16

Índices de Germinação e Vigor das Sementes para as Diferentes Temperaturas na Umidade de 18,8% b.u.



sibilidade um tanto maior à deterioração nas temperaturas maiores de 20°C.

Concordando com o indicado por diversos pesquisadores, a representação gráfica dos índices de germinação e vigor, permite apreciar que o vigor indica maior deterioração do que a germinação, especialmente para as temperaturas de 30 e 38°C e para as umidades médias de 10,3% e 13,7% b.u. Para temperaturas e umidades superiores, há tendência da germinação, de mostrar deteriorações tão drásticas como as indicadas pelo vigor.

A deterioração das sementes, indicada pela germinação e pelo vigor, mostrou-se mais intensa, quanto maior foi o conteúdo de umidade e maior a temperatura a que estiveram submetidas. Porém pode-se observar que esta relação inverteu-se para as sementes com 7,8% e 10,3% de conteúdo de umidade na temperatura de 20°C, e para as sementes com 7,2% e 10,8% b.u. na temperatura de 30°C (figura 10 e 11); nas que, para as umidades de 7,8 e 7,2% houve maior deterioração do que para as de 10,3 e 10,8% respectivamente.

Isto pode ser explicado pelo fato de que as sementes com 7,2% e 7,8%, apresentaram danificação por secagem excessiva. Na temperatura de 38°C (fig. 12) a inversão para as umidades de 6,9 e 10,4% b.u., só ocorreu nas primeiras 240 horas e é indicada tão só pela germinação, após esse período de tempo, as sementes com umidade de 10,4% apresentaram uma deterioração consideravelmente maior do que as com 6,9%. Este comportamento pode dever-se a que para temperaturas maiores, a deterioração é muito mais sensível ao efeito da umidade do que a da sobresecagem.

A inversão das curvas de deterioração das umidades de 7,8% e 10,3% b.u. na temperatura de 20°C, indica que na soja variedade Santa Rosa, à umidade de 7,8% b.u., o efeito da excessiva secagem, está já notoriamente manifestado, sendo então mais sensível que a variedade Lee, na qual, este efeito se manifesta na umidade de 6,7% b.u. (pg. 21).

Os parâmetros encontrados para as equações 1 e 2, que expressam a deterioração em forma de índices de germinação e vigor, para a condição adaptada como padrão (30°C e 13,4% b.u.), são:

Para germinação:

$$(1) \quad G_i = 1 - [A(e^{BT} - 1) + CT^D] \quad \begin{cases} A = 0,4123 \\ B = 0,0002907 \\ C = 0,00005842 \\ D = 0,8225 \end{cases}$$

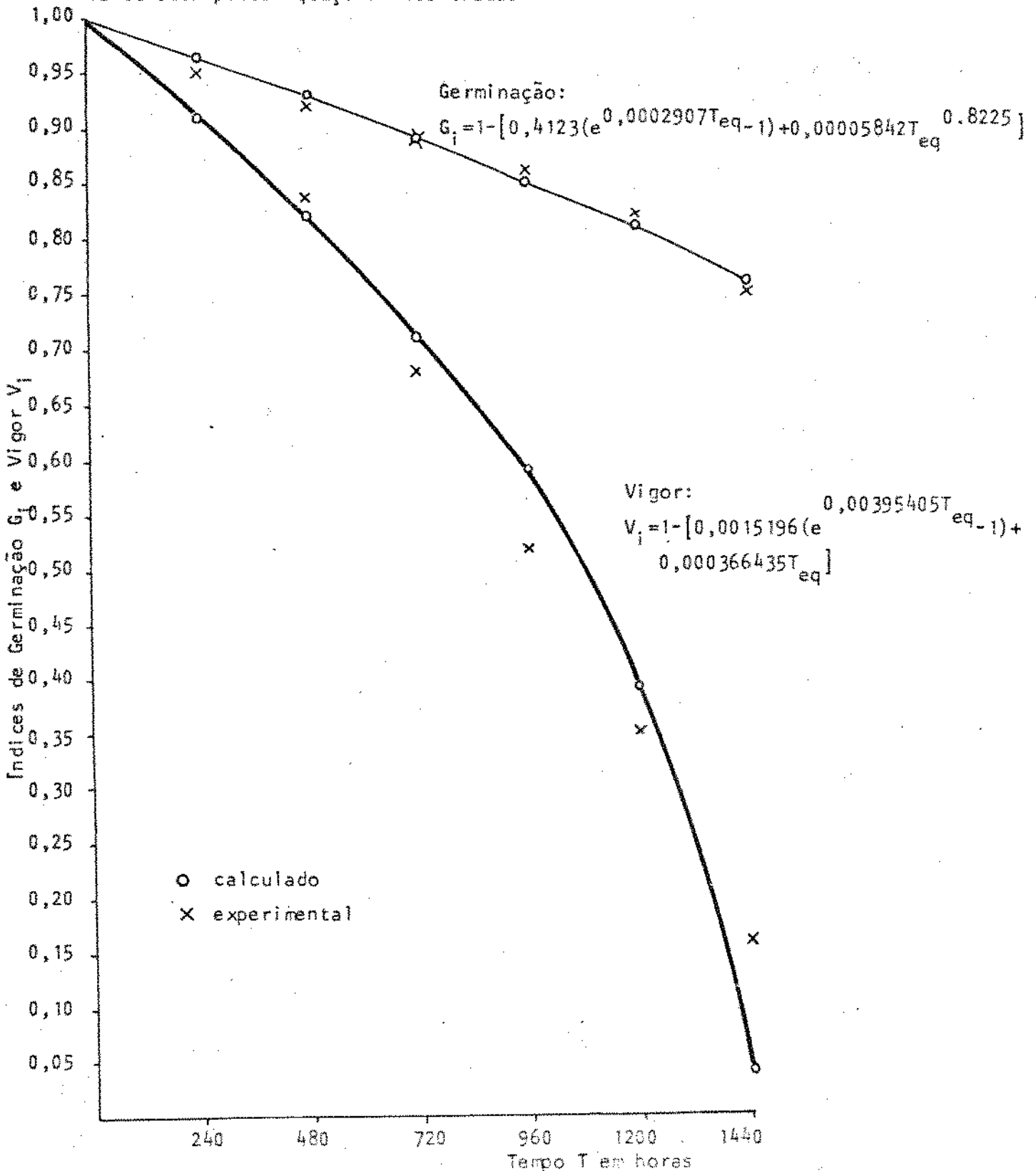
Para vigor:

$$(2) \quad V_i = 1 - [A'(e^{B'T} - 1) + C'T] \quad \begin{cases} A' = 0,0015196 \\ B' = 0,00395405 \\ C' = 0,000366435 \end{cases}$$

Na figura 17 apresenta-se os dados experimentais para os índices de germinação e vigor na condição padrão e a previsão das suas tendências pelas equações 1 e 2 com os parâmetros encontrados.

Figura 17

Previsão na Condição Padrão ⁽¹⁾ dos Índices de Deterioração da Germinação e do Vigor, Calculados pelas Equações Encontradas



(1) Condição Padrão = 30°C e 13,4% de umidade b.u. das sementes.

Pode-se observar a boa previsão obtida pelo modelo.

Os parâmetros encontrados para os multiplicadores de umidade das equações 5 e 6 para germinação, e das equações 7 e 8, para vigor, são:

Germinação:

Para umidades menores de 10,9% b.u.

$$(5) \quad M_u = 1 + b \cdot U \quad \begin{cases} a = 0,95 \\ b = 0,054 \end{cases}$$

para umidades iguais ou maiores de 10,9% b.u.

$$(6) \quad M_u = c \cdot U^d \quad \begin{cases} c = 232,0718 \\ d = -2,0992 \end{cases}$$

Vigor:

Para umidades menores de 10,9% b.u.

$$(7) \quad M_u = a' + b' \cdot U \quad \begin{cases} a' = 1,482 \\ b' = 0,00811 \end{cases}$$

Para umidades iguais ou maiores de 10,9% b.u.

$$(8) \quad M_u = c' \cdot U^{d'} \quad \begin{cases} c' = 251,68 \\ d' = -2,1273 \end{cases}$$

Nas figuras 18 e 19 apresenta-se a previsão dos multiplicadores de umidade da germinação e do vigor, respectivamente, calculados pelas fórmulas 3 a 6 com os parâmetros achados. Observa-se igualmente a boa aproximação conseguida pelo modelo.

O efeito da excessiva secagem das sementes, está indicado pelas equações 5 e 7, como se iniciando na umidade de 10,9% b.u. Isto em razão de não se dispor de mais dados experimentais nesta faixa de baixa umidade. É provável que a deterioração da germinação e do vigor por sobressecação, tenha início com teores de umidade mais baixos que 10,9% b.u., como acontece com outras variedades de soja. Pesquisas específicas a baixo teor de umidade, devem realizar-se para determinar o limite exato de umidade a partir do qual a sobressecação começa a influenciar a germinação e vigor das sementes de soja da variedade Santa Rosa.

No caso dos multiplicadores de temperatura, os parâmetros encontrados para as equações 9, 12 e 13 são:

$$(9) \quad M_t = m^{-n \cdot t} \quad \begin{cases} m = 4,03 \\ n = 0,101 \end{cases}$$

$$(12) \quad p = q + k \ln U + h U^i \quad \begin{cases} q = 0,41308 \\ k = -0,24152 \\ h = 0,002075 \\ i = 1,5275 \end{cases}$$

$$(13) \quad p' = q' + k' \ln U + h' U^{i'} \quad \begin{cases} q' = 0,37445 \\ k' = -0,20348 \\ h' = 0,00025984 \\ i' = 2,02058 \end{cases}$$

Figura 18

Germinação: Previsão do Multiplicador de Unidade M_U

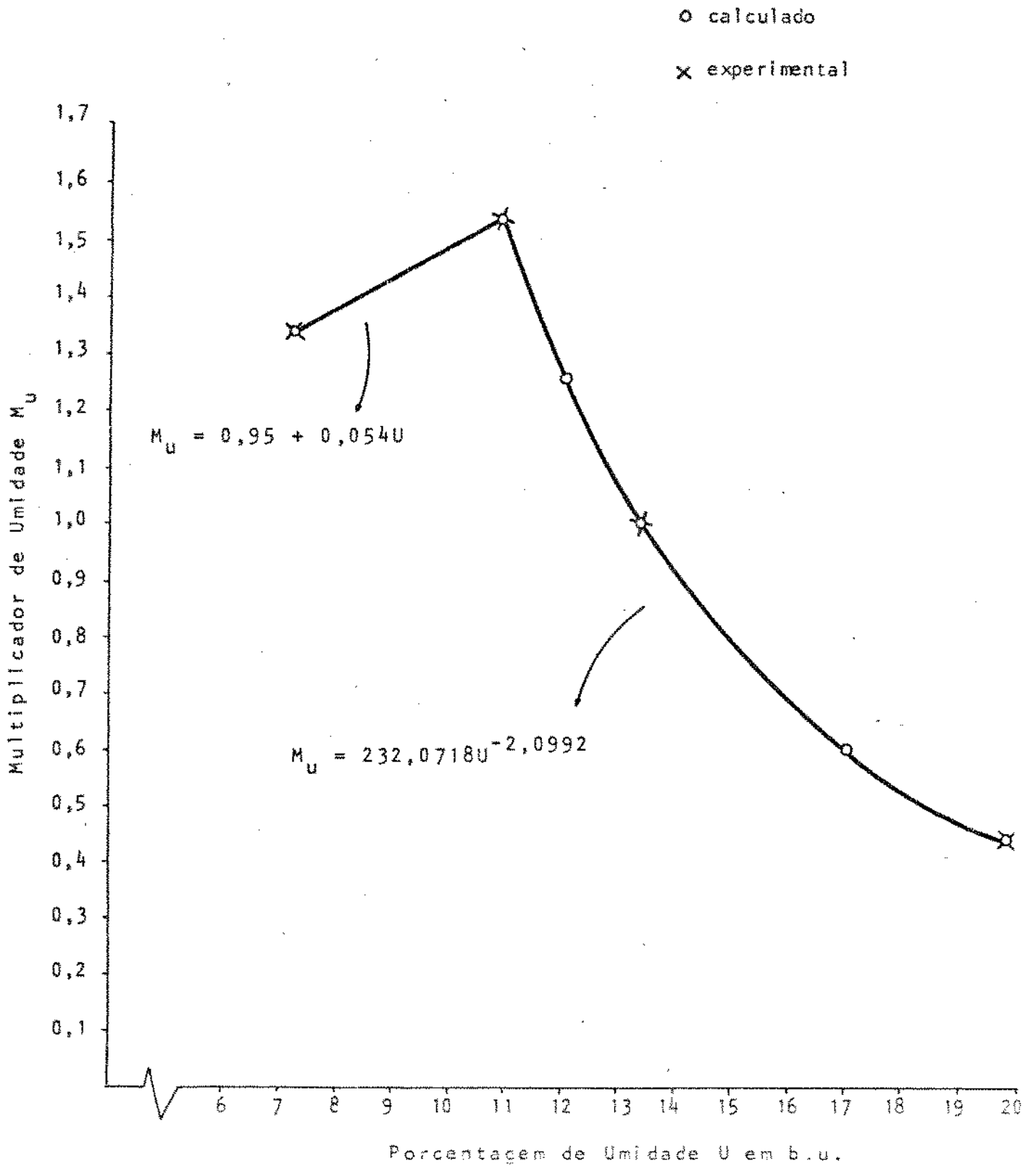
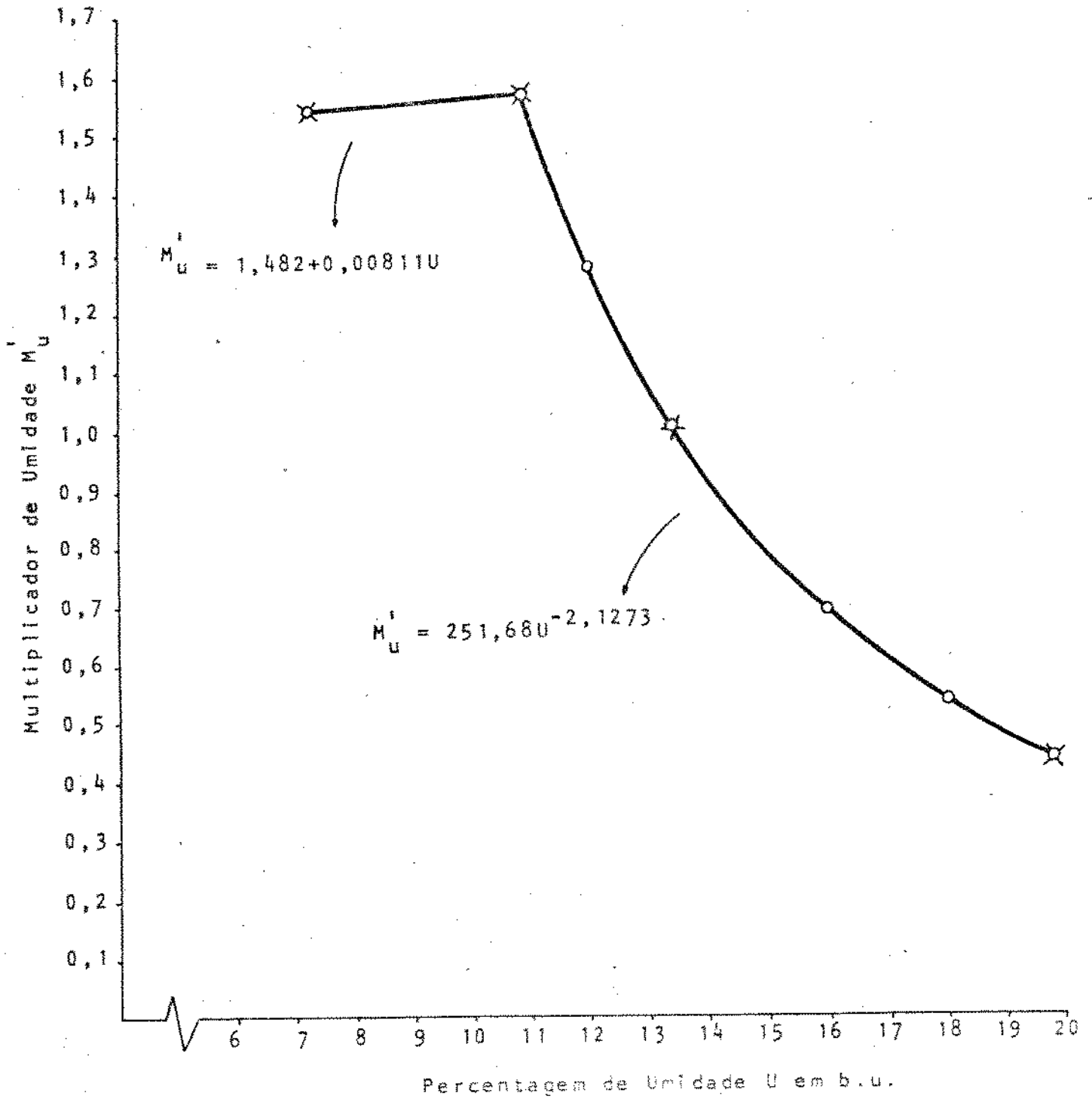


Figura 19

Vigor: Previsão do Multiplicador de Unidade M_U^i

o calculado

x experimental



A equação 9 expressa o multiplicador de temperatura (M_t) da germinação para temperaturas iguais ou inferiores de 30°C e as equações 12 e 13 indicam os valores de p e p' que são os parâmetros das equações 10 e 11 respectivamente, expressando, a equação 10 o valor do multiplicador de temperatura (M_t) da germinação, para temperaturas superiores a 30°C , e a equação 11 o valor do multiplicador de temperatura (M_t') do vigor, para temperaturas entre 20 e 38°C .

Nas figuras 20 e 21 observa-se a boa previsão dos multiplicadores de temperatura, M_t para a germinação e M_t' para o vigor, calculados pelas equações 9, 10 e 11 com os parâmetros encontrados.

A previsão geral pelo modelo, dos índices de germinação e vigor nas temperaturas de 20, 30 e 38°C , para as diferentes condições de umidade estudadas, estão expressadas nas figuras: 22, 23 e 24 para a germinação e nas figuras 25, 26 e 27 para o vigor. Considerando a ampla variação natural que acontece na quantificação das amostras na germinação e no vigor, pode-se ver, que se conseguiu uma boa previsão na tendência de deterioração dos índices de germinação e vigor pelo modelo matemático desenvolvido.

5.2 Comprovação do Modelo Matemático

O quadro VIII apresenta os resultados experimentais e simulados da secagem no silo solar. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar utilizados para a simulação estão referidos no anexo II.

No quadro VIII pode se observar que a previsão final

Figura 20

Germinação: Previsão do Multiplicador de Temperatura M_t

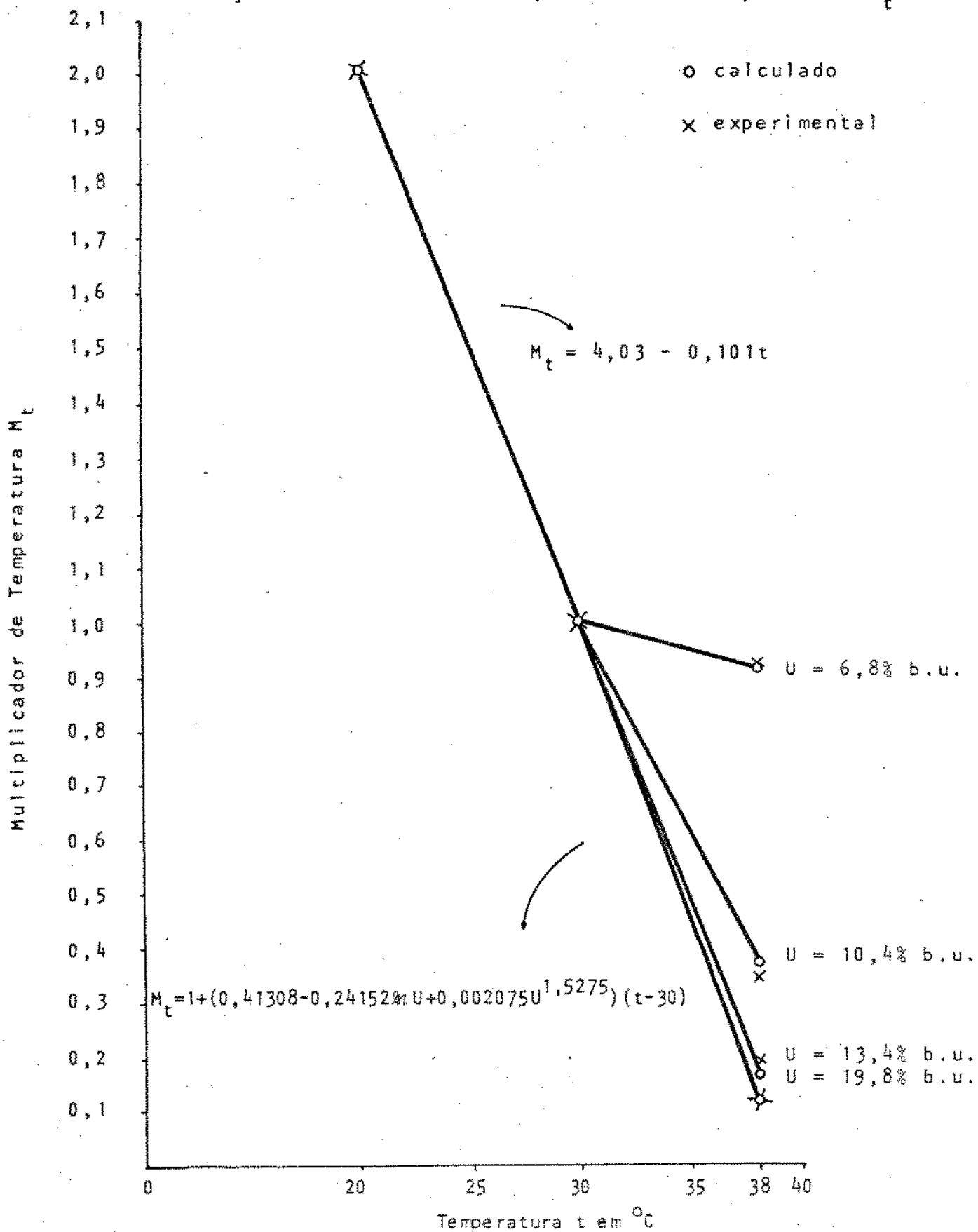


Figura 21

Vigor: Previsão do Multiplicador de Temperatura M_t'

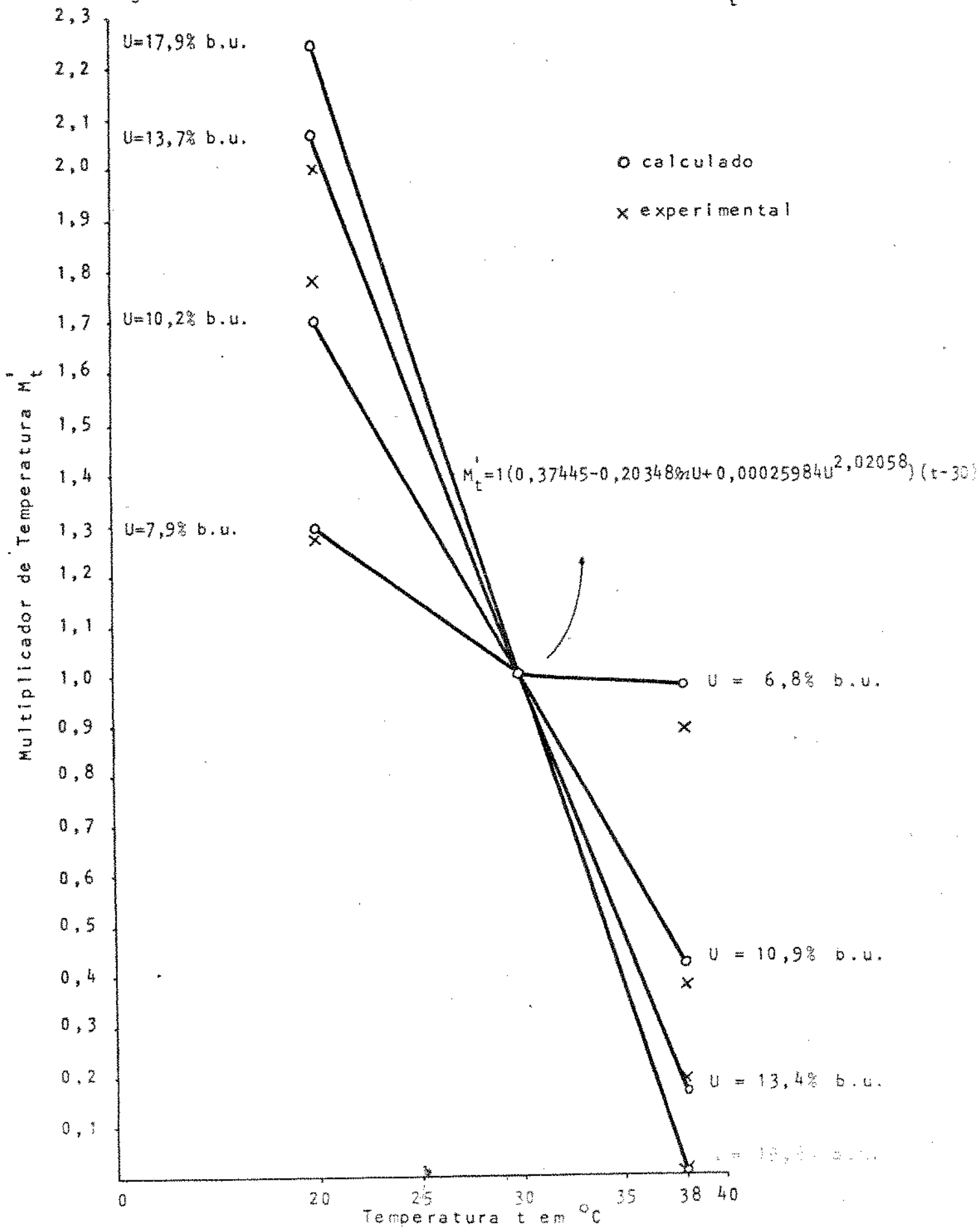


Figura 22

Previsão dos Índices de Germinação na Temperatura de 20°C

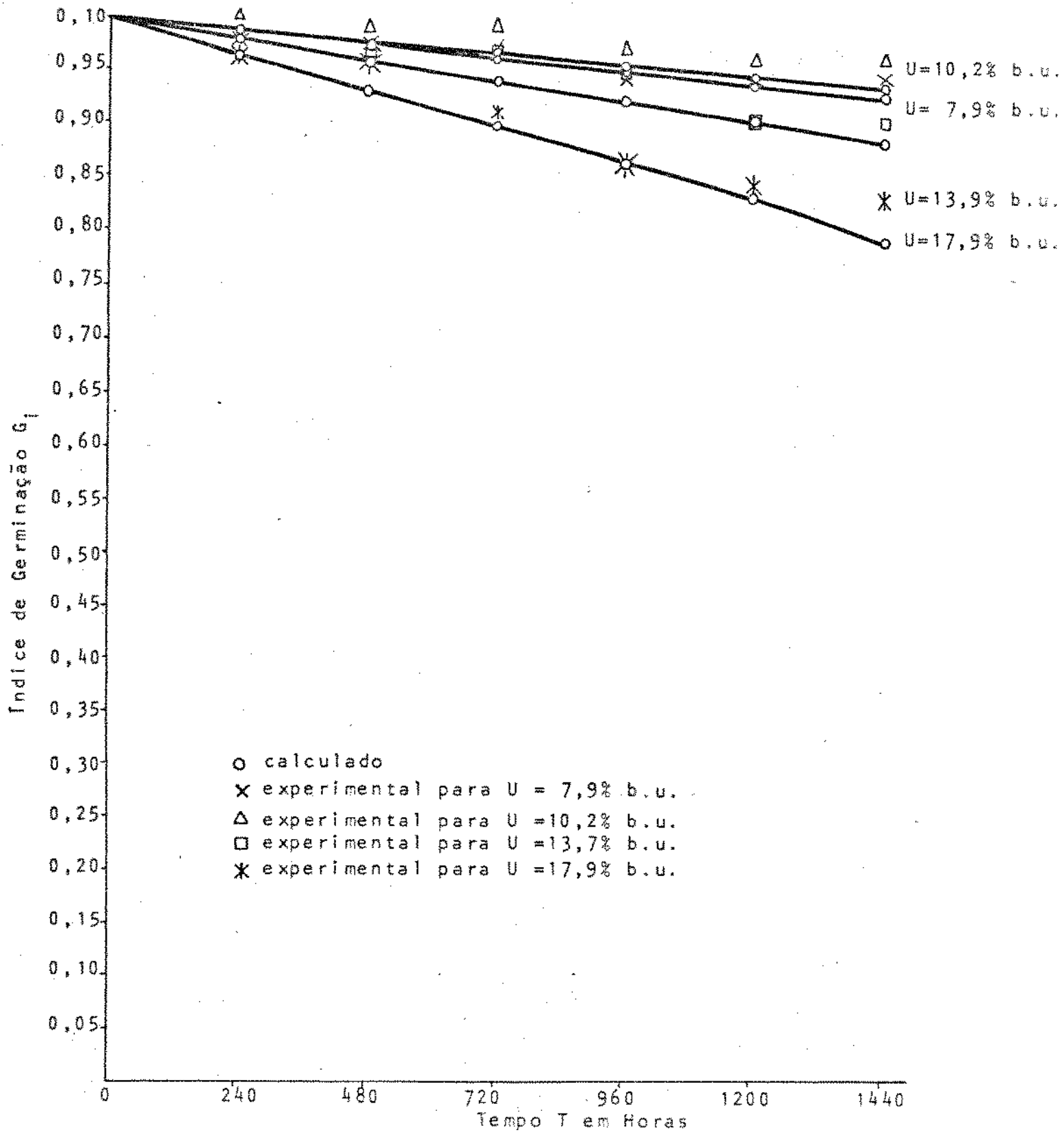


Figura 23

Previsão dos Índices de Germinação na Temperatura de 30°C

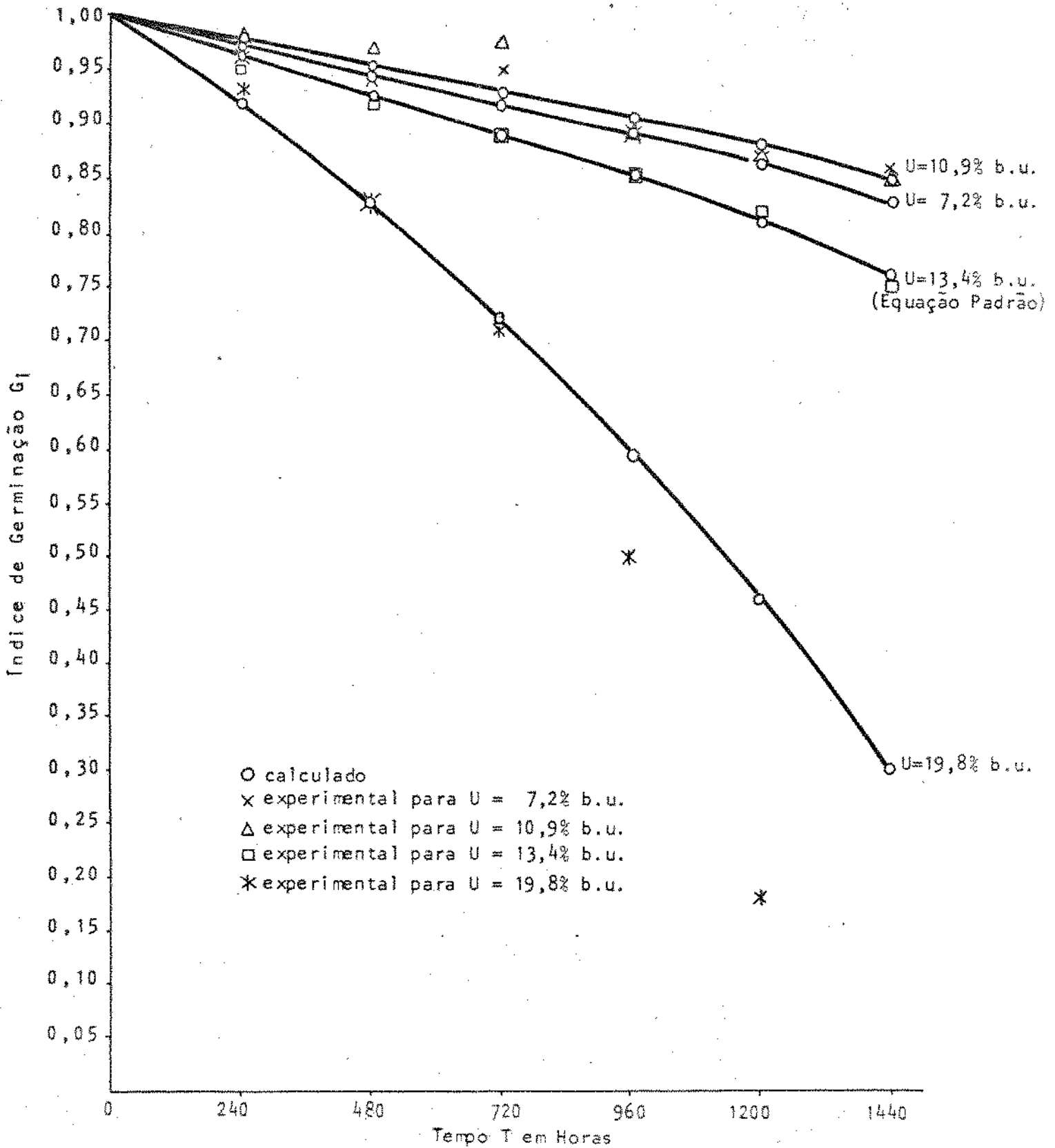


Figura 24

Previsão dos Índices de Germinação na Temperatura de 38°C

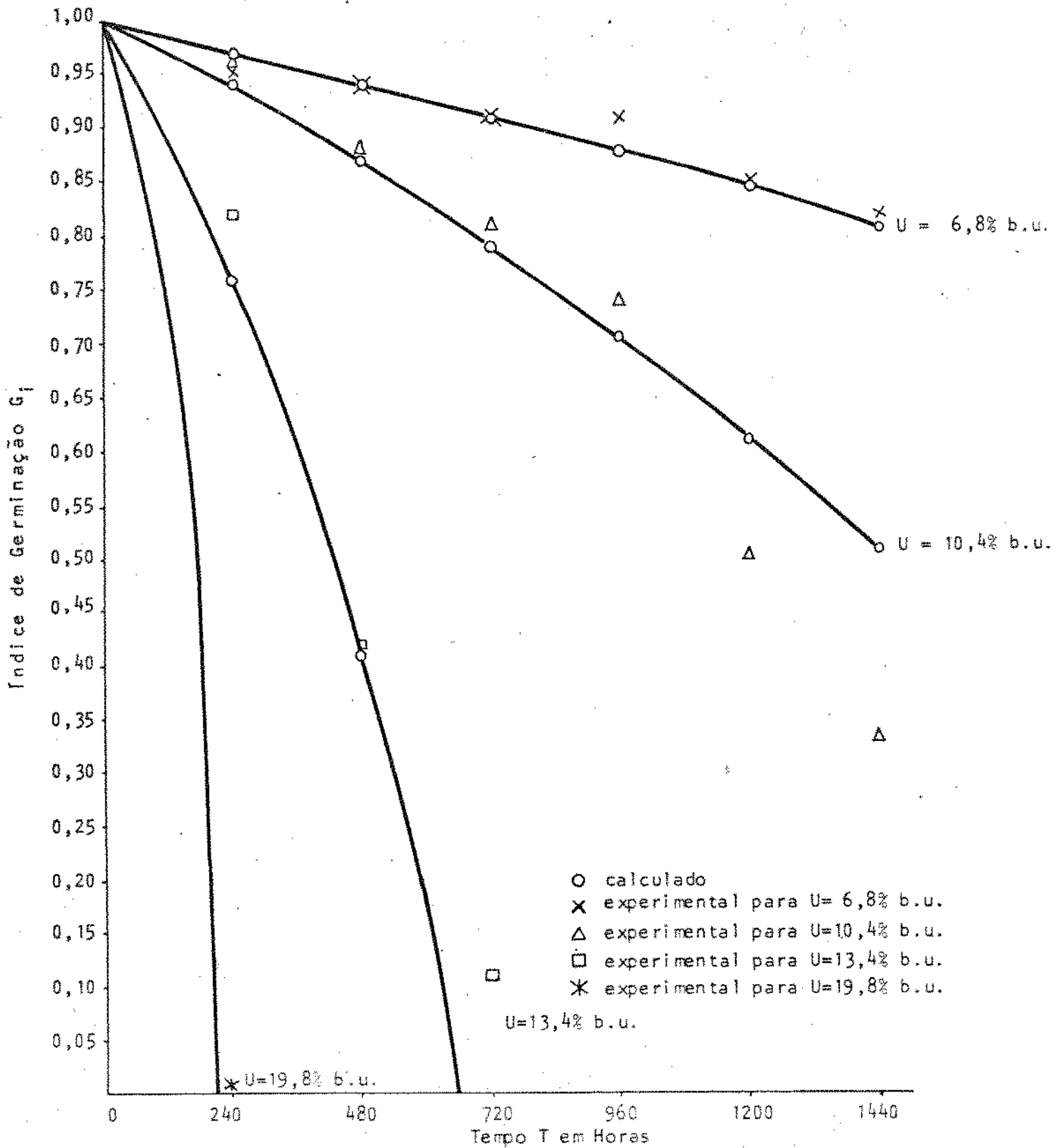


Figura 25

Previsão dos Índices de Vigor na Temperatura de 20°C

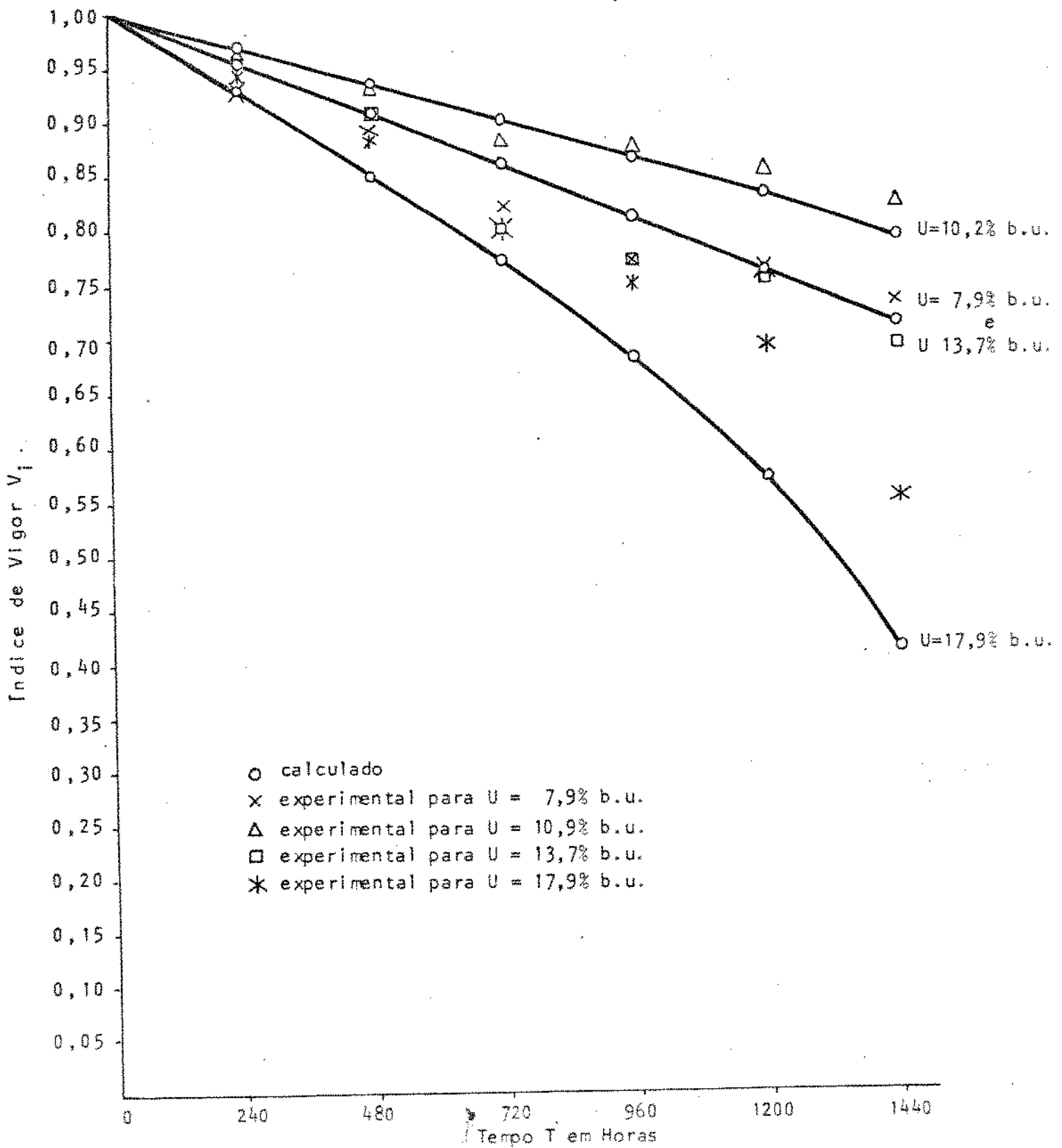


Figura 26

Previsão dos Índices de Vigor na Temperatura de 30°C

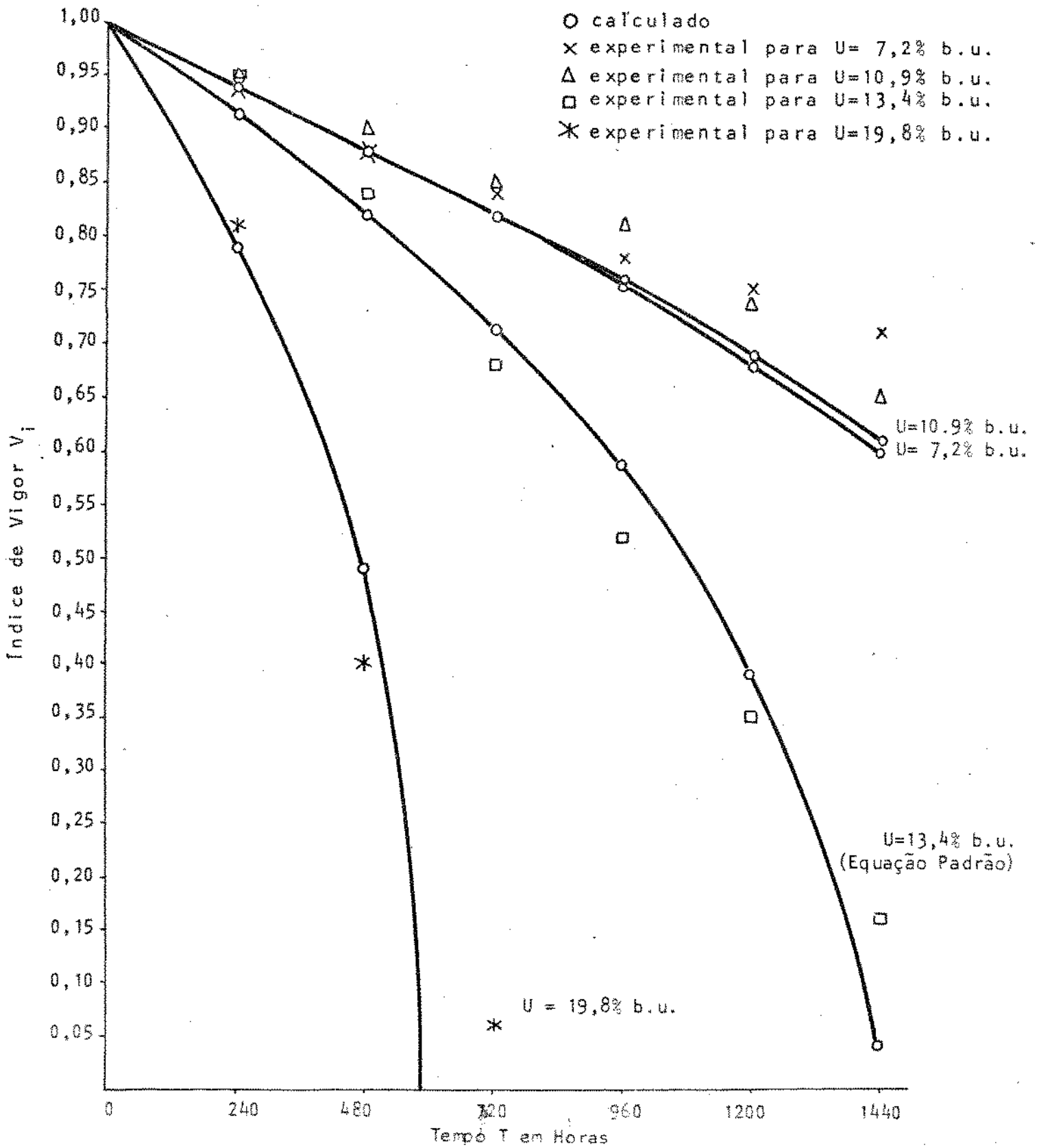
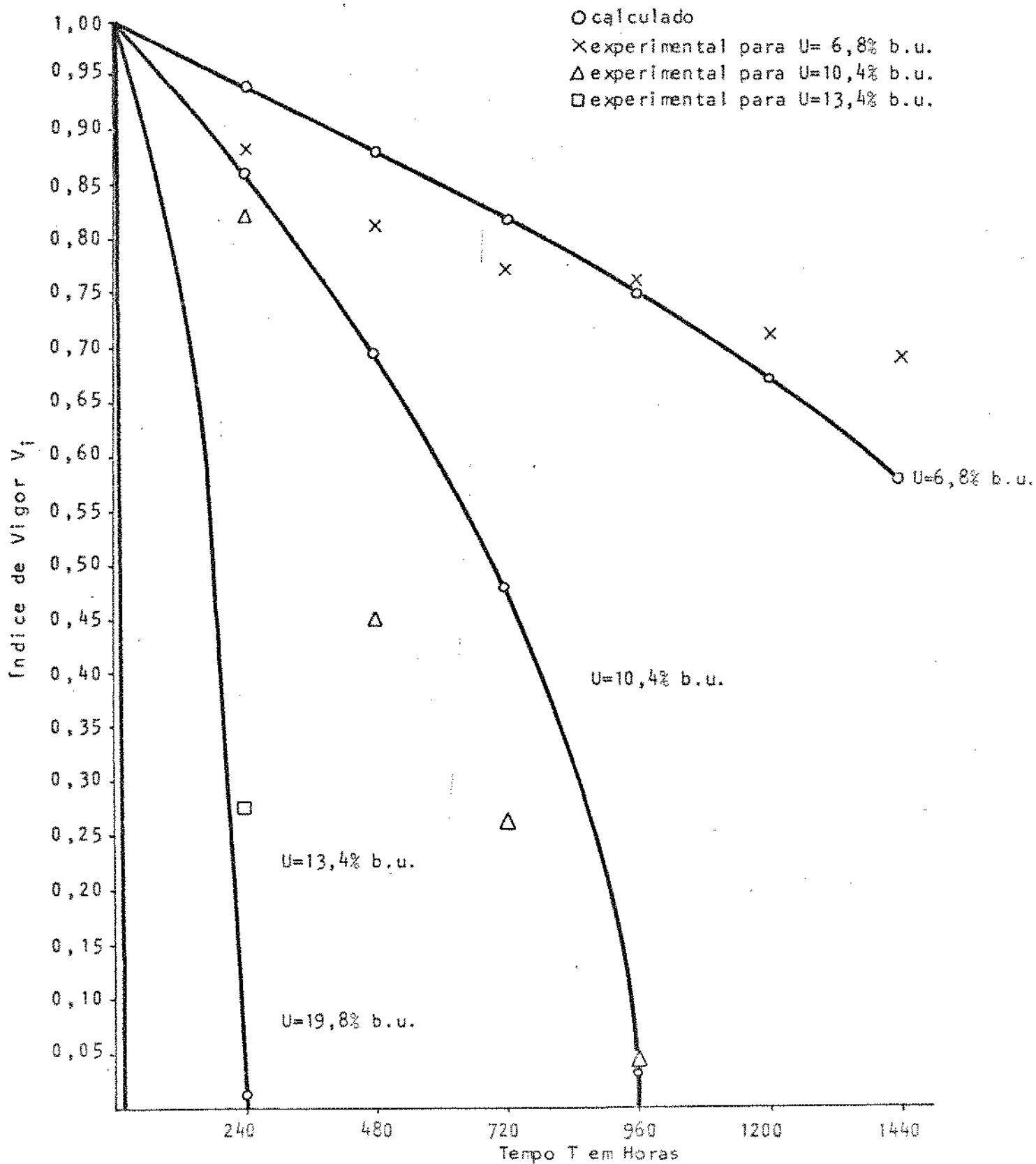


Figura 27

Previsão dos Índices de Vigor na Temperatura de 38°C



QUADRO VIII

Porcentagens de Germinação, Vigor e Umidade, Experimentais e Simuladas, das Sementes, Durante a Secagem no Silo Solar.

Altura da Camada cm.	Valores	Condições Iniciais			5 dias 120 horas			12 dias 288 horas		
		Umid. % b.u.	Germ. %	Vigor %	Umid. % b.u.	Germ. %	Vigor %	Umid. % b.u.	Germ. %	Vigor %
10	Experimentais	16,0	92	80	9,2	92	78	7,0	87	71
	Simulados	16,0	92	80	8,6	91	78	7,2	90	75
50	Experimentais	21,0	93	75	18,9	90	70	8,0	86	67
	Simulados	21,0	93	75	19,8	91	74	9,0	89	70
90	Experimentais	22,9	92	74	20,3	91	68	12,0	85	66
	Simulados	22,9	92	74	22,6	89	73	11,9	85	71
Média	Experimentais	20,0	92	76	16,1	91	72	9,0	86	68
	Simulados	20,0	92	76	17,0	90	75	9,4	88	72

da percentagem de germinação das sementes por simulação, deferiu dos valores experimentais em 3% nas camadas de 10 e 50 cm (camada inferior e média respectivamente), coincidindo na camada de 90 cm (camada superior). A média simulada da germinação, para todas as camadas, difere em 2% com a média dos valores experimentais.

Para a percentagem de vigor das sementes pode se observar que, a previsão final por simulação difere dos valores experimentais em 4% para a camada inferior, em 3% para a camada média e em 5% para a camada superior. A diferença dos valores simulados e experimentais para o vigor médio de todas as camadas foi de 4%.

As condições de umidade das sementes indicadas por simulação ao final da experiência, coincidem, praticamente, nas camadas inferior e superior, variando de 1,0% na camada média. Porém para o período médio da secagem (5 dias), percebe-se maior diferença entre os conteúdos de umidade experimentais e simulados.

A variação entre os valores experimentais e simulados ao fim da experiência de secagem, de 2% para a média da germinação e de 4% para a média do vigor, permite afirmar que, dados todos os fatores que concorrem para a variabilidade da germinação e do vigor das sementes, conseguiu-se muito boa previsão do efeito das condições da secagem sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja. Uma maior diferença entre os valores simulados e experimentais no vigor era esperada, dado que a variação natural do vigor é maior do que a da germinação.

5.3 Determinação das Vazões Mínimas Para a Secagem de Sementes de Soja

A figura 28 mostra as vazões de ar e os tempos correspondentes da secagem de sementes de soja, desde uma umidade inicial de 20% b.u. até uma umidade final de 12% b.u., obtidas por simulação, quando se usar ar a 25°C e 69% de umidade relativa.

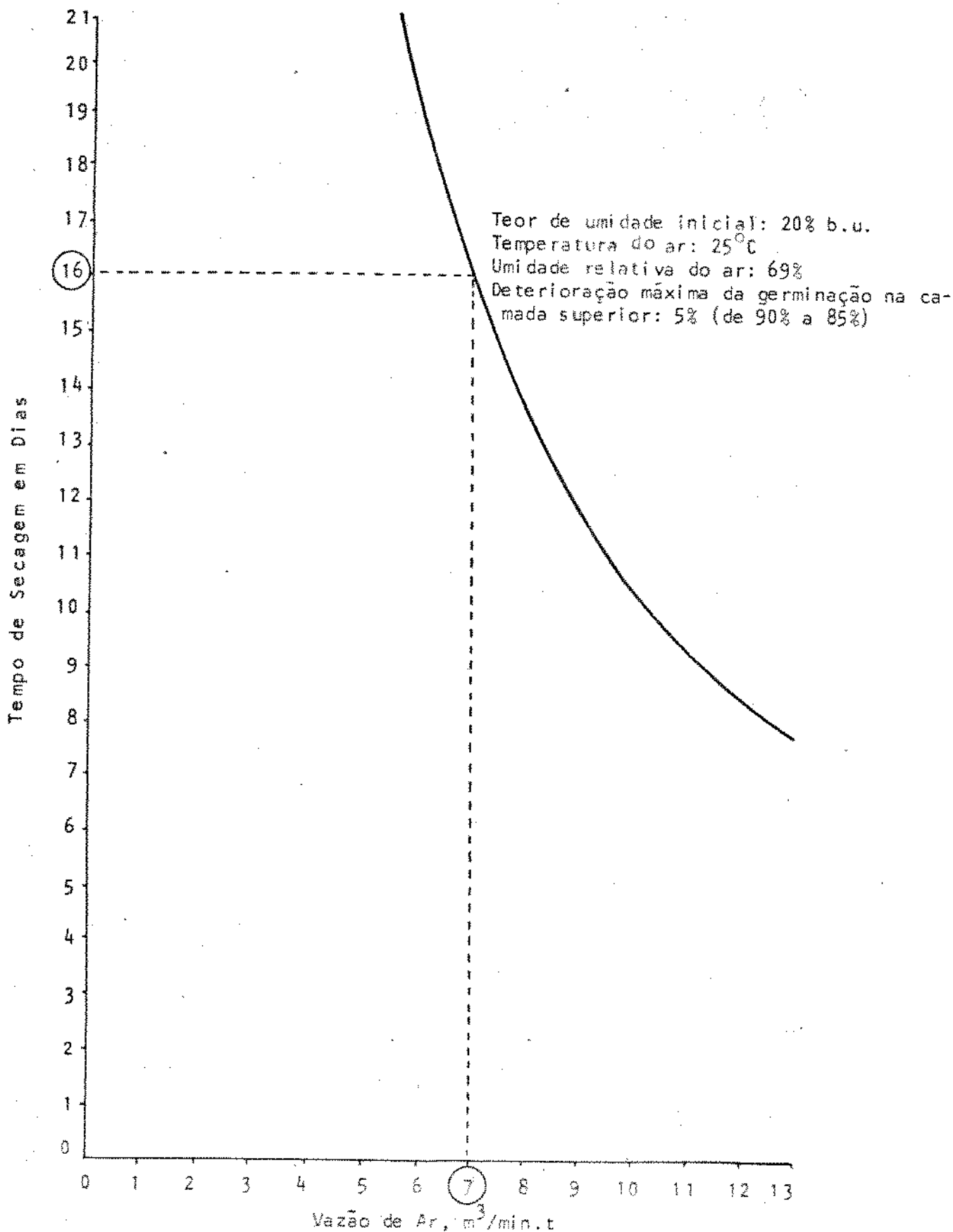
Com o modelo de deterioração obtido, determinou-se que 16 dias é o tempo máximo de secagem para que as sementes da camada superior (a mais crítica) percam 5% de germinação (de 90% a 85%), que corresponde a uma perda de 4% (de 90 a 86%) na germinação de toda a massa de sementes, quando se emprega ar a 25°C e 69% de umidade relativa. Para este tempo de secagem, corresponde uma vazão de 7 m³/min.t. O emprego, nessas condições, de vazões superiores a 7 m³/min.t, permite secar as sementes em períodos de tempo menores e com uma deterioração conseqüentemente menor.

Usando-se a mesma metodologia, determinaram-se as vazões mínimas para a secagem em outras condições, na faixa da secagem com ar ambiente ou com aquecimento solar, estando estas, referidas no quadro IX. Pode-se observar que as vazões devem ser maiores conforme maior seja a temperatura do ar.

As vazões indicadas no quadro IX, são próximas às recomendadas por Matthes et.al. (27) (pg. 21), que indica vazões de 9 a 12 m³/min.t para a secagem de sementes de soja com 22% de umidade b.u. inicial, usando-se ar com temperaturas inferiores a 40°C e umidades relativas entre 40 e 50%.

Figura 28

Vazões Mínimas e Tempos Correspondentes Para a Secagem das Sementes de Soja Variedade Santa Rosa:



QUADRO IX

Vazões Mfínimas para a Secagem de Sementes de Soja Santa Rosa, de 20 b.u. de Umidade Inicial, nas Falxas de Temperaturas Ambiente e Solar

Condições de Secagem	Condições Médias da Camada Superior Umidade b.u. %	Temperatura °C	Tempo Máximo de Secagem da Camada Superior (dias)	Vazão Mfínima m ³ /min.t
Temperatura bulbo seco 35°C Temperatura bulbo úmido 30,2°C Umidade relativa 72%	17.1	31.8	8	12.5
Temperatura bulbo seco 30°C Temperatura bulbo úmido 25,3°C Umidade relativa 70%	17.2	27.0	11	9.5
Temperatura bulbo seco 25°C Temperatura bulbo úmido 20,6°C Umidade relativa 69%	17.2	22.4	16	7.0
Temperatura bulbo seco 20°C Temperatura bulbo úmido 15,9°C Umidade relativa 68%	17.2	17.3	20	6.0

- 1 - As condições de secagem, correspondem a temperaturas e umidades relativas do ar para conseguir 12% de umidade b.u. nas sementes, como umidade de equilíbrio.
- 2 - O tempo máximo da secagem foi calculado, em base a uma queda de germinação máxima, permissível, de 5% (90 a 85%) na camada superior ao fim da secagem, que corresponde a uma perda média de toda a massa de sementes de 4% (de 90 a 86%).

VI CONCLUSÕES

- 1 - Com o modelo obtido, conseguiu-se uma boa previsão da tendência de deterioração da qualidade fisiológica das sementes de soja variedade Santa Rosa, para as condições de temperatura e umidade estudadas.
- 2 - Este modelo de deterioração pode ser utilizado com os modelos de secagem para simular o efeito das variáveis da secagem em silos, sobre a qualidade fisiológica das sementes de soja.
- 3 - O teste de vigor permite apreciar de forma mais evidente a deterioração das sementes do que o teste de germinação.
- 4 - Nas temperaturas superiores a 20°C, as sementes de soja da variedade Santa Rosa, apresentam sensibilidade um tanto maior à deterioração do que outras variedades americanas.
- 5 - O efeito da sobressecação nas sementes de soja variedade Santa Rosa, já está notoriamente manifestado na umidade de 7,8% b.u. Em temperaturas maiores que 30°C a deterioração é muito mais sensível à umidade do que à sobressecação.
- 6 - O modelo matemático de deterioração desenvolvido, foi efetivamente utilizada junto com o modelo matemático de secagem, para determinar as vazões mínimas de ar requeridas na secagem de sementes de soja em silos. Desta forma, determinou-se que vazões mínimas de ar de 7 m³/min.t devem ser usadas para secar sementes com umidade inicial de 20% b.u., empregando-se ar a 25°C e 69% de umida

de relativa. Com esta metodologia foram estabelecidas outras vazões mínimas, para secagens que empreguem ar com temperaturas nas faixas de 20 a 35°C e com umidades relativas para conseguir 12,0% de umidade de equilíbrio nas sementes.

- 7 - Quando se emprega ar a condições constantes de temperatura e umidade relativa, determinadas para obter uma umidade de 12% b.u. (ou menor) de equilíbrio nas sementes, as vazões utilizadas devem ser maiores, conforme maior seja a temperatura do ar.
- 8 - Ainda, o modelo obtido pode ser empregado na previsão da deterioração da qualidade fisiológica (germinação e vigor), ou do potencial de armazenagem de sementes de soja, para diversas condições de armazenamento.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - Abdul-Baki, A.A. e Anderson, J.D. 1972. PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL DETERIORATION OF SEEDS. In: Seed Biology. T. Kozlowski. Academic Press, Vol. 2, ps. 283-309.
- 2 - Alam Anwar e Shove C. Gene. 1972. HIGROSCOPICITY AND THERMAL PROPERTIES OF SOYBEANS. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). Paper nº 72-320. St. Joseph, Michigan. 11 ps.
- 3 - Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes. 1972. MANUAL PARA TESTES DE VIGOR DE SEMENTES. Secretaria de Agricultura do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 53 ps.
- 4 - Asociación Internacional Para el Ensayo de Semillas. 1961. REGLAS INTERNACIONALES PARA EL ENSAYO DE SEMILLAS Centro Regional de Ayuda Técnica. México. 25 ps.
- 5 - Barton Lela, V. 1961. SEED PRESERVATION AND LONGEVITY. Plant Science Monographs Leonar Hill. London. ps. 166-197.
- 6 - Bernarde Melvin, A. 1971. CORRIDA CONTRA A FOME: Ed. ATLAS S.A. São Paulo. 116 ps.
- 7 - Boyd A.H. 1974. DRYING SOYBEANS FOR SEED IN THE SOUTHERN UNITED STATES. In Proceedings of the Southeastern Soybean Planting Seed Seminar. Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station and M. Cooperative Extension Service. ps. 79-91.

- 8 - Burger José. 1962. DETERMINAÇÃO DAS INFLUÊNCIAS ENZIMÁTICAS SOBRE O COMPORTAMENTO EM ARMAZENAGEM DAS DIFERENTES VARIEDADES DE ARROZ, FEIJÃO, MILHO, SOJA E TRIGO. Boletim de Agricultura. Belo Horizonte. ps. 35-56.
- 9 - Byrd, W. 1970. EVALUATING SEED STORABILITY AND VIGOR. Short Course for Seedmen. Technical Laboratory. Mississippi State University. ps. 95-101.
- 10 - Christensen, C.M. e Kaufman, H.H. 1972. BIOLOGICAL PROCESSES IN STORED SOYBEANS. In Soybeans Chemistry and Technology. Allen K. Smith. Vol. I. AVI Publishing. West Port, Connecticut. ps. 278-293.
- 11 - Christensen Clyde, M. 1974. STORAGE OF CEREAL GRAINS AND THEIR PRODUCTS. American Association of Cereal Chemists Incorporated. St. Paul, Minesota.
- 12 - Delouche, J.C. 1970. PRECEPTS FOR SEED STORAGE. Short Course for Seedmen. Seed Technical Laboratory. Mississippi State University. ps. 85-119.
- 13 - Delouche, J.C. and Baskin, C.C. 1971. DEVELOPMENT OF METHODS FOR PREDICTING THE LONGEVITY OF CROP SEED LOTS IN STORAGE. Agricultural Research Service. Mississippi State University.
- 14 - Delouche, J.C. and Potts, H.C. 1974. PROGRAMA DE SEMENTES. Ministério da Agricultura. AGIPLAN. Brasília. 124 pg.
- 15 - Delouche, J.C. 1974. MAINTAINING SOYBEAN SEED QUALITY. In: Soybean

Production, Marketing and Use. Bulletin 4-69. Tennessee Valley Authority. Muscle Shoals, Alabama. ps. 46-61.

- 16 - Delouche, J.C. 1974. SOYBEAN SEED STORAGE. In: Proceedings of the Southeastern Soybean Planting Seed Seminar. Agricultural & Forestry Experiment Station and Mississippi Cooperative Extension Service. ps. 99-119.
- 17 - Departamento de Operações, Comissão de Financiamento da Produção. 1976. A DEPRECIACÃO QUALITATIVA DE SEMENTES EM TRÂNSITO E ARMAZENADAS. 2º Seminário Nacional de Armazenagem. Ministério da Agricultura e CIBRAZEM. Brasília. 34 ps.
- 18 - Dye, J.L. and Nicely, V.A. 1971. A GENERAL PURPOSE CURVEFITTING PROGRAM FOR CLASS AND RESEARCH USE: Journal of Chemical Education. Vol. 48. Pg. 443-448.
- 19 - Encontro Nacional de Técnicos em Análises de Sementes. 1971. DETERIORAÇÃO DE SEMENTES. 1º Encontro Nacional de Técnicos em Análises de Sementes. ABRATES. Porto Alegre. ps. 160-172; 183.
- 20 - Governo do Estado de São Paulo. 1976. PADRÕES DE SEMENTES. Secretaria de Agricultura. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. São Paulo. 13 ps.
- 21 - Governo do Estado de São Paulo. 1975/76. PROGNÓSTICO. Secretaria de Agricultura e Instituto de Economia Agrícola. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. São Paulo. ps. 179-191.
- 22 - Governo do Estado de São Paulo. 1976/77. PROGNÓSTICO. Secretaria da

Agricultura e Instituto de Economia Agrícola. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. São Paulo. ps. 112-122.

- 23 - Hall, W.C. 1967. DRYING FARM CROPS. Agricultural Consulting Associates. Edwar Brothers INC. Michigan. ps. 32-37.
- 24 - Harrington, J.F. 1973. SEED STORAGE AN LONGEVITY. In: Seed Biology. Kozłowski. Vol. 3. Academic Press. New York, London. ps. 181-200.
- 25 - Kozłowski, T. 1972. SEED BIOLOGY. Academic Press. New York and London. Vols. 2 e 3.
- 26 - MacKay, D. 1971. THE MEASUREMENT OF VIABILITY SEEDS. Chapman and Hall. London. ps: 172-208.
- 27 - Matthes, K.R. Boyd, A.H. e Welch, G.B. 1974. HEATED AIR DRYING OF SOYBEAN SEED. American Society of Agricultural Engineers. Paper nº 74-3001 St. Joseph, Michigan. 17 p.
- 28 - McNeal Yzin. 1966. CONDITIONING AND STORAGE OF SOYBEAN. Fayetteville Arkansas Agricultural Experiment Station. 30 ps.
- 29 - McKenzie, B.A. 1972. DRYING SOYBEAN WITH HEATED AND UNHEATED AIR. Publication AE-84. Cooperative Extension Service. Purdue University. Lafayette, Indiana. 10 ps.
- 30 - Meyer, E. Keemer, M. e Roller, L. 1975. SOLAR HEATED AIR DRYING OF SOYBEAN SEED AND SHELLED CORN. American Society of Agricultural Engineers. Paper Nº 75-3002. St. Joseph, Michigan. 21 ps.
- 31 - Mississippi State University. 1973. SEED DRYING AND STORAGE. Seed Technology Laboratory. Mississippi. 77 ps.

- 32 - Mississippi State University. 1975. INTERPRETAÇÃO DE TESTES DE GERMINAÇÃO: Laboratório de Tecnologia de Sementes. Universidade do Estado de Mississippi. Tradução Ministério de Agricultura e AGIPLAN. Brasília. 35 ps.
- 33 - Parente, A. Garagorry, F. e Palma, O. 1976. APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NO ESTUDO DE SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE GRÃOS. 2º Seminário Nacional de Armazenagem. Ministério da Agricultura, CIBRAZEM. Brasília. 12 ps.
- 34 - Popiningis, F. 1974. FISILOGIA DE SEMENTES, Ministério da Agricultura. AGIPLAN. Brasília. 41 ps.
- 35 - Popiningis F. 1975. QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES. Em Semente. Vol. 1 Nº 1. AGIPLAN. ps. 65-80.
- 36 - Popiningis, F. 1976. PRESERVAÇÃO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DA SEMENTE DURANTE O ARMAZENAMENTO. 2º Seminário Nacional de Armazenagem. Ministério da Agricultura, CIBRAZEM. Brasília. 62 ps.
- 37 - Programação Prioritária de Assistência Técnica. 1975. NORMAS PARA ANÁLISES DE SEMENTES. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI). Programa de Sementes de Mudas. Campinas, São Paulo. 53 ps.
- 38 - Puzzi Domingos. 1973. CONSERVAÇÃO DOS GRÃOS ARMAZENADOS. Editora Agronômica Ceres. São Paulo. 217 ps.
- 39 - Ramstad, P.E. and Geddes W.F. 1942. THE RESPIRATION AND STORAGE BEHAVIOR OF SOYBEANS. Minnesota Agricultural Experimental Station. 156 ps.

- 40 - Scott, W.D. and Aldrich, S.R. 1970. MODERN SOYBEAN PRODUCTION. Standard Book Nº 911654-79-8. S&A Publication. 192 ps.
- 41 - Siemens, J.C. and Hürming, H.J. 1973. HARVESTING AND DRYING SOYBEANS. Urbana. Cooperative Extension Service. Circular 1094. 11 ps.
- 42 - Smith, A.K. and Circle, S.J. 1972. SOYBEANS CHEMISTRY AND TECHNOLOGY. The AVI Publishing Company INC. Vol. 1. West Port Connecticut. ps. 278-293.
- 43 - Steele, J.L. 1967. DETERIORATION OF DAMAGED SHELLED CORN AS MEASURED BY CARBON DIOXIDE PRODUCTION. Unpublished Ph.D. Thesis. Iowa State University of Science and Technology.
- 44 - Steele, J.L. Saul, R.A. and Hukill, W.V. 1969. DETERIORATION OF SHELLED CORN AS MEASURED BY CARBON DIOXIDE PRODUCTION. Transaction of The ASAE 12(5): ps. 685-689.
- 45 - Takayamagi, K. 1973. SEED STORAGE AND LONGEVITY. Food and Fertilizer Technology Center. Extension Bulletin Nº 36. Taipei, China. 27 ps.
- 46 - Thompson, T.L. Peart, R.M. and Fester, G.H. 1968. MATHEMATICAL SIMULATION OF CORN DRYING-A NEW MODEL. Transactions of The American Society of Agricultural Engineers. ps. 582-586.
- 47 - Thompson, T.L. 1972. TEMPORARY STORAGE OF HIGH-MOISTURE SHELLED CORN USING CONTINUOUS AEREATION. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers. ps. 333-337.
- 48 - Usberti, R. 1977. COMUNICAÇÃO PESSOAL: RECOMENDAÇÕES PARA TESTES DE ENVELHECIMENTO EM SOJA. Laboratório Central de Análises de Sementes CATI. Campinas, São Paulo.

- 49 - Vaughan, C.E. Gregg, B.R. Delouche J.C. 1976. BENEFICIAMENTO E MANUSEIO DE SEMENTES. Ministério da Agricultura AGIPLAN, Brasília. 195 pg.
- 50 - Vernet, F.J. 1975. HISTÓRIA E IMPORTÂNCIA DA SOJA NO BRASIL. Em: Agroquímica Ciba-Geigy N° 2. ps. 4-10.
- 51 - Villa, L.G. Roa, G. e Isaias, M. 1976. SIMULAÇÃO DA SECAGEM NATURAL E COM AUXÍLIO DE COLETORES SOLARES DE SOJA EM SILOS. 2º Seminário Nacional de Armazenagem. Ministério da Agricultura. CI-BRAZEM. Brasília. 17 ps.
- 52 - White, G.M. Loewer, O.J. Ross, I.J. e Egli, D.B. 1976. STORAGE CHARACTERISTICS OF SOYBEANS DRIED WITH HEATED AIR. Transaction of The American Society of Agricultural Engineers. ps. 306-310.

A N E X O S

ANEXO I

Respiração de Sementes de Soja com 18.5% de umidade b.u.

Temperatura °C	Respiração mg de CO ₂ por 100gr. de m.s. em 24 horas
25	33.6
30	39.7
40	154.7
45	13.1

Fonte: Milner e Goddes 1945 Grain Storage Studies

Anexo II

Condições da Secagem no Silo Solar

Dia	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa %	Umidade Absoluta (k.vapor/k.ar seco)
	9	27	60	0.0148
	9:30	30	51	0.0150
	10	34	40	0.0145
	10:30	35	38	0.0146
	11	35.5	36	0.0144
	11:30	36.5	35	0.0145
	12	38.5	32	0.0149
	12:30	39	30	0.0145
1	13	40.5	27	0.0140
	13:30	38	33	0.0150
	14	34.5	44	0.0164
	14:30	33	40	0.0147
	15	32.5	34	0.0110
	15:30	33	32	0.0108
	16	33.5	32	0.0114
	16:30	32	35	0.0110
	17	31.5	33	0.0100
	9	26.5	63	0.0150
	9:30	29.5	44	0.0120
	10	30.5	45	0.0124
	10:30	32.5	38	0.0120
	11	33	37	0.0122
	11:30	34	33	0.0118
	12	34.5	31	0.0118
	12:30	34.5	31	0.0116
2	13	35.5	28	0.0110
	13:30	35.5	27	0.0105

continua

continuação

Dia	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa %	Umidade Absoluta (k.vapor/k.ar seco)
	14	35	27	0.0105
	14:30	35	29	0.0106
	15	35	28	0.0105
	15:30	34	30	0.0110
	16	32.5	31	0.0104
	16:30	32	33	0.0106
	17	31	33	0.0100
	9	27	57	0.0140
	9:30	29	47	0.0130
	10	30	44	0.0128
	10:30	32	37	0.0120
	11	33	36	0.0122
	11:30	34	37	0.0133
	12	35	38	0.0145
	12:30	35.5	37	0.0144
3	13	35	37	0.0144
	13:30	35	37	0.0144
	14	35	37	0.0145
	14:30	35	38	0.0146
	15	35.5	37	0.0144
	15:30	33	40	0.0137
	16	31.5	43	0.0136
	16:30	30	48	0.0143
	17	29	50	0.0140
	17:30	27	55	0.0139
	18	24	70	0.0145
4	Interrupção da Secagem			
5	Interrupção da Secagem			

continua

continuação.

Dia	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa %	Umidade Absoluta (k.vapor/k.ar seco)
	11	36.5	47	0.0200
	11:30	36.5	45	0.0190
	12	37	39	0.0170
	12:30	34	53	0.0192
	13	36	54	0.0220
	13:30	38	47	0.0212
	14	35.5	48	0.0195
6	14:30	34	54	0.0200
	15	34.5	50	0.0190
	15:30	32	72	0.0236
	16	33.5	57	0.0204
	16:30	33	56	0.0195
	17	32	57	0.0183
	9	31	53	0.0163
	9:30	32	53	0.0174
	10	33	57	0.0195
	10:30	34	52	0.0190
	11	34.5	55	0.0200
	11:30	36	49	0.0203
	12	38	44	0.0204
	12:30	38	43	0.0194
	13	38	45	0.0205
7	13:30	38	45	0.0205
	14	38.5	44	0.0204
	14:30	38.5	37	0.0176
	15	35.5	46	0.0184
	15:30	29	70	0.0195
	16	29	68	0.0185
	16:30	33	54	0.0187
	17	31.5	56	0.0177

continua

continuação

Dia	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa %	Umidade Absoluta (k.vapor/k.ar seco)
	9	30.5	66	0.0198
	9:30	32.5	56	0.0189
	10	34.5	50	0.0190
	10:30	34.5	48	0.0182
	11	36.5	46	0.0190
	11:30	37	47	0.0200
	12	38	44	0.0204
	12:30	39	42	0.0200
	13:00	39.5	47	0.0228
8	13:30	37	48	0.0208
	14	35.5	52	0.0207
	14:30	35.5	77	0.0315
	15	35.5	77	0.0315
	15:30	38	45	0.0204
	16	38	40	0.0185
	16:30	34.5	53	0.0198
	17	33.5	51	0.0184
	9	30.5	62	0.0188
	9:30	31.5	68	0.0220
	10	34	53	0.0194
	10:30	35.5	47	0.0186
	11	37	44	0.0189
	11:30	37.5	44	0.0197
	12	38	45	0.0204
	12:30	39	43	0.0208
	13	40	40	0.0204
9	13:30	40	40	0.0204
	14	37	46	0.0199
	14:30	38	44	0.0204
	15	38	44	0.0204
	15:30	37	48	0.0204

continua

continuação

Dia	Hora	Temperatura °C	Umidade Relativa %	Umidade Absoluta (k.vapor/k.ar seco)
	16	36.5	45	0.0190
	16:30	35.5	44	0.0178
	17	34	49	0.0183
	10	34	53	0.0194
	10:30	35	48	0.0188
	11	37	39	0.0172
	11:30	37	39	0.0172
	12	37.5	38	0.0169
	12:30	37	39	0.0172
	13	38.5	36	0.0166
10	13:30	39	33	0.0160
	14	39	42	0.0200
	14:30	38.5	39	0.0183
	15	38	35	0.0158
	15:30	37.5	44	0.0195
	16	37	37	0.0155
	16:30	36.5	35	0.0148
	17	33	43	0.0147
11	Interrupção da secagem			
12	Fim da Experiência			

Vazão de ar constante = 6,08 m³/min.t