RESPOSTAS DE SEMENTES DE MILHO, COM DIFERENTES NÍVEIS DE VIGOR, À DISPONIBILIDADE HÍDRICA

ZENÓRIO PIANA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. WALTER RODRIGUES DA SILVA

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Junho - 1994

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

Piana, Zenório

P581r Respostas de sementes de milho, com diferentes
níveis de vigor, à disponibilidade hídrica. Piracicaba, 1994.
107p.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Milho - Semente - Disponibilidade hídrica 2. Milho - Semente - Vigor 3. Semente - Disponibilidade hídrica 4. Semente - Vigor I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.15

**RESPOSTAS DE SEMENTES DE MILHO,
COM DIFERENTES NÍVEIS DE VIGOR,
À DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

ZENÓRIO PIANA

Aprovada em: 29.06.94

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva	ESALQ/USP
Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi	ESALQ/USP
Prof. Dr. Silvio Moure Cicero	ESALQ/USP
Prof. Dr. Roberval Daiton Vieira	FCAVJ/UNESP
Prof. Dr. Nelson Moreira de Carvalho	FCAVJ/UNESP

Prof. Dr. WALTER RODRIGUES DA SILVA
Orientador

*Aos meus queridos pais
Pedro (in memoriam) e
Analice*

OFEREÇO.

*À minha esposa Arlete
e ao meu filho
Matheus*

DEDICO.

"Se tudo fosse o que parece, o pensamento científico seria supérfluo. Duvidar é um dever científico".

"O pesquisador, em princípio, não se fundamenta em nenhuma autoridade cujas decisões ou comunicações poderiam pretender a verdade".

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Meu reconhecimento às pessoas e às instituições que tornaram possível a realização deste trabalho, especialmente:

- Ao Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva, pela orientação permanente, segura, respeitosa e amiga.

- Aos Professores Drs. Décio Barbin e Silvio Sandoval Zocchi, do Depto. de Estatística da ESALQ/USP, pelas efetivas orientações nos trabalhos de análise estatística.

- Aos Professores Drs. Silvio Moure Cícero, Júlio Marcos Filho, Francisco Ferraz de Toledo, Durval Dourado Neto e Luiz Antonio Fancelli, pelos ensinamentos e apoio recebidos.

- Aos Engenheiros Agrônomos, Mestres Helena M.C. Pescarin Chamma e Ana D. da Luz Coelho Novembre, e aos funcionários do Laboratório de Análise de Sementes da ESALQ/USP, pelos auxílios prestados.

- Aos colegas do curso de pós-graduação pela amizade e estímulo.

- Ao Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi, do Depto. de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, pela cessão da área experimental.

- À Sementes AGRO CERES S.A., em especial a pessoa do Engenheiro Agrônomo, M.Sc. Carlos Alberto Ribeiro Gonçalves, pelo fornecimento das sementes utilizadas na pesquisa e participação na concepção do trabalho.

- À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina S.A. - EPAGRI, e à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, pela oportunidade de realização do Curso.

- À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária S.A. - EMBRAPA, pela bolsa de estudos.

- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo apoio financeiro ao trabalho de pesquisa.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiv
SUMMARY	xvi
 1. INTRODUÇÃO	 01
 2. REVISÃO DE LITERATURA	 03
2.1. Potencial hídrico	03
2.2. Disponibilidade hídrica e desempenho de se- mentes	13
2.3. Vigor de sementes	26
 3. MATERIAL E MÉTODOS	 36
3.1. Avaliação da qualidade fisiológica dos lotes em laboratório.....	37
3.1.1. Teste padrão de germinação	37
3.1.2. Determinação do grau de umidade	37
3.1.3. Teste de frio com solo	37
3.1.4. Condutividade elétrica	38

3.1.5. Teste de germinação sob estresse hídrico de -3 atm	38
3.1.6. Comprimento das plântulas em laboratório sob ambientes de hidratação de 0, -3, -6 e -9 atm	39
3.2. Avaliação da qualidade fisiológica dos lotes no campo	40
3.2.1. Teste de emergência das plântulas	42
3.3. Procedimento estatístico	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1. Avaliação da qualidade fisiológica dos lotes em laboratório	49
4.2. Avaliação da qualidade fisiológica dos lotes no campo	64
4.3. Correlações entre os testes da avaliação da qualidade fisiológica dos lotes em laboratório e no campo	74
4.4. Discussão geral	85
5. CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Curva de retenção de água, no solo experimental, determinada por MORAES (1991). Relação funcional entre o teor de água do solo (θ , $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3},\%$) e o potencial mátrico (Ψ_m , atm). Parâmetros empíricos referentes ao modelo de VAN GENUCHTEN (1980)	41
2	Distribuição dos dados de comprimento das plântulas (mm), de 60 lotes de sementes de milho. Dados obtidos em laboratório sob quatro ambientes de hidratação (0, -3, -6 e -9 atm)	62
3	Comprimento das plântulas (mm), de 60 lotes de sementes de milho das safras agrícolas 1989/90 (lotes 1-20), 1990/91 (lotes 21-40) e 1991/92 (lotes 41-60). Dados obtidos em laboratório sob quatro ambientes de hidratação (0, -3, -6 e -9 atm)	63
4	Distribuição dos dados de emergência das plântulas (%) de 60 lotes de sementes de milho. Dados obtidos em campo sob quatro ambientes de hidratação no solo (-0,1, -0,5, -15 e inferior a -15 atm)	68

5	Emergência das plântulas (%), de 60 lotes de sementes de milho, das safras agrícolas 1989/90 (lote 1-20), 1990/91 (lotes 21-40) e 1991/92 (lotes 41-60). Dados obtidos em campo sob quatro ambientes de hidratação no solo (-0,1, -0,5, -15 e inferior a -15 atm)	73
---	---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
1	Dados meteorológicos de precipitação plu- vial (P, mm/dia), umidade relativa do ar (UR, %), temperaturas máximas (Tmax, °C), mínima (Tmin, °C) e média (T, °C) e evapo- ração do Tanque USWB Classe A (ECA, mm/ dia), referentes ao período de 01 de agos- to a 10 de setembro de 1992, obtidos no Posto Agrometeorológico da ESALQ/USP, em Piracicaba, SP	43
2	Esquema estatístico empregado na análise dos dados obtidos nos testes de laborató- rio	45
3	Esquema da análise de correlação entre os dados dos testes considerando o conjunto de 60 lotes	45
4	Esquema da análise de correlação entre os dados dos testes, considerando 3 conjuntos de 20 lotes (safras 1989/90, 1990/1991 e 1991/92)	46
5	Avaliação da qualidade fisiológica em la- boratório: dados médios obtidos nos testes padrão de germinação (%) e de frio(%)	51
6	Frequência numérica das classes de vigor, para 60 lotes, de sementes de milho, ava- liados pelo teste de frio	54

7	Avaliação da qualidade fisiológica em laboratório: dados médios obtidos nos testes de condutividade elétrica ($\mu\text{mhos/cm/g}$) e de germinação sob estresse hídrico de -3 atm (%)	56
8	Avaliação da qualidade fisiológica em laboratório: dados médios (mm) do comprimento de plântulas relativos aos efeitos de ambientes de hidratação de 0, -3, -6 e -9 atm.	59
9	Avaliação da qualidade fisiológica no campo: dados médios (%) da emergência de plântulas relativos aos efeitos de ambientes de hidratação de -0,1 atm, -0,5 atm, -15 atm e inferior a -15 atm	65
10	Coeficientes de correlação simples (r) entre os testes de germinação (G), de frio (F), de condutividade elétrica (CE), de germinação sob estresse hídrico de -3 atm (GE), de comprimento de plântulas (CP) e de emergência no campo (E). Foram considerados 60 lotes provenientes das safras de 1989/90, 1990/91 e 1991/92)	75
11	Coeficientes de correlação simples (r) entre os testes de germinação (G), de frio (F), de condutividade elétrica (CE), de germinação sob estresse hídrico de -3 atm (GE), de comprimento de plântulas (CP) e de emergência no campo (E). Foram considerados 20 lotes provenientes da safra 1989/90)	81

TABELA

Página

12	Coeficientes de correlação simples (r) entre os testes de germinação (G), de frio (F), de condutividade elétrica (CE), de germinação sob estresse hídrico de -3 atm (GE), de comprimento de plântulas (CP) e de emergência no campo (E). Foram considerados 20 lotes provenientes da safra 1990/91)	82
13	Coeficientes de correlação simples (r) entre os testes de germinação (G), de frio (F), de condutividade elétrica (CE), de germinação sob estresse hídrico de -3 atm (GE), de comprimento de plântulas (CP) e de emergência no campo (E). Foram considerados 20 lotes provenientes da safra 1991/92)	83

RESPOSTAS DE SEMENTES DE MILHO, COM DIFERENTES NÍVEIS DE VIGOR, À DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Autor: Zenório Piana

Orientador: Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva

RESUMO

Objetivando estudar a relação existente entre o desempenho das sementes de milho e a disponibilidade hídrica, o presente trabalho foi desenvolvido empregando substratos, com potenciais hídricos variáveis, em estudos de laboratório e de campo.

A qualidade fisiológica das sementes de 60 lotes do cultivar AG 303, das safras agrícolas 1989/90, 1990/91 e 1991/92, foi avaliada, em laboratório, através dos testes padrão de germinação, de frio, de condutividade elétrica e de germinação sob estresse hídrico de -3 atm. Foi conduzido, ainda em laboratório, teste de comprimento de plântulas sob potenciais hídricos de 0, -3, -6 e -9 atm.

No campo, as sementes foram expostas à potenciais hídricos no solo de -0,1, -0,5, -15 e inferior a -15 atm para a avaliação da porcentagem de emergência de plântulas.

A reunião das informações coletadas permitiu as seguintes conclusões:

- A deficiência hídrica retarda o desenvolvimento das plântulas durante a germinação das sementes de milho. Sementes, com vigor mais elevado, apresentam desempenho superior nessa condição.

- O potencial hídrico de $-0,5$ atm, no solo, possibilita emergência superior às sementes de milho.

- Os testes, de frio e de germinação sob estresse hídrico de -3 atm, podem ser usados para estimar o desempenho das sementes de milho em situações desfavoráveis de disponibilidade hídrica no solo.

RESPONSES OF CORN (*Zea mays* L.) SEEDS WITH DIFFERENT LEVELS OF VIGOR TO WATER AVAILABILITY

Author: Zenório Piana

Adviser: Prof. Dr. Walter Rodrigues da Silva

SUMMARY

An investigation was carried out under laboratory and field conditions in order to study the relationship between corn seeds performance and water availability.

Physiological quality of seeds from 60 lots, cultivar AG 303, yields of 1989/90, 1990/91 and 1991/92, used in the investigation, were evaluated in laboratory using the following tests: standard germination, cold, electrical conductivity and germination with hydric stress of -3 atm. A seedling length test was also carried out in laboratory. The seeds were subject to four hydric potentials: 0, -3, -6 and -9 atm. Under field conditions the seed lots were exposed to four hydric potentials: -0.1, -0.5, -15 and less than -15 atm, in order to evaluate the field emergence.

The analysis of the results allowed the following conclusions:

- The water deficit delays the seedling development during germination. Corn seeds, with high vigor, presented higher performance under this condition.

- The hydric potential of $-0,5$ atm in soil allows a higher corn seeds emergence.

- The cold test and the germination test, with hydric stress of -3 atm, can be used to estimate the behavior of seed lots under adverse conditions of water availability in the soil.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade, a quantidade e a distribuição da água sobre a terra, o relevo desuniforme dos solos e o custo econômico da irrigação não permitem o uso generalizado da água na agricultura. Assim, grande parte das culturas de expressão econômica são semeadas em solos sem controle de água havendo, em determinados anos, problemas de déficit hídrico no solo por ocasião da época de semeadura e, com isso, o estabelecimento de populações inadequadas de plantas por área com consequente redução na produtividade.

O período do desenvolvimento vegetativo, compreendido entre a semeadura e a emergência das plântulas, representa fase crítica do ciclo das plantas. A uniformidade e a percentagem de emergência relacionam-se, diretamente, com a produtividade, principalmente em espécies com baixa capacidade biológica de compensação das falhas populacionais.

As informações fornecidas pelo teste de germinação, para a avaliação da qualidade fisiológica das

sementes, têm se mostrado insuficientes para, isoladamente, estimar o desempenho nas condições de campo. O teste de frio, empregado rotineiramente com a finalidade de complementar as informações do teste de germinação em sementes de milho, foi concebido procurando simular as condições de semeadura em solos que apresentem alto teor de água e baixa temperatura. As condições ambientais de expressiva parcela da área cultivada com o milho no Brasil, contudo, não apresentam, normalmente, limitações térmicas e determinam problemas de déficit hídrico na semeadura. Assim sendo, é conveniente o estudo do comportamento do vigor das sementes em condições de solo com baixa disponibilidade hídrica.

Supondo que as sementes mais vigorosas de milho possam tolerar maiores estresses hídricos, existe a possibilidade de serem desenvolvidos estudos no sentido de elucidar esta hipótese.

Assim, este trabalho objetivou estudar as respostas das sementes de milho, com diferentes níveis de vigor, em diferentes situações de disponibilidade hídrica em laboratório e no campo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A velocidade e a uniformidade de emergência das plântulas dependem do vigor das sementes e das condições do ambiente. Por ocasião da época de semeadura, geralmente, as condições térmicas não são limitantes ao processo germinativo. No entanto, ocorrem, com frequência, problemas relacionados à disponibilidade hídrica (GOMES, 1982). Tanto a água do substrato, quanto o vigor das sementes são agentes ativos do processo de estabelecimento de plântulas no solo; assim sendo, o conhecimento sobre o assunto se reveste de importância para o entendimento das possíveis interrelações entre ambos.

2.1. Potencial hídrico

Quando dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio se unem para a formação da molécula de água, os elétrons se distribuem de tal forma que a estrutura resultante é estável e não reativa (SUTCLIFFE, 1980). Embora

a molécula, como um todo, seja eletricamente neutra, os dois hidrogênios estão ligados ao átomo de oxigênio, formando um ângulo, de aproximadamente 105° , em ligação responsável por desequilíbrio das cargas elétricas na molécula. Esta distribuição assimétrica, de cargas, cria dipolo elétrico relacionado com uma série de propriedades físico-químicas da molécula de água. Devido à polaridade, as moléculas de água orientam-se formando estruturas. Cada hidrogênio de uma molécula, atraído pelo oxigênio da molécula vizinha, forma uma ligação secundária denominada ligação de hidrogênio. A ligação de hidrogênio possui energia de ligação mais fraca do que a ligação intramolecular do oxigênio com o hidrogênio. Consequentemente, a água constitui-se de uma cadeia de moléculas unidas por ligações de hidrogênio (REICHARDT, 1985). Em função da polaridade da molécula, a água é um solvente eficiente ; é adsorvida por superfícies sólidas ou hidrata íons e colóides.

Para possibilitar um entendimento amplo das relações hídricas, surgiu a necessidade de ser estabelecida uma medida de potencial de água que explicasse o seu movimento no solo, na planta e na atmosfera. Desse modo, SLATYER & TAYLOR (1960) propuseram que o potencial químico da água fosse empregado como base para explicar o comportamento físico da água no sistema solo-planta-atmosfera. Definiram o potencial químico como sendo equivalente à diferença entre o potencial encontrado, em qualquer ponto do sistema, e o

potencial da água pura e livre sob mesmas temperatura e pressão. Sugeriram, ainda, que o potencial da água pura e livre, em condição padrão de temperatura e pressão, fosse considerado como zero. O estabelecimento do conceito de potencial de água permitiu que os estudos, sobre a embebição das sementes e a retenção de água pelo solo, anteriormente estudados de modo isolado, fossem considerados dentro dos mesmos conceitos básicos (KRAMER et al., 1966).

O potencial hídrico (Ψ) é uma medida da capacidade da água executar trabalho; sua tendência natural é fluir de uma região onde possui maior energia para uma de menor energia (BEWLEY & BLACK, 1985 e AWAD & CASTRO, 1989). O potencial hídrico pode ser expresso em unidades de energia (joule e erg) passíveis de conversão para unidades de pressão: $\text{erg} \times \text{cm}^{-3} = 10^{-4} \text{ joule} \times (\text{kg.H}_2\text{O})^{-1} = 10^{-4} \text{ bar} = 0,0987 \times 10^{-4} \text{ atm}$ (LABOURIAU, 1983). Atualmente, o emprego da unidade de pressão em Pascal (Pa), bar ou atmosfera (atm) tem sido comum. Em termos relativos, essas unidades apresentam a seguinte equivalência: $1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar} = 9,87 \text{ atm}$ (SUTCLIFFE, 1980; SALISBURY & ROSS, 1985). As variações da quantidade de água no solo promovem oscilação de Ψ em uma escala negativa de valores (BEWLEY & BLACK, 1985).

O potencial osmótico (Ψ_o), refere-se ao nível de energia da água na solução. Neste caso, o potencial osmótico é inversamente proporcional à concentração de solutos na solução, ou seja, quanto maior a concentração de

solutos menor e mais negativo o potencial resultante. Essa redução se deve às interações entre a água bipolar e os solutos (ions ou moléculas com cargas positivas ou negativas) que tornam as moléculas de água menos livres para executar trabalho ou movimento (SALISBURY & ROSS, 1985 e AWAD & CASTRO, 1989). O potencial mátrico (Ψ_m), resulta da interação entre a água e uma matriz (argilas, proteínas ou polissacarídeos de paredes celulares). Estas superfícies, geralmente, têm carga negativa que atrai o lado positivo da molécula de água (SALISBURY & ROSS, 1985 e AWAD & CASTRO, 1989). Mesmo superfícies que não tenham cargas, como as do amido, se unem à água através das pontes de hidrogênio. O processo pelo qual a água é adsorvida por uma matriz, chamado de hidratação, é responsável pela primeira fase de absorção de água pelas sementes na germinação. Um colóide seco, ou uma superfície hidrofílica como papel de filtro, madeira, solo e gelatina, geralmente têm potencial mátrico extremamente negativo (ao redor de -2.960 atm); o mesmo material saturado de água pura (em equilíbrio com a água) tem potencial mátrico igual a zero (SALISBURY & ROSS, 1985).

O potencial de pressão (Ψ_p), origina-se de uma força resultante da pressão exercida pela solução celular sobre a parede da célula em função da absorção e da retenção de água, sob a influência do potencial osmótico, que gera, por parte da parede celular, uma pressão igual de sentido oposto (BEWLEY & BLACK, 1985 e AWAD & CASTRO, 1989).

Com o desenvolvimento do conceito de potencial de água, tornou-se possível considerar a embebição das sementes dentro dos mesmos conceitos básicos de osmose (SUTCLIFFE, 1980). Assim, as relações hídricas entre sistemas, como por exemplo a semente e o ambiente (substrato artificial ou solo), puderam ser entendidas quanto ao movimento da água que, por sua vez, passou a ser explicado como função do valor do Ψ definido quantitativamente pela seguinte expressão: $\Psi = \Psi_m + \Psi_o + \Psi_p$ (LABOURIAU, 1983).

O potencial de água no solo é composto, principalmente, pelo potencial mátrico, que inclui as forças de capilaridade e de adsorção, e pelo potencial osmótico causado pelos sais presentes. Um terceiro componente, o potencial gravitacional, não é considerado na relação solo-semente para as sementes porque, no caso de organismos vivos que absorvem água do solo, é igual a zero (POPINIGIS, 1977).

De um modo geral, o potencial matricial (Ψ_m) é o resultado do efeito combinado de dois mecanismos, a capilaridade e a adsorção, que não podem ser facilmente separados. A descrição matemática do Ψ_m é complexa e sua determinação é, normalmente, experimental. O Ψ_m tem valor característico, para cada teor de água (θ), em uma amostra de solo homogêneo. Assim, experimentalmente, em função de θ e Ψ_m , obtém-se a "curva característica da umidade do solo" ou, simplesmente, a "curva de retenção". Conhecendo-se esta curva, pode ser estimado Ψ_m , sabendo-se o valor de θ , ou

vice-versa. Na prática, pode-se determinar θ , de tal forma que θ é medido e Ψ_m estimado pela curva de retenção. O Ψ_m pode ser medido diretamente no solo através de instrumentos, dentre os quais cita-se o tensiômetro (REICHARDT, 1985).

O Ψ_o está associado à presença de sais solúveis na água. No solo, pode ser definido como a energia que uma quantidade de água, em um sistema solo-água, possui em relação à energia da água em um outro sistema em equilíbrio, idêntico em todos os aspectos ao primeiro, exceto por não possuir solutos. Em outras palavras, o fenômeno da passagem de moléculas de água através de uma membrana semi-permeável, que separa a água pura de uma solução, é conhecido como osmose e a pressão que deve ser aplicada à solução para evitar a osmose é chamada de pressão osmótica. Assim, o Ψ_o da água, em determinado sistema, é igual à pressão osmótica com o sinal trocado (LIBARDI, 1984).

Semelhante à curva característica da umidade do solo, pode ser estabelecida a curva de osmose para diferentes soluções. MICHEL (1983) estabeleceu curvas para soluções de polietileno glicol 8.000, utilizando psicrômetro termopar e osmômetro de pressão de vapor.

No solo, o potencial mátrico da água varia com a textura. Quanto mais fina, maior percentagem de água o solo reterá, devido ao maior conteúdo de colóides, maior espaço poroso capilar e maior superfície de adsorção. Quando o solo é saturado de água, o excesso é drenado pela força de

gravidade (água gravitacional); terminada a drenagem, o potencial hídrico situa-se entre $-0,1$ e $-0,3$ atm, definindo a condição hídrica do solo em capacidade de campo. A partir deste ponto, com o passar do tempo, o potencial de água do solo diminui progressivamente, a uma velocidade variável com os fatores ambientais, tais como textura e temperatura do solo, condutividade hidráulica, composição e estrutura do perfil do solo, umidade relativa e movimento do ar (REICHARDT, 1985).

A condição de solo saturado define o potencial hídrico (Ψ_s) nulo do solo convencionalmente considerado para caracterizar o estado da água pura e totalmente livre (HEGARTY, 1977; YOUNG et al., 1983 e BEWLEY & BLACK, 1985).

As variações da quantidade de água no solo promovem oscilações do Ψ_s em uma escala negativa de valores. Desse modo, a secagem de um solo conduz o Ψ_s a valores progressivamente mais negativos e, portanto, mais baixos, como resultado da expressão das forças de atração entre a molécula dipolar da água e as cargas elétricas, positivas ou negativas, existentes no solo (GRAY & STECKEL, 1976 e YOUNG et al., 1983). Da mesma forma, a adição de íons ao solo, como acontece na adubação, coopera para a redução do Ψ_s (GRAY, 1975 e GRAY & STECKEL, 1976). Numa solução, por sua vez, quanto maior a quantidade de soluto adicionado à água, mais negativo se torna o Ψ_o .

Tendo em vista as dificuldades experimentais para manter controle satisfatório da umidade do solo em condições de campo (PARMAR & MOORE, 1968; AOSA, 1983), têm sido utilizadas, em laboratório, soluções osmóticas de cloreto de sódio, glicerol, sacarose, polietileno glicol (PEG) e manitol visando simular o potencial hídrico do solo (PARMAR & MOORE, 1968 e SHARMA, 1973).

Segundo SHARMA (1973), a velocidade de germinação é afetada pela grandeza do potencial hídrico e pela espécie vegetal, independentemente da natureza do produto (NaCl, manitol e PEG). Contudo, MACHADO et al. (1976) demonstraram que o manitol é mais efetivo do que o NaCl para induzir deficiência de água durante a germinação; as soluções salinas (NaCl, $MgSO_4$ e KNO_3) penetram nas sementes e alteram o seu potencial hídrico (PRISCO & O'LEARY, 1970 e BEWLEY & BLACK, 1985), além de promover efeitos tóxicos (PRISCO & O'LEARY, 1970). O uso do manitol pode apresentar inconvenientes em função de sua aparente penetração no interior das células e, dessa forma, alterar o gradiente de potencial pretendido (MANOHAR, 1966 e BEWLEY & BLACK, 1985); ainda, segundo JACKSON (1965), o manitol causa prejuízos ao alongamento de pêlos radiculares.

As vantagens do emprego do PEG em relação a outros produtos, para manter valores pré-determinados de potenciais de água, têm sido amplamente divulgadas. O PEG, quimicamente inerte, não iônico, de alto peso molecular, com

longa cadeia de polímeros (STEUTER et al., 1981), não penetra pela parede celular (KNYPL & KHAN, 1981 e BEWLEY & BLACK, 1985) e não apresenta evidências de toxicidade (MANOHAR & HEYDECKER, 1964; PARMAR & MOORE, 1968; BEWLEY & BLACK, 1985).

Há ampla disponibilidade de pesos moleculares nos solutos de polietileno glicol. Para evitar a possibilidade das sementes absorverem o soluto, são empregados os de maiores pesos moleculares (SHARMA, 1973). O PEG 20.000, de alto peso molecular, é o mais desejável (LAGERWERFF et al., 1961); contudo, em função de sua densidade e viscosidade, podem surgir problemas de aeração além das dificuldades operacionais no seu manuseio (HADAS, 1976). RUF Jr. et al. (1963) sugerem que o PEG de alto peso molecular possa introduzir alumínio na solução, causando efeito tóxico nas plantas.

O polietileno glicol tem sido largamente usado na indústria farmacêutica, em solventes, pomadas, geléias e em bases para cosméticos. Apresenta classe toxicológica baixa, tanto para toxicidade aguda como crônica, quando ministrado por via oral ou por injeção em animais, inclusive no homem (Smyth et al., 1955¹ citados por JACKSON, 1962).

¹ SMITH, H.F.; CARPENTER Jr., C.P.; SHAFFER, C.B. *Journal American Pharmacology Association*, 44: 27-30, 1955.

Assim, o produto mais generalizadamente adotado para simular potencial hídrico em laboratório tem sido o polietileno glicol de fórmula geral $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_n\text{CH}_2\text{OH}$. A inércia química e a ausência de toxicidade sobre as plantas têm permitido a sua recomendação, para os estudos que requeiram o controle da hidratação das sementes (MANOHAR, 1966; PARMAR & MOORE, 1968; PRISCO & O'LEARY, 1970; YOUNG et al., 1983 e TONKIN, 1985). A calibração da concentração das soluções com PEG, visando atingir potenciais hídricos predeterminados, foi proposta por WALDREN & MANBEIAN (1970) e por MICHEL & KAUFMANN (1973), permitindo facilidades aos usuários dessa técnica. Como observação particular, em seu comportamento, foi notada uma variação no potencial hídrico, para uma mesma concentração, em temperaturas diferentes (MICHEL & KAUFMANN, 1973). VILLELA et al. (1991) construíram uma tabela de potencial hídrico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura, a partir do trabalho de MICHEL & KAUFMANN (1973).

A simulação de deficiência hídrica, imposta pela utilização de soluções osmóticas com elevadas concentrações, produz efeitos menos drásticos sobre as plantas do que situações de solo com mesma disponibilidade hídrica (COLLIS-GEORGE & SANDS, 1962; MANOHAR & HEYDECKER, 1964; KAUFMANN, 1969 e SÁ, 1987). No entanto, em potenciais pouco negativos, os valores obtidos para germinação em

soluções osmóticas de diferentes potenciais hídricos, em relação aos diferentes potenciais matriciais da água no solo, apresentam a mesma tendência (SÁ, 1987). Para SHARMA (1973), na faixa de potencial hídrico de 0 a -21,7 atm, os efeitos do potencial osmótico do PEG 6.000 são equivalentes aos do potencial mátrico, durante a germinação, especialmente sob condições de contato solo/semente sem limitações ao movimento da água. Assim, tendo em vista as facilidades experimentais proporcionadas, o PEG 6.000 é recomendado para estudos que requeiram o controle da hidratação das sementes e a simulação de estresse hídrico.

2.2. Disponibilidade hídrica e desempenho de sementes

A água é o fator que exerce a mais determinante influência sobre o processo de germinação (TOLEDO & MARCOS FILHO, 1977; CARVALHO & NAKAGAWA, 1988; PIANA, 1991). Assim, as suas propriedades se revestem de importância para o entendimento do processo de germinação das sementes e posterior desenvolvimento das plantas.

A semente, após ter atingido a maturidade, passa por um período durante o qual o desenvolvimento e o crescimento do embrião permanecem em latência, fenômeno designado como "criptobiose" (LABOURIAU, 1983; MARCOS FILHO,

1986}). O ressurgimento dessas atividades, estabelece o início do processo de germinação com a absorção de água pelas sementes (POPINIGIS, 1977; BEWLEY & BLACK, 1983; CARVALHO & NAKAGAWA, 1983; LABOURIAU, 1983; YOUNG et al., 1983; BEWLEY & BLACK, 1985).

A embebição de água, na semente madura viável e não dormente, promove reativação dos sistemas metabólicos existentes, suplementada pela síntese de novos componentes, que conduzem à divisão e à expansão celular, e conseqüente crescimento da plântula. A mobilização de substâncias de reserva é um componente essencial deste último evento; mudanças quantitativas e qualitativas em enzimas catabólicas, particularmente nos órgãos de reserva, são eventos comumente observados (KERMODE et al., 1986).

Durante o processo de germinação, a absorção de água ocorre em duas fases, de expressiva hidratação, separadas por outra de aparente repouso. A primeira fase, aparentemente relacionada a um processo tipicamente físico, acha-se associada com a embebição e, a segunda, com o crescimento da radícula (HEGARTY, 1977).

BEWLEY & BLACK (1985), por sua vez, admitem que a absorção de água se dá em 3 fases: na fase I o processo de embebição é passivo. O movimento da água, para o interior da semente, é devido à diferença entre os potenciais da água da semente e do substrato. Geralmente, o potencial em sementes secas é menor do que o de solos úmidos, o que faz

com que a água, movimentando-se no sentido do menor potencial, penetre na semente (YOUNG et al., 1983).

A absorção de água, nesta fase, ocorre como consequência do potencial matricial dos vários tecidos da semente e, por isso, independe da semente estar dormente (exceto na dormência por impermeabilidade do tegumento à água) ou morta. A fase I é rápida: em amendoim, por exemplo, CARVALHO & SPINA (1981) observaram ser de 1 a 2 horas.

Na fase II a semente, praticamente, não absorve água; as sementes mortas ou dormentes não avançam no processo além deste ponto.

A fase III é de absorção ativa de água; só é atingida pelas sementes não dormentes e vivas. O embrião, com células em formação e crescimento, volta a exigir a absorção de expressiva quantidade de água.

O potencial desenvolvido pelas sementes para retirar água do solo é variável com a espécie e, usualmente, baixo. O milho tem dificuldade para retirar água do solo em potenciais inferiores a -12,5 atm, a soja a -6,5 atm (HUNTER & ERICKSON, 1952) e o nabo a -15 atm (WILLIAMS & SHAYKEWICH, 1971). Embora não haja citação pelos autores mencionados, isto deve ocorrer a partir da fase III.

Segundo BEWLEY & BLACK (1985), bioquimicamente, a fase I se caracteriza pelo início da degradação das substâncias de reserva. Essas substâncias (carboidratos, proteínas, lipídios) deverão nutrir o crescimento do eixo embrionário até que a plântula resultante tenha um sistema

radicular capaz de retirar do solo os nutrientes necessários.

Quando a semente atinge teores de água entre 25 e 40%, tem início a fase II. Esta é uma fase em que, aparentemente, ocorre um transporte ativo das substâncias, desdobradas na fase anterior, dos tecidos de reserva para os tecidos meristemáticos. O eixo embrionário, contudo, não obstante estar recebendo nutrientes, ainda não consegue crescer. Outra característica desta fase é a de que a semente reduz, apreciavelmente, a velocidade de absorção de tal forma que os aumentos, no conteúdo de água, são muito pequenos à medida em que passa o tempo. A duração desta fase é 8 a 10 vezes superior à da fase I.

A partir dos teores de água de 40% (sementes endospermáticas) e de 50% (sementes cotiledonares) a semente volta a absorver água e a respirar intensamente. Deste ponto em diante tem início o crescimento visível da radícula: inicia-se a fase III da germinação. Bioquimicamente, é caracterizada pelo fato das substâncias, desdobradas na fase I e transportadas na II, serem reorganizadas em substâncias complexas para formar o citoplasma, o protoplasto e as paredes celulares, o que permite o crescimento da plântula. Evidentemente, o início de uma nova fase não inibe a ocorrência da anterior; assim, quando a fase III se inicia, a semente em germinação apresenta, simultaneamente, as três fases (BEWLEY & BLACK, 1985).

Para o crescimento da radícula, é necessário que ocorram a divisão e a expansão celular de forma isolada ou simultânea (BERLYN, 1972). ROGAN & SIMON (1975) descreveram um crescimento radicular, inicialmente lento, acelerado com o início da mitose. A coincidência entre a divisão e a elongação celulares tem sido encontrada em aveia, em tomate e em alface a 26°C (HEGARTY, 1978). Contudo, HABER & LUIPPOLD (1960), observaram que a divisão e a elongação celular não são, necessariamente, sincronizadas, podendo ser descompassadas pela ação de temperaturas baixas (10°C, retardando a mitose) ou por estresses hídricos (-9,9 a -12,8 atm, atrasando a elongação). A protusão da radícula pode ser devida à elongação celular combinada com a divisão celular ou, unicamente, à elongação celular (HEGARTY, 1978).

A abundante disponibilidade de água propicia, à semente, maior velocidade de embebição. Neste caso, sob condições aeróbicas, a emergência da radícula ocorre precocemente e em teor de água mais elevado. Sementes de ervilha (*Pisum sativum* L.) tiveram prazo médio de germinação menor quando a disponibilidade de água foi proporcionada em tensão de 0 atm (GULLIVER & HEYDECKER, 1973). Em condições anaeróbicas, o excesso de água é prejudicial à semente.

Considerando o solo como substrato, a presença de água, em Ψ próximo ou igual a zero, não é favorável para as espécies desprovidas de mecanismos especiais de transporte de oxigênio (p.ex., aerênquima). Nestas condições são

detectáveis prejuízos provenientes das dificuldades de aeração, com conseqüente carência de oxigênio (NIJËNSTEIN, 1985), ou danos embrionários provocados por embebição demasiadamente rápida (PESKE & DELOUCHE, 1985). A expressão, dos citados prejuízos, tem sido revelada por retardamento do desenvolvimento radicular (GRABLE & DANIELSON, 1965), redução da taxa de emergência (PESKE & DELOUCHE, 1985) e elevação da incidência de microrganismos nas sementes em germinação (NORTON, 1986; SÁ, 1987).

Conforme COPELAND (1976), o solo, em situação de capacidade de campo, possibilita a máxima germinação. No entanto, a germinação ocorre em teores de água do solo situados entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (DONEEN & MacGILLIVRAY, 1943). Em solos excessivamente úmidos ou secos, a água pode retardar ou inibir a germinação de sementes de várias espécies. Segundo alguns autores, o teor de água do substrato, mais favorável para a emergência das plântulas, situa-se na faixa de 40 a 60% da capacidade de saturação do solo (RAZERA, 1982 e PIANA et al., 1993).

A disponibilidade hídrica é vista como uma limitação para o cultivo, em especial nas regiões tropicais, uma vez que, sob o aspecto térmico, as plantas não sofrem restrições acentuadas nas épocas normais de semeadura (GOMES, 1982). Por esse motivo, as escolhas da espécie, do cultivar e da época de semeadura têm considerado a água como fator seletivo (WILLIAMS et al., 1967; MAGALHÃES & CARELLI, 1972;

MACHADO et al., 1976; MUCHENA & GROGAN, 1977; GOMES et al., 1980 e ADEGBUYI et al., 1981).

A presença de água, apesar de reconhecidamente interveniente nos estádios adiantados do desenvolvimento vegetal, como por exemplo na iniciação floral, fertilização e enchimento de grãos (SILVA & ANTUNES, 1980 e MAGALHÃES & SILVA, 1987), constitui fator crítico na fase de germinação das sementes de milho (FANCELLI, 1990).

As sementes têm potenciais hídricos extremamente reduzidos; em milho, por exemplo, foram encontrados valores de -3.950 atm (SHAYKEWICH, 1973), inferiores aos da maioria dos solos agricultáveis. Este fato garante, inicialmente, a entrada de água na semente que, paulatinamente, eleva a sua difusão interna pela ampliação da área e redução de bloqueios nas vias de fluxo (SHAYKEWICH, 1973 e YOUNG et al., 1983). Após a fase inicial de absorção, os potenciais hídricos da semente e do solo tendem a ficar muito próximos; assim, o fluxo inicialmente estabelecido pode ser alterado por quaisquer reduções do Ψ (YOUNG et al., 1983) ou por problemas na condutividade hidráulica do solo (COLLIS-GEORGE & HECTOR, 1966).

Dessa maneira, quando considerada a dinâmica própria da natureza, admite-se que a semente depositada no solo necessite conviver com sucessivos ciclos de hidratação e secagem, conforme forem ocorrendo variações na disponibilidade hídrica (HEGARTY, 1977).

A velocidade de absorção de água pelas sementes decresce com a redução do Ψ (PARMAR & MOORE, 1968; PIANA, 1980; PESKE & DELOUCHE, 1985; BRADFORD, 1986; SÁ, 1987; SILVA, 1989; SHIOGA, 1990), o que vem ampliar o período necessário para que seja atingido o teor mínimo de água requerido para o início da emergência da radícula (HUNTER & ERICKSON, 1952; PHILLIPS, 1968; LABOURIAU, 1983; CARVALHO & NAKAGAWA, 1983; SILVA, 1989 e SHIOGA, 1990).

No ambiente, a partir de 80% de umidade relativa do ar, o que corresponde a um potencial de água na atmosfera de -305 atm à temperatura de 27°C (REICHARDT, 1985), as sementes de milho tendem a absorver água do ar com velocidade superior à verificada sob umidades relativas baixas (POPINIGIS, 1977). Quando a umidade relativa do ar é de 89,5%, o potencial de água aumenta para -1,5 atm (HEGARTY, 1978). Num solo seco, a umidade relativa nos espaços vazios é sempre superior a 90%, o que ocasiona uma variação no teor de água das sementes. Em soja, foi observada variação de 10 para 25% no teor de água, após a permanência das sementes por 12 dias em solo seco (FRANÇA NETO et al., 1985).

A absorção de água pela semente, em termos de velocidade e quantidade, depende de vários fatores como o teor de água e a natureza do material de reserva da semente, a temperatura e a disponibilidade de água no ambiente, e a diferença de potencial hídrico entre a semente e o meio.

Normalmente, o potencial hídrico de uma semente madura e seca é muito negativo, da ordem de -3.950 atm para milho, devido ao seu potencial mátrico. Com a absorção de água, esse potencial diminui rapidamente para cerca de -1,0 atm, quando há a emissão da raiz primária (BEWLEY & BLACK, 1983).

PHILLIPS (1968) observou que, em soja, o tempo requerido para a semente absorver água suficiente para o início da emergência da raiz (50% de água) foi de 95h a -15 atm, 52h a -3 atm, 42h a -1 atm e 30h a -0,3 atm. SILVA (1989), trabalhando com milho, cujo teor de água da semente para o início da emergência radicular foi de 28%, encontrou tempos de 72h a -12 atm, 48h a -9 atm, 24h a -6 atm e menos de 24h a 0 atm.

De maneira geral, a redução progressiva do Ψ apresenta tendências de redução na porcentagem e nas velocidades de germinação e de emergência (HUNTER & ERICKSON, 1952; COLLIS-GEORGE & SANDS, 1962; COLLIS-GEORGE & HECTOR, 1966; PARMAR & MOORE, 1968; McWILLIAM & PHILIPPS, 1970; DASBERG & MENDEL, 1971; MAGALHÃES & CARELLI, 1972; ARNOLD, 1974; EL-SHARKAWI & SPRINGEL, 1977; PIANA, 1980; ADEGBUYI et al., 1981; THERIOS, 1982; YOUNG et al., 1983; PESKE & DELOUCHE, 1985; BRADFORD, 1986 e SÁ, 1987).

A inibição plena da germinação acontece em potenciais hídricos que variam com a espécie e o cultivar, o que exige pesquisas especialmente dirigidas à sua definição;

apesar disso, valores ao redor de -8 atm são considerados como adequados para a maior parte das espécies cultivadas (YOUNG et al., 1983). A título de exemplo, podem ser citados resultados de $-7,5$ a $-9,9$ atm para gramíneas forrageiras (WATT, 1982), de $-12,5$ atm para milho (HUNTER & ERICKSON, 1952), de $-17,8$ atm para milho (MUCHEMA & GROGAN, 1977) e de $-9,9$ atm para sorgo, trigo, cevada e milho (BODSWORTH & BEWLEY, 1981). Essa diferença de valores de Ψ , para o milho, deve-se às metodologias utilizadas nos estudos, que variaram quanto ao período de condução dos testes, ao tipo de substrato utilizado, ao tamanho e ao vigor das sementes. Assim, as informações da literatura não são consistentes quanto às condições ótimas e mínimas de Ψ para a germinação das sementes.

Muito embora seja notada carência de pesquisas, que associem os efeitos da disponibilidade hídrica e da temperatura com a germinação das sementes (LABOURIAU, 1983 e YOUNG et al., 1983), os resultados encontrados sugerem que, sob temperaturas ótimas, o déficit hídrico é mais tolerado; da mesma maneira, quando garantido o suprimento adequado de água, as variações de temperatura para limites fora do ideal são menos acusadas pelas sementes (SPRINGFIELD, 1966; TADMOR et al., 1969).

A resposta das sementes, colocadas para germinar sob deficiência hídrica, tem se mostrado dependente da qualidade fisiológica e do tamanho individual das mesmas.

Em geral, menor qualidade fisiológica (PARMAR & MOORE, 1968; MATTHEWS & POWELL, 1986; SÁ, 1987) e maiores tamanhos (EDWARDS & HARTWIG, 1971; MUCHENA & GROGAN, 1977; PIANA, 1980 e RAZERA, 1982) têm sido associados aos piores desempenhos nessa condição.

Excesso ou falta de água representam situações em que os problemas fitopatológicos podem se agravar nas sementes em germinação. No primeiro caso, a embebição, demasiadamente rápida, reduz o período disponível para que as membranas celulares se reorganizem e, como consequência, há uma expressiva liberação de solutos que passam a agir como substrato para os microrganismos presentes no ambiente (PESKE & DELOUCHE, 1985); no segundo caso, o retardamento na emergência proporciona uma ampliação no tempo de exposição à ação dos patógenos (PESKE & DELOUCHE, 1985 e MARCOS FILHO, 1986), acarretando prejuízos ao desempenho das sementes (HUNTER & ERICKSON, 1952; PIANA, 1980 e PESKE & DELOUCHE, 1985).

Os efeitos da disponibilidade hídrica se prolongam após a emergência da raiz, com reflexos sobre o desenvolvimento das plântulas. De uma maneira geral, a carência hídrica promove prejuízos tanto à raiz quanto à parte aérea (PARMAR & MOORE, 1968; MAGALHÃES & CARELLI, 1972; EL-SHARKAWI & SPRINGEL, 1977; YOUNG et al., 1983; MAGALHÃES & SILVA, 1987 e SÁ, 1987).

Em termos de estabelecimento das plântulas no campo, BRADFORD (1986) situou o excesso e o déficit hídricos como fatores desfavoráveis, juntamente às temperaturas extremas, à salinidade, às crostas do solo e às presenças de patógenos e de insetos. Tais prejuízos se expressam através da redução na população inicial de plantas, da deficiência nutricional proveniente da lavagem do solo descoberto e da desuniformidade na emergência (GOMES & KARAZAWA, 1982).

Estudos com sementes de beterraba, arroz, milho e soja, utilizando 5 tipos de solos com vários teores de água, mostraram que as sementes germinaram após terem alcançado determinados teores mínimos de água, independentemente do solo estudado (HUNTER & ERICKSON, 1952). Por outro lado, as sementes reduzem francamente a capacidade de assimilar água, tão logo sejam emitidas estruturas embrionárias, o que acontece mais rapidamente em indivíduos mantidos em contato com os maiores potenciais hídricos (SILVA, 1989).

Trabalhos de simulação de estresse hídrico, com sementes de alface, têm sido realizados sob potenciais de -3 atm, tendo sido observadas reduções de velocidade e de porcentagem de emergência, em intensidade variável com o cultivar e a qualidade fisiológica dos lotes utilizados (KANN, 1960; BEWLEY & BLACK, 1985 e BRADFORD, 1986). Valores, inferiores a -4,1 atm, reduzem drasticamente a germinação de sementes de alface (KAUFMANN, 1969).

O comprimento de plântulas de milho foi severamente reduzido quando o potencial osmótico da solução de polietileno glicol 6.000 passou de 0 atm para -12 atm (SILVA, 1989). O mesmo efeito foi observado para arroz, em relação aos comprimentos do coleoptilo e da raiz, com paralela redução na porcentagem de germinação (LAM-SANCHEZ et al., 1987).

De modo geral, a redução progressiva do potencial osmótico apresenta tendências de redução no comprimento das plântulas e na porcentagem de germinação (HELMERICK & PFEIFER, 1954; EVANS & STICKLER, 1961; MANOHAR & HEYDECKER, 1964; McWILLIAM & PHILLIPS, 1970; SAINT-CLAIR, 1976; SHARMA, 1976; EL-SHARKAWI & SPRINGEL, 1977; WRIGHT et al., 1978; STOUT et al., 1980; HEGARTY & ROSS, 1981; SOMERS et al., 1983; THANOS & SKORDILIS, 1987; VAN DE VENTER, 1988; KUMAR et al., 1990, EMMERICH & HARDEGREE, 1990; EMMERICH & HARDEGREE, 1991; GURMU & NAYLOR, 1991 e TAKAKI & TOLEDO, 1991).

Fixada a espécie, a resposta das sementes colocadas para germinar, sob deficiência hídrica, tem se mostrado dependente da qualidade fisiológica. Em termos gerais, menor qualidade fisiológica (PARMAR & MOORE, 1968; POLLOCK & MANALO, 1971; MATTHEWS & POWELL, 1986) tem sido associada aos piores desempenhos nessa condição. HADAS (1977), trabalhando com um lote de sementes de grão-de-bico, sugeriu que o estresse hídrico poderia constituir-se num

teste de vigor. No entanto, estudos com um maior número de lotes de sementes, apresentando diferentes níveis de vigor e submetidos a situações distintas de disponibilidade hídrica (¶), em laboratório e no campo, podem definir a relação entre o vigor das sementes e a disponibilidade hídrica.

2.3. Vigor de sementes

Na natureza, os indivíduos de uma mesma espécie, animal ou vegetal, apresentam desempenhos diferentes, o que levou o homem a classificá-los em fortes e fracos. Dessa constatação deve ter surgido a noção de vigor. A primeira manifestação por escrito, sobre vigor de sementes, deu-se em 1876, no livro "Handbook der Samenkund" de Friederich Nobbe, empregando a expressão força motriz para defini-lo (CARVALHO, 1994).

Entre 1911 e 1950, o conhecimento sobre vigor de sementes foi sendo desenvolvido com a criação de novos testes para avaliação da qualidade fisiológica. No entanto, em 1950, durante o 9º Congresso da International Seed Testing Association - ISTA, o pesquisador W.J. Frank propôs que os testes, conduzidos sob condições ótimas em substratos artificiais, deveriam ser denominados testes de germinação; os efetuados em solo, passariam a ser chamados de testes de vigor de plântulas. Assim, o vigor veio a ser utilizado, com

maior freqüência, em Tecnologia de Sementes; houve, com isso, significativo impulso às pesquisas relacionadas ao tema (MARCOS FILHO et al., 1987).

Inúmeros métodos de avaliação foram desenvolvidos, geralmente, procurando simular situações desfavoráveis às quais as sementes estariam sujeitas. Foram, também, efetuadas várias tentativas para conceituação de vigor de sementes, sempre questionadas por deixarem de incluir algum aspecto de sua manifestação. Essa situação perdurou até o final dos anos 70, quando houve uma conscientização de que o vigor não poderia satisfazer a todas as indagações, nem prever, com exatidão, a porcentagem de emergência das plântulas em campo ou o comportamento durante o armazenamento (MARCOS FILHO et al., 1987).

O vigor da semente pode ser entendido como "o nível de energia de que ela dispõe para realizar as tarefas do processo germinativo" (CARVALHO, 1986). As duas principais associações científicas, que congregam tecnólogos de sementes, têm, cada uma, a sua definição:

- "Vigor de sementes é a soma das propriedades que determinam o potencial de atividade e desempenho de uma semente ou de um lote de sementes durante a germinação e a emergência da plântula" (ISTA, 1981).

- "Vigor de sementes compreende as propriedades que determinam o potencial, para uma emergência rápida e uniforme de plântulas normais, sob ampla faixa de

condições ambientais" (ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS - AOSA, 1983).

O exame das definições deixa evidentes as dificuldades encontradas nas suas concepções, talvez, pela inexistência de grandeza física referencial.

Para entender vigor em sementes é necessário conhecer o que ocorre com a semente após a maturidade fisiológica considerada, pela maioria dos autores, como o ponto de máximos peso de matéria seca, germinação e vigor (POPINIGIS, 1977; CARVALHO & NAKAGAWA, 1988; BARROS, 1986). Sementes dormentes, contudo, podem mostrar um comportamento diferente e apresentar máxima germinação, por exemplo, alguns meses após a maturidade fisiológica (PIANA et al., 1986). No entanto, como regra geral, o ponto de máximos peso da matéria seca e germinação corresponde ao momento de máximo vigor das sementes.

O máximo vigor pode depender de vários fatores, dentre os quais os genéticos (espécie vegetal e cultivar), os de formação (polinização, microsporogênese e macrosporogênese), os de maturação, os relacionados aos danos mecânicos, microrganismos e insetos, os decorrentes das condições ambientais durante o armazenamento, os relativos à densidade, ao tamanho e à idade das sementes (CARVALHO & NAKAGAWA, 1988).

No ponto de maturidade fisiológica a deterioração é mínima e, a partir daí, começa o processo de senescência progressivo, inexorável e dependente da espécie

vegetal e das condições de ambiente onde a semente se encontra (POPINIGIS, 1977; ROOS, 1986).

O processo de deterioração, cuja causa básica não é suficientemente conhecida, tem como consequência a desestruturação de sistemas de membranas celulares. A causa imediata dessa desestruturação parece relacionada à ação de grupos químicos, de alta reatividade, conhecidos como radicais livres (HARMAN, 1956).

Segundo DELOUCHE & BASKIN (1973), o processo de deterioração envolve uma seqüência de mudanças que tem início com a degeneração das membranas celulares e culmina com a perda do poder germinativo das sementes.

A deterioração está diretamente relacionada ao vigor da semente que, por sua vez, tem sido avaliado através de testes; vários foram desenvolvidos e propostos para avaliar o vigor de sementes de modos direto e indireto. No entanto, alguns apresentam maiores possibilidades de uso e de padronização. Tomando por base estas premissas, ISTA (1981) e AOSA (1983) recomendam, como os de uso mais adequado, os seguintes: a) taxa de crescimento de plântulas; b) classificação do vigor de plântulas; c) envelhecimento acelerado; d) frio; e) germinação em temperatura subótima; f) tetrazólio; g) condutividade elétrica.

A escolha do teste de vigor deve atender a objetivos específicos, sendo importante a identificação da característica avaliada e sua relação com o comportamento das

sementes diante de uma determinada situação. É conveniente, também, a obtenção de informações fundamentadas nos resultados de mais de um teste, cujos princípios sejam aplicáveis aos objetivos desejados (SCOTT & CLOSE, 1976; MARCOS FILHO et al., 1987; FRATIN, 1987). As opções disponíveis incluem testes que avaliam o estado atual das sementes como, por exemplo, o de condutividade elétrica e o de tetrazólio, e testes dirigidos à obtenção de resposta das sementes a determinadas situações de ambiente como, por exemplo, o teste de frio e o de envelhecimento artificial (MARCOS FILHO, 1994).

O teste de frio, provavelmente um dos métodos mais utilizados para avaliar o vigor de sementes, foi desenvolvido, originalmente, para avaliar o vigor de sementes de milho. Este teste é empregado, fundamentalmente, objetivando a simulação das condições de solo com excesso de água e baixas temperaturas; as sementes resistentes a essas condições desfavoráveis são consideradas como as mais vigorosas (CÍCERO & VIEIRA, 1994).

Das variáveis envolvidas no teste de frio, a temperatura tem sido a mais estudada (BURRIS & NAVRATIL, 1979). No entanto, em estudo objetivando avaliar o efeito do teor de água do substrato, NIJENSTEIN (1988) constatou que as sementes apresentaram desempenho variável sob teor de água correspondente a 61% do existente na capacidade de campo; nessa situação, os lotes de baixo vigor tiveram desempenho inferior ao dos lotes com alto vigor.

HOPPE (1956) relacionou os resultados, obtidos no teste de frio, com a emergência de plântulas em campo, constatando que as condições de campo foram menos severas do que as do teste de frio. A aparente correlação de resultados, do teste de frio com os de emergência de plântulas em campo, tem sido verificada por vários pesquisadores (AOSA, 1983).

O teste de frio é utilizado, por empresas produtoras de sementes de milho, em programas internos de controle de qualidade (TEKRONY, 1983). De acordo com GRABE (1976), os lotes de qualidade aceitável devem apresentar, no mínimo, 70 a 85% de plântulas normais no teste de frio para mostrarem um desempenho adequado em campo. Na Áustria, onde o teste de frio é obrigatório para a certificação de sementes de milho, o padrão mínimo para a comercialização é de 85% de plântulas vigorosas (KRZYZANOWSKI et al., 1991).

O teste de condutividade elétrica tem sido utilizado para identificar lotes de sementes com elevadas porcentagens de germinação, em laboratório, mas deficientes quanto à emergência de plântulas em campo. Fornece informações adicionais ao teste de germinação (BEDFORD, 1971; HEPBURN et al., 1984). Baseia-se no conceito de que sementes, de baixo vigor, apresentam baixa integridade das membranas celulares em decorrência da deterioração. Quando sementes são embebidas, por imersão em água, as de baixo vigor liberam maior quantidade de eletrólitos na solução, refletindo a

perda de integridade das membranas celulares (WOODSTOCK, 1973; GRABE, 1976; LIN, 1988). Os solutos, com propriedades eletrolíticas, possuem cargas elétricas que podem ser medidas em condutivímetro (MARCOS FILHO et al., 1987).

O emprego da condutividade elétrica, como indicador da viabilidade de sementes de milho, é bastante antigo (HOTTES & HUELSEN, 1927; HIBBARD & MILLER, 1928); no entanto, a aplicação do teste na determinação do vigor das sementes de milho é recente. Assim, GILL & DELOUCHE (1973) constataram correlação entre o vigor de sementes de milho e a condutividade elétrica.

Por sua vez, TAO (1980) referiu-se ao teste de condutividade elétrica como adequado para uso em sementes de milho, com grande potencial para a diferenciação de níveis de vigor e correlacionado com a emergência das plântulas em campo. No entanto, sugeriu a exclusão de sementes danificadas do teste; a lixiviação excessiva, resultante das sementes danificadas, poderia dificultar a avaliação dos lotes. Esta recomendação é feita também por MARCOS FILHO et al. (1987) e por KRZYŻANOWSKI et al. (1991). Segundo VIEIRA (1994), o teste de condutividade elétrica apresenta possibilidade de vir a ser utilizado, rotineiramente, em laboratórios de análise.

Outros testes têm sido utilizados por apresentarem as vantagens do baixo custo, da rápida execução e das dispensas de equipamentos especiais e de treinamento específico sobre a técnica empregada (AOSA, 1983); sob estes aspectos, destacam-se os baseados na avaliação das plântulas, dentre os quais encontram-se o teste de comprimento e o de emergência no campo.

O teste de comprimento das plântulas fundamenta-se no conceito de que as sementes, mais vigorosas, originam plântulas com maior crescimento por apresentarem ampla capacidade de fornecimento de nutrientes ao eixo embrionário (DAN et al., 1987). O desenvolvimento da plântula tem sido utilizado como um indicativo de vigor correlacionado com a atividade metabólica da semente em processo de germinação (WOODSTOCK & FEELEY, 1965; WOODSTOCK & GRABE, 1967).

Segundo EDJE & BURRIS (1970), o comprimento do hipocótilo de plântulas de soja sofre variação de acordo com a idade das sementes; o maior crescimento dos hipocótilos de sementes envelhecidas, pode ocorrer em virtude da destruição de inibidores da elongação, como o etileno, durante o processo de deterioração.

Paralelamente, segundo BARROS & DIAS (1992), o teste de crescimento de plântulas, em sementes de milho, apresenta-se como opção para uso no controle de qualidade; contudo, são sugeridos estudos adicionais para a sua padronização.

O teste de emergência no campo fundamenta-se no conceito de que sementes vigorosas teriam maiores possibilidades para germinar e estabelecer plântulas normais em condições de solo e ambiente climático, eventualmente, não plenamente favoráveis (NAKAGAWA, 1994). Este teste, quando conduzido na época normal de semeadura da cultura, estima a capacidade de estabelecimento do lote, dando subsídios ao cálculo de sementes a serem utilizadas para a obtenção da população de plântulas desejada.

Pelo exposto, os testes de frio, condutividade elétrica, comprimento de plântulas e porcentagem de emergência em campo constituem-se em parâmetros válidos para avaliar a resposta do vigor das sementes de milho à disponibilidade hídrica.

Dentre os testes de estresse, citados pela AOSA (1983), o teste de estresse osmótico baseia-se na premissa de que sementes mais vigorosas podem tolerar condições mais severas de estresse hídrico (HADAS, 1977). Segundo EL-SHARKAWI & SPRINGEL (1977), as taxas de germinação e de emergência são significativamente reduzidas com decréscimos no potencial osmótico do substrato.

Há escassez de informações sobre testes de estresse hídrico na literatura. Embora existam trabalhos que relacionam a resposta de determinado parâmetro como, por exemplo, o crescimento de plântulas ao estresse hídrico, o vigor das sementes não tem sido considerado. Assim, mostra-se

interessante estudar as respostas das sementes de milho, com diferentes níveis de vigor, ao estresse hídrico e avaliar a possibilidade do seu emprego como teste de vigor.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho, realizado durante o segundo semestre de 1992, foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes e no Campo Experimental (22°43' de latitude sul, 47°25' de longitude oeste e 580m de altitude), respectivamente pertencentes aos Departamentos de Agricultura e de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP em Piracicaba/SP.

Foram utilizadas sementes* de milho híbrido duplo, cultivar AG 303, cedidas pela unidade de produção de Santa Cruz das Palmeiras, pertencente à Sementes Agroceres S.A. Para tanto, foram utilizados 60 lotes de sementes, classificadas por tamanho (sementes longas e retidas, por largura, em peneiras com crivos circulares de 22/64 polegadas) e provenientes das safras agrícolas de 1989/90, 1990/91 e 1991/92, perfazendo 20 lotes/safra. As sementes da safra agrícola 1989/90 apresentavam, por ocasião da realização da pesquisa, idade de 30 meses, as da safra 1990/91, 18 meses e, as da safra 1991/92, 6 meses.

(*) Terminologia usualmente empregada para designar o fruto botanicamente denominado como cariópse.

3.1. Avaliação da qualidade fisiológica dos lotes em laboratório

Inicialmente, a amostra de sementes de cada lote foi homogeneizada em divisor de amostras, tipo divisor de solos para posteriormente, serem realizadas as seguintes determinações:

3.1.1. Teste padrão de germinação: foi conduzido a 30°C em rolos de papel toalha, com 4 repetições de 50 sementes, seguindo os procedimentos previstos em BRASIL (1992).

3.1.2. Determinação do grau de umidade: foi realizada com sementes inteiras, em estufa regulada a 105°C $\pm$ 3°C durante 24 horas, considerando a metodologia descrita em BRASIL (1992).

3.1.3. Teste de frio com solo: foi realizado aplicando o estresse térmico de 10°C durante 7 dias, em 4 repetições de 50 sementes, adotando as recomendações de CÍCERO & VIEIRA (1994). Em caixas de plástico (47 x 30 x 11 cm), contendo mistura de 2/3 de areia e 1/3 de solo proveniente de área cultivada com milho, as sementes foram colocadas a 3 cm de profundidade. O teor de água do substrato, ajustado para 60% da capacidade de campo, foi mantido com a vedação das caixas durante o período de permanência em câmara fria. Após o estresse térmico, as caixas foram mantidas, por 7 dias, em temperatura ambiente. A

seguir, foi realizada contagem das plântulas emersas que apresentavam parte aérea com altura igual ou superior a 5 cm. O resultado foi expresso em porcentagem.

3.1.4. Condutividade elétrica: a metodologia adotada, no sistema de massa, foi a recomendada pela AOSA (1983).

O teste foi realizado utilizando 4 repetições de 25 sementes, sem danos visíveis, previamente pesadas com precisão de 0,01g. A seguir, as sementes de cada repetição foram submersas em copos plásticos que continham 75 ml de água destilada. Os recipientes foram colocados em germinador, regulado à temperatura de 25°C, por 24 horas; ao final desse período, com auxílio de condutivímetro, foram efetuadas as leituras da condutividade elétrica da água, posteriormente transformadas em $\mu\text{mhos/cm/g}$ de sementes. Amostras com menor condutividade foram consideradas como as de maior vigor (KRZYŻANOWSKI et al., 1991).

3.1.5. Teste de germinação sob estresse hídrico de -3 atm: foi conduzido a 30°C, em rolos de papel toalha embebido em solução aquosa de polietileno glicol 6.000, com potencial hídrico de -3 atm (MICHEL & KAUFMANN, 1973). Os rolos de papel contendo as sementes foram embalados em sacos plásticos e levados ao germinador. Foram utilizadas 4 repetições de 50 sementes e seguidos os demais procedimentos previstos nas regras para análise de sementes para a condução e interpretação do teste de germinação (BRASIL, 1992).

3.1.6. Comprimento das plântulas em laboratório sob ambientes de hidratação de 0, -3, -6 e -9 atm: os lotes foram individualmente submetidos à germinação em substratos com potenciais hídricos de 0, -3, -6, e -9 atm (9,87 atm = 10 bar = 1 MPa, segundo BEWLEY & BLACK, 1985), através do uso de soluções aquosas de polietileno glicol (PEG 6000). As quantidades de soluto, obtidas com base na equação sugerida por MICHEL & KAUFMANN (1973) foram as calculadas por VILLELA et al. (1991).

As soluções foram aplicadas sobre o papel substrato, em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso deste último, de acordo com as indicações de SILVA (1989).

A semeadura, realizada sobre duas folhas de papel superpostas por repetição, constou da distribuição, equidistante, de 10 sementes com as radículas dirigidas para a linha de comprimento do papel e sobre um traço demarcado que, por sua vez, dividiu a largura da folha pela metade.

A seguir, após a superposição de mais uma folha de papel, os papéis foram enrolados no sentido do seu comprimento, embalados em sacos plásticos e levados para germinador regulado à temperatura constante de 30°C, em ausência de luz, de maneira que todas as radículas ficassem voltadas para baixo. O prazo de permanência das sementes em contato com as soluções foi de 5 dias. No final desse período, foram feitas medições do comprimento das plântulas, independentemente de avaliações qualitativas.

3.2. Avaliação da qualidade fisiológica dos lotes no campo

O solo da área utilizada foi classificado como Terra Roxa Estruturada Latossólica Eutrófica, textura argilosa, correspondente ao KANDIUDALFIC EUTRUDOX da classificação americana (VIDAL-TORRADO & SPAROVEK, 1993). Solo similar, segundo Moniz & Jackson (1967)² citados por LIBARDI (1984), apresentou composição mineralógica de 15,3% de óxido de ferro, 48% de caolinita, 10,7% de mica e vermiculita, 4,3% de gibsita e 21,7% de material amorfo.

A curva de retenção de água, na camada 0-20 cm da área experimental, foi determinada por MORAES (1991) e acha-se apresentada na Figura 1.

O clima regional, segundo a classificação de Köeppen, é mesotérmico Cwa ou subtropical úmido. As temperaturas médias dos meses mais frio e mais quente superam, respectivamente, 18 e 22°C. Segundo CAMARGO et al. (1974) pode ser classificado como tropical de altitude.

² MONIZ, A.C. & JACKSON, M.L. Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soils derived from basic rocks and slate. Madison, Wisconsin Soil Science, Dept. of Soil Science, Univ. of Wisconsin, Report nº 212, 1967.

Figura 1. Curva de retenção de água, no solo da área experimental, determinada por MORAES (1991). Relação funcional entre o teor de água do solo (θ , $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$, %) e o potencial mátrico (Ψ_m , atm). Parâmetros empíricos referentes ao modelo de VAN GENUCHTEN (1980).

As situações variáveis, quanto à disponibilidade hídrica, foram aplicadas em 4 áreas individualizadas. Para tanto, através dos dados da curva de retenção de água (Figura 1), foram utilizados os potenciais hídricos de -0,1, -0,5, -15,0 e inferior a -15,0 atm (valor estimado em -950 atm); estes potenciais, por sua vez, corresponderam a teores de água (base massa seca) respectivos de 28, 24, 20 e 10%, e a valores de θ de 0,417; 0,357; 0,298 e 0,149 $\text{cm}^3/\text{cm}^{-3}$ (Figura 1).

A manutenção dos potenciais hídricos foi realizada através de irrigações. As quantidades de água aplicadas eram definidas com base nos dados de tensiômetros de mercúrio, instalados a 5 cm de profundidade, na parcela com potencial hídrico de $-0,1$ atm; nas demais parcelas, desprovidas de tensiômetros, a irrigação baseava-se em dados diários do teor de água do solo obtidos, em três repetições, pelo método padrão da estufa (105°C por 24h segundo BERNARDO (1986)).

3.2.1. Teste de emergência das plântulas: a semeadura, realizada em 10/08/1992, foi efetuada em 4 repetições, de 50 sementes por lote, em cada uma das condições de disponibilidade hídrica. As sementes, de cada repetição, foram semeadas, a 3 cm de profundidade, em linhas com 4m de comprimento e distanciadas de 0,50m entre si.

No 14º dia, após a semeadura, foi determinada a porcentagem de emergência das plântulas segundo os procedimentos descritos por MARCOS FILHO et al. (1987). Nessa ocasião, as duas parcelas com menores potenciais hídricos (-15 atm e inferior a -15 atm) passaram a ser mantidas com $-0,5$ atm para, no 28º dia após a semeadura, terem avaliadas as porcentagens de emergência das plântulas.

Os dados climáticos, relativos ao período de condução do experimento (Tabela 1), foram coletados no Posto Agrometeorológico, pertencente ao Departamento de Física e

Tabela 1. Dados meteorológicos de precipitação pluvial (P, mm/dia), umidade relativa do ar (UR, %), temperaturas máxima (Tmax, °C), mínima (Tmin, °C) e média (T, °C) e evaporação do Tanque USWB Classe A (ECA, mm/dia), referentes ao período de 01 de agosto a 10 de setembro de 1992, obtidos no Posto Agrometeorológico da ESALQ/USP, em Piracicaba, SP.

Dia/Mês	P mm/dia	UR %	Tmax °C	Tmin °C	T °C	ECA mm/dia
01/08	0	63	30,6	10,8	20,7	6,16
02	0	79	19,6	13,3	16,4	4,09
03	0	78	20,1	9,7	14,9	2,32
04	0	63	28,8	11,3	20,0	4,40
05	0	70	28,7	12,5	20,6	4,71
06	0	68	27,7	10,6	19,1	4,36
07	0	62	27,5	10,5	19,0	4,56
08	0	67	27,8	15,7	21,7	3,75
09	0	72	25,0	13,2	19,1	3,97
10	0	70	27,4	12,8	29,1	3,04
11	0	58	27,2	11,2	19,2	4,34
12	0	73	25,8	14,1	19,9	3,48
13	0	75	22,8	10,8	16,8	3,48
14	0	69	25,0	9,0	17,0	4,12
15	0	68	26,2	6,8	16,5	4,68
16	0	72	28,0	5,0	16,5	4,44
17	0	61	29,8	10,2	20,0	4,53
18	0	77	24,7	16,1	20,4	2,45
19	0	78	26,4	16,4	21,4	4,01
20	0	76	25,6	14,4	20,0	5,11
21	3	88	24,8	13,8	19,3	1,32
22	2	95	23,1	15,4	19,2	0,70
23	2	86	25,6	17,0	21,3	3,70
24	0	61	25,0	11,6	18,3	5,40
25	0	63	24,8	8,2	16,5	5,62
26	0	66	26,8	4,9	15,8	2,95
27	0	71	28,8	7,7	18,2	4,11
28	0	66	31,2	10,4	20,8	6,06
29	0	74	29,4	10,0	19,7	4,60
30	0	68	31,8	10,6	21,2	4,72
31	1	86	27,0	15,4	21,2	1,64
01/09	1	94	23,7	16,0	19,8	1,50
02	1	98	20,6	15,0	17,8	0,08
03	0	82	24,8	15,0	19,9	2,56
04	2	82	27,0	15,6	21,3	2,94
05	1	95	20,6	14,6	17,6	1,04
06	2	96	18,8	14,6	16,7	0,16
07	0	79	22,2	12,6	17,4	4,56
08	0	67	25,6	10,4	18,0	5,80
09	0	65	25,6	11,8	18,7	7,22
10	0	63	27,6	11,9	19,7	6,77

Meteorologia da ESALQ/USP, localizado a 100m da área experimental.

3.3. Procedimento estatístico

As determinações, para o conjunto dos 60 lotes, foram realizadas com 4 repetições em delineamento estatístico inteiramente casualizado. A comparação entre as médias foi realizada pelo Teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. A análise de variância seguiu o esquema indicado na Tabela 2. Paralelamente, foram estudadas as correlações entre os dados dos testes para o conjunto de 60 lotes (Tabela 3).

Ao mesmo tempo, foi conduzida análise de correlação, para cada conjunto de 20 lotes, considerando as safras 1989/90 (lotes de números 1 a 20), 1990/91 (lotes de números 21 a 40) e 1991/92 (lotes de números 41 a 60), conforme o esquema apresentado na Tabela 4.

Tabela 2. Esquema estatístico empregado na análise dos dados obtidos nos testes de laboratório.

Causas da Variação	Graus de Liberdade
Lotes	59
Repetição	3
Resíduo	177
Total	239

Tabela 3. Esquema da análise de correlação entre os dados dos testes considerando o conjunto de 60 lotes.

Variáveis		
x	y	
$\bar{x}_{1,0}$	$\bar{y}_{1,0}$	$\bar{x}_{1,j}$ é a média das 4 repetições do lote i no teste j.
$\bar{x}_{2,0}$	$\bar{y}_{2,0}$	
$\bar{x}_{3,0}$	$\bar{y}_{3,0}$	$\bar{y}_{i,k}$ é a média das 4 repetições do lote i no teste k.
...	...	
$\bar{x}_{60,0}$	$\bar{y}_{60,0}$	

Tabela 4. Esquema da análise de correlação entre os dados dos testes, considerando 3 conjuntos de 20 lotes (safras 1989/90, 1990/91 e 1991/92).

Variáveis		
x	y	
$\bar{x}_{1,0}$	$\bar{y}_{1,0}$	$\bar{x}_{1,j}$ é a média das 4 repetições do lote i no teste j.
$\bar{x}_{2,0}$	$\bar{y}_{2,0}$	
$\bar{x}_{3,0}$	$\bar{y}_{3,0}$	$\bar{y}_{1,k}$ é a média das 4 repetições do lote i no teste k.
...	...	
$\bar{x}_{20,0}$	$\bar{y}_{20,0}$	

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho buscou informações a respeito do relacionamento entre a disponibilidade de água e o vigor das sementes de milho, durante o processo de germinação em laboratório e o estabelecimento das plântulas no campo.

As situações de ambiente, provocadas artificialmente e relacionadas com a disponibilidade de água, foram genericamente denominadas "ambientes de hidratação" ou, quando conveniente, simplesmente "ambientes".

As unidades constantes na literatura, para quantificar os potenciais hídricos, são rotineiramente o bar, a atmosfera e o pascal. A escolha da atmosfera, como unidade padrão, levou em conta o restrito uso do bar nos trabalhos de pesquisa e, paralelamente, as dificuldades na grandeza relativa do pascal que, de dimensão unitária muito reduzida ($1 \text{ Pa} = 1/10^5 \text{ atm}$), traria desvantagens na sua representação.

Os potenciais hídricos, previamente estabelecidos para os ambientes de hidratação em laboratório, foram obtidos através do uso do polietileno glicol (PEG 6000),

considerando as suas amplas possibilidades para alcançar os valores requeridos, a ausência de toxidez e a facilidade prevista no seu manuseio (HEYDECKER et al., 1975; HADAS, 1976; YOUNG et al., 1983 e TONKIN, 1985).

No teste de comprimento das plântulas, sob vários ambientes de hidratação em laboratório, a população foi representada, invariavelmente, por dez sementes em cada uma das repetições; esta opção foi adotada com o objetivo de garantir, considerando o espaço disponível no rolo de papel, um crescimento individual das plântulas livre de interferências provenientes de contatos indesejáveis entre as mesmas. Dessa maneira, associando-se essa prática ao posicionamento inicial das sementes com a radícula voltada para baixo, foi possível às plântulas um crescimento verticalizado e sem enovelamentos, com decorrentes facilidades operacionais nas avaliações realizadas (SILVA, 1989).

Os germinadores permaneceram constantemente com ausência de luz no seu interior. Este procedimento foi empregado com o intuito de dificultar a realização da fotossíntese nas plântulas que, eventualmente, lançassem o epicótilo para fora do domínio físico do rolo de papel. A ocorrência desse fenômeno fisiológico, altamente influenciador do desenvolvimento vegetal, poderia levar a desvios estatísticos que dificultariam o entendimento da ação dos tratamentos.

A colocação dos rolos de papel em embalagem plástica teve por finalidade dificultar a perda de água por evaporação que, se agravada, demandaria constantes reposições de água e possíveis alterações, por elevação de concentração, nos potenciais hídricos das soluções. A prática mostrou-se vantajosa, tornando dispensável qualquer adição de água no substrato, durante todo o período experimental; paralelamente, não foram verificados problemas, relacionados ao desenvolvimento das plântulas ou ao ataque de patógenos, decorrentes de uma deficiência na aeração interna, fato constatado por SILVA (1989) e SHIOGA (1990).

No teste de emergência das plântulas em campo, os teores de água no solo, durante o experimento, sofreram variações diárias, decorrentes da evaporação, entre 1 a 2% dos valores referenciados (28, 24, 20 e 10%) para os teores de água no solo mantidos como limites superiores.

4.1. Avaliação da qualidade fisiológica dos lotes em laboratório

Esta etapa teve por finalidade detectar as diferenças qualitativas entre os lotes trabalhados e, ao mesmo tempo, atuar como fonte de explicações para o comportamento das sementes frente às diferentes situações de disponibilidade hídrica no laboratório e no campo. Os 60

lotes de sementes apresentaram teores de água situados entre 10,8 a 11,7% em base úmida. As sementes mais velhas (safra 1989/90), tendo permanecido armazenadas por período maior, apresentaram menor teor de água por ocasião da realização do experimento devido, possivelmente, ao fenômeno da histerese.

Os dados obtidos, através da avaliação da qualidade fisiológica dos lotes de sementes, acham-se apresentados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8.

Os valores médios obtidos no teste de germinação, apresentados na Tabela 5, mostram que os lotes diferiram estatisticamente entre si. Os lotes 21 a 60 apresentaram valores numéricos superiores aos dos lotes 1 a 20. Os lotes 21 a 60, embora estatisticamente diferenciados entre si, apresentaram valores superiores a 90%, exceto os dos lotes 21, 25, 27, 29, 42 e 43 que foram inferiores. Entre os lotes 1 a 20, nenhum apresentou germinação superior a 85%. A germinação inferior observada para os lotes 1 a 20, pertencentes à safra agrícola 1989/90, deveu-se, possivelmente, à idade das sementes que apresentavam-se como as mais antigas.

Tabela 5. Avaliação da qualidade fisiológica em laboratório: dados médios obtidos no teste padrão de germinação (%) e no teste de frio (%).

Lote nº	Germinação (%)	Frio (%)
1	60,0 v	40,5 r
2	82,0 opq	29,5 st
3	80,5 opqr	26,5 stu
4	73,0 stu	40,5 r
5	77,0 qrs	26,0 tu
6	78,5 pqr	20,5 uvw
7	56,5 v	21,5 uvw
8	81,5 opq	22,0 uvw
9	75,5 rst	15,5 wxy
10	81,0 opq	33,5 rs
11	72,5 stu	19,5 uvwx
12	80,5 opqr	18,0 uvwy
13	71,5 tu	17,5 vwxy
14	78,5 pqr	22,0 uvw
15	69,0 u	11,5 yz
16	71,5 tu	13,0 xy
17	72,5 stu	23,5 tuv
18	82,5 op	12,0 yz
19	82,0 opq	13,0 xy
20	59,5 v	5,5 z
21	89,5 ijklmn	72,0 ghijklmn
22	92,0 defghijk	69,5 klmno
23	93,5 abcdefghijk	62,5 op
24	94,0 abcdefghij	60,5 pq
25	88,5 klmn	76,5 defghijk
26	92,0 defghijk	53,5 q
27	89,0 jklmn	67,5 lmnop
28	92,5 cedfghijk	71,0 ijklmn
29	85,5 lmno	78,0 cdefghi
30	91,0 fghijk	71,5 hijklmn

Continua

Tabela 5. Continuação.

Lote nº	Germinação (%)	Frio (%)
31	93,0 bcdefghijk	73,5 fghijklm
32	93,5 abcdefghjik	76,5 defghijk
33	92,0 defghijk	82,5 bcd
34	96,5 abcde	67,5 lmnop
35	92,0 defghijk	78,5 cdefgh
36	97,0 abcd	65,5 nop
37	94,5 abcdefghi	70,5 kjlmn
38	90,0 hijklm	78,5 cdefgh
39	96,0 abcdef	60,5 pq
40	95,0 abcdefgh	68,5 lmno
41	91,0 fghijk	82,0 bcd
42	84,5 no	66,5 mnop
43	85,0 mno	62,5 op
44	94,0 abcdefghij	86,0 b
45	94,5 abcdefghi	82,0 bcd
46	90,5 ghijkl	83,0 bcd
47	90,0 hijklm	81,5 bcde
48	94,5 abcdefghi	74,5 efghijkl
49	95,5 abcdefg	83,0 bcd
50	93,0 bcdefghijk	81,0 bcde
51	94,0 abcdedfghij	79,0 bcdefg
52	96,0 abcdef	78,0 cdefghij
53	95,0 abcdedfgh	80,5 bcdef
54	91,0 fghijk	80,0 bcdef
55	95,5 abcdefg	84,0 bc
56	91,5 efghijk	77,0 cdefghij
57	94,0 abcdefghij	71,0 ijklmn
58	97,5 abc	98,0 a
59	98,5 a	94,0 a
60	98,0 ab	96,5 a
C.V. (%)	1,9	3,8

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si ao nível de significância de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O teste de frio (Tabela 5) revelou tendências distintas das constatadas no teste de germinação. Os lotes 1 a 20 apresentaram, generalizadamente, valores numéricos inferiores aos dos lotes 21 a 60. Paralelamente, os lotes 41 a 60 superaram os lotes 21 a 40. Entre os lotes 41 a 60, sete lotes apresentaram valores numéricos inferiores a 80% enquanto, entre os lotes 21 a 40, 19 lotes tiveram esse desempenho. De um modo geral, o teste de frio possibilitou separação mais eficiente entre os lotes do que o teste de germinação. Foram observados, em termos gerais, menores valores numéricos para os lotes com idade mais avançada. Neste caso, a deterioração foi expressa pela inferioridade na capacidade de superação das condições adversas do teste (CÍCERO & VIEIRA, 1994).

Um problema, comum aos testes que avaliam o vigor das sementes, é o da inexistência de valores referenciais (CARVALHO, 1986), o que os possibilita fornecer, apenas, o vigor relativo entre lotes ou amostras testadas (NAKAGAWA, 1994). GRABE (1976) sugere, para a comparação do vigor em lotes submetidos ao teste de frio, o valor mínimo de 70% de plântulas normais para que os lotes apresentem desempenho adequado no campo. Assim, para a análise dos resultados do teste de frio, foram consideradas três classes de vigor: vigor alto (igual ou superior a 80%), médio (70 a 79%) e baixo (inferior a 70%). Através deste critério, a Tabela 6 indica a distribuição de frequência de lotes segundo a safra agrícola.

Tabela 6. Frequência numérica das classes de vigor para 60 lotes, de sementes de milho, avaliados pelo teste de frio.

Lotes (safra)	Frequência (nº) das classes de vigor		
	Alto	Médio	Baixo
1 a 20 (1989/90)	0	0	20
21 a 40 (1990/91)	1	10	9
41 a 60 (1991/92)	13	5	2
TOTAL	14	15	31

O teste de condutividade elétrica (Tabela 7) revelou superioridade dos lotes 41 a 60 sobre os de números 21 a 40 e, destes, sobre os lotes 1 a 20. Dentre os lotes 41 a 60, seis apresentaram valores de condutividade elétrica superiores a 20 $\mu\text{mhos/cm/g}$, correspondendo à maioria dos lotes que apresentaram valores inferiores a 80% no teste de frio. As sementes mais deterioradas apresentaram maior lixiviação de eletrólitos, provenientes de dificuldades na reorganização das membranas celulares (DELOUCHE & BASKIN, 1973; WOODSTOCK, 1973; GILL & DELOUCHE, 1973; GRABE, 1976; MARCOS FILHO et al., 1987; LIN, 1988).

De um modo geral, o vigor das sementes, estimado pelos testes de frio e de condutividade elétrica, teve tendência de redução com a ampliação da idade dos lotes.

Por outro lado, as diferenças de vigor, constatadas dentro de safras, pareceram devidas aos fatores ambientais envolvidos nos campos de produção, no beneficiamento e no armazenamento dos lotes (CARVALHO & NAKAGAWA, 1988).

A restrição na disponibilidade hídrica relaciona-se com limitações na divisão e no crescimento celulares (BERLYN, 1972; ROGAN & SIMON, 1975), com decorrentes prejuízos ao desenvolvimento das plântulas (HEGARTY, 1978) que, por sua vez, tendem a apresentar anormalidades (HUNTER & ERICKSON, 1952; COLLIS-GEORGE & SANDS, 1962; COLLIS-GEORGE & HECTOR, 1966; PARMAR & MOORE, 1968; McWILLIAM & PHILLIPS, 1970; EDJE & BURRIS, 1970; DASBERG & MENDEL, 1971; MAGALHÃES & CARELLI, 1972; ARNOLD, 1974; EL-SHARKAWI & SPRINGEL, 1977; PIANA, 1980; ADEGBUYI, 1981; THÉRIOS, 1982; YONG et al., 1983; PESKE & DELOUCHE, 1985; BRADFORD, 1986 e SÁ, 1987).

O teste de germinação sob estresse hídrico (Tabela 7), quando comparado ao teste padrão de germinação, reduziu os valores obtidos para a maioria dos 60 lotes e, paralelamente, elevou a amplitude de variação dos dados quando considerada a comparação entre lotes. Esse comportamento de resultados associou-se, fundamentalmente, à maior redução da germinação nos lotes de menor vigor.

Com isso, da mesma forma ocorrida nos testes de frio e de condutividade elétrica, houve relação direta entre o vigor e a idade (safra) das sementes.

Tabela 7. Avaliação da qualidade fisiológica em laboratório: dados médios obtidos nos testes de condutividade elétrica ($\mu\text{mhos/cm/g}$) e de germinação sob estresse hídrico de -3 atm (%).

Lote nº	Condutividade elétrica ($\mu\text{mhos/cm/g}$)	Germinação sob estresse hídrico (%)
1	23,95 nopqr	33,0 wx
2	27,19 t	33,0 wx
3	27,19 t	37,5 tuvw
4	22,70 jklmnop	36,5 uvwx
5	22,87 klmnop	38,5 tuv
6	23,35 lmnopq	34,0 vwx
7	27,33 t	33,5 vwx
8	25,12 pqrst	42,0 rst
9	27,18 t	37,5 tuvw
10	26,39 rst	23,0 y
11	27,16 t	45,5 qrs
12	26,50 st	54,5 o
13	25,82qrst	47,0 pqr
14	23,36 lmnopq	50,0 opq
15	24,10 opqrs	49,5 opq
16	23,87 mnopq	52,0 op
17	23,37 lmnopq	32,0 x
18	22,79 klmnop	41,5 stu
19	23,42 lmnopq	32,0 x
20	26,51 st	32,5 wx
21	22,73 jklmnop	74,5 klm
22	20,74 ghijk	78,5 jkl
23	19,81 efghi	82,5 fghij
24	21,92 ijklmno	68,0 n
25	19,80 efghi	81,5 ghij
26	21,62 ijklmno	78,0 jkl
27	21,17 hijkl	84,5 efgi
28	19,61 efghi	81,0 hij
29	21,40 ijklm	85,0 efg
30	21,29 ijkl	73,5 lm

Continua...

Tabela 7. Continuação.

Lote nº	Condutividade elétrica (μ mhos/cm/g)	Germinação sob estresse hídrico (%)
31	21,46 ijklmn	84,5 efg
32	18,75 defgh	86,5 defg
33	23,45 lmnopq	82,0 ghij
34	20,65 ghijk	89,0 cde
35	19,83 efghi	89,5 cde
36	20,68 ghijk	80,0 hij
37	20,52 ghijk	81,0 hij
38	23,48 lmnopq	87,5 cdef
39	20,70 ghijk	89,0 cde
40	20,28 ghij	91,0 bcd
41	17,64 cdef	92,5 abc
42	20,03 fghi	78,5 jkl
43	20,52 ghijk	72,0 mn
44	17,37 ced	86,5 defg
45	19,71 efghi	79,5 ijk
46	18,44 defg	86,5 defg
47	19,79 efghi	81,5 ghij
48	16,38 bcd	81,0 hij
49	18,33 defg	79,5 ijk
50	18,66 defg	79,5 ijk
51	20,62 ghijk	82,0 ghij
52	21,85 ijklmno	91,0 bcd
53	19,47 efghi	87,5 cdef
54	18,46 defg	82,0 ghij
55	21,48 ijklmn	81,5 ghij
56	19,53 efghi	89,0 cde
57	20,69 ghijk	88,5 cde
58	12,78 a	96,5 a
59	15,61 bc	95,0 a
60	14,58 ab	96,5 ab
CV (%)	3,6	2,3

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si ao nível de significância de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A avaliação do comprimento das plântulas, em ambientes com 0 atm, -3 atm, -6 atm e -9 atm, utilizou, indistintamente, as plântulas normais e anormais considerando as indicações de SILVA (1989) que, por sua vez, destacou a possibilidade de poucas unidades, de melhor desempenho na repetição, desvirtuarem a tendência natural dos fenômenos submetidos à observação, quando são consideradas apenas as plântulas normais. Particularmente, nos ambientes com potenciais hídricos de -6 e -9 atm, não foi possível separar as plântulas normais das anormais, em virtude do precário desenvolvimento das plântulas. Foram observadas diferenças significativas entre os lotes, em três dos ambientes de disponibilidade hídrica (0, -3 e -6 atm); à medida em que diminuiu o potencial hídrico, houve redução no comprimento das plântulas (Tabela 8).

O maior crescimento das plântulas foi observado no potencial hídrico de 0 atm, havendo redução progressiva com o decréscimo para -3 atm, -6 atm e -9 atm. A relação verificada, entre potencial hídrico e comprimento das plântulas, concorda com os resultados de HELMERICH & PFEIFER (1954), EVANS & STICKLER (1961), MANOHAR & HEYDECKER (1964), McWILLIAM & PHILLIPS (1970), SANT-CLAIR (1976), SHARMA (1976), EL-SHARKAWI & SPRINGUEL (1977), WRIGHT et al. (1978), STOUT et al. (1980), HEGARTY & ROSS (1981), SOMERS et al. (1983), THANOS & SCORDILIS (1987), VAN DE VENTER (1988), SILVA (1989), KUMAR et al. (1990), EMMERICH & HARDEGREE (1990), EMMERICH & HARDEGREE (1991), GURMU & NAYLOR (1991) e TAKAKI & TOLEDO (1991). A redução no crescimento das plântulas está associada ao estresse hídrico, que por sua vez,

Tabela 8. Avaliação da qualidade fisiológica em laboratório: dados médios (mm) do comprimento de plântulas relativos aos efeitos de ambientes de hidratação de 0, -3, -6 e -9 atm.

Lote nº	Ambientes de hidratação em laboratório			
	0 atm	-3 atm	-6 atm	-9 atm
1	68,2 yz	18,9 [	19,2 ijklmno	1,0 a
2	40,7]	31,9]\[	18,1 ijklmno	1,2 a
3	66,6 zy	26,1 \[	11,1 lmno	0,9 a
4	118,6 v	41,0]\[	18,2 ijklmno	0,5 a
5	109,7 v	28,4 z]\	10,4 mno	0,6 a
6	84,5 wx	43,0 yz]	9,9 no	0,7 a
7	78,4 wxy	40,2 z]\	8,5 o	2,1 a
8	147,3 tu	52,7 wxzy	26,1 ghijklmno	1,5 a
9	76,8 xy	66,7 uvw	30,4 fghijklmn	2,9 a
10	59,8 z	32,6]\[	10,3 mno	1,0 a
11	108,9 v	54,2 wxyz	21,9 hijklmno	1,2 a
12	122,6 v	61,8 vwx	8,3 o	1,2 a
13	93,2 w	50,7 wxyz	13,1 klmno	1,0 a
14	170,6 qr	52,8 wxyz	27,1 ghijklmno	1,5 a
15	140,2 u	62,5 vwx	27,0 ghijklmno	1,4 a
16	158,5 rst	65,2 uvwx	14,8 jklmno	2,0 a
17	68,5 yz	49,6 xyz	10,7 mno	1,8 a
18	68,2 zy	53,9 wxzy	17,9 ijklmno	0,7 a
19	73,8 xyz	54,6 wxyz	19,5 ijklmno	1,4 a
20	39,0]	64,6 uvwx	12,5 klmno	0,9 a
21	288,9 a	130,3 fghi	44,6 cdefg	4,8 a
22	261,1 cd	142,1 cdef	44,0 defg	5,2 a
23	255,5 cdef	143,5 cdef	42,5 defgh	2,3 a
24	236,7 ghijk	152,6 bcd	30,1 fghijklmno	2,3 a
25	246,5 defg	155,7 bc	32,9 fghijk	2,9 a
26	241,4 fghij	124,5 ghijk	31,4 fghijklmn	1,4 a
27	257,8 cde	114,0 jklmn	32,1 fghijklm	3,1 a
28	253,5 def	132,5 fgh	36,7 efghi	2,2 a
29	241,2 fghij	139,9 cdefg	33,8 fghijk	2,9 a
30	230,2 hijkl	129,3 fghij	26,0 ghijklmno	5,2 a

Continua...

Tabela 8. Continuação.

Lote nº	Ambientes de hidratação em laboratório			
	0 atm	-3 atm	-6 atm	-9 atm
31	243,6 efgh	134,5 efgh	24,4 ghijklmno	7,4 a
32	245,9 defgh	112,0 klmn	27,1 ghijklmno	12,7 a
33	226,0 ijklm	115,3 ijklmn	35,0 efghij	10,3 a
34	232,3 ghijkl	149,7 cde	35,9 efghij	1,3 a
35	206,9 nop	165,0 ab	33,5 fghijk	3,1 a
36	172,9 qr	110,2 klmn	29,6 fghijklmno	4,2 a
37	165,6 qrs	109,6 klmno	23,7 ghijklmno	6,3 a
38	239,7 fghij	105,7 lmnop	30,0 fghijklmno	2,4 a
39	218,5 lmn	100,9 nopq	49,1 cdef	1,0 a
40	181,4 q	104,4 mnopq	35,4 efghij	3,3 a
41	280,8 ab	84,2 rst	60,4 abcd	7,9 a
42	243,3 efgh	71,0 tuv	29,5 fghijklmno	8,0 a
43	241,9 efghi	143,1 cdef	44,4 cdefg	1,2 a
44	280,2 ab	178,3 a	78,7 a	4,1 a
45	283,0 ab	143,5 cdef	24,7 ghijklmno	4,0 a
46	269,9 bc	152,0 bcd	71,3 ab	6,3 a
47	154,4 stu	84,4 rst	36,3 efghij	3,8 a
48	169,1 qrs	78,6 stu	42,2 defgh	5,7 a
49	179,1 q	58,8 vwxy	43,4 defgh	4,8 a
50	175,5 q	58,6 vwxy	42,3 defgh	0,7 a
51	221,1 klmn	89,4 qrs	26,8 ghijklmno	3,8 a
52	212,3 mno	103,1 nopq	32,7 fghijkl	0,9 a
53	242,1 efghi	119,2 hijklm	44,4 cdefg	2,9 a
54	202,8 op	99,5 nopqr	60,4 abcd	4,3 a
55	220,6 klmn	107,0 lmnop	60,4 abcd	3,7 a
56	175,8 q	92,2 pqrs	50,7 bcdef	6,4 a
57	195,6 p	93,5 opqrs	25,7 ghijklmno	6,7 a
58	225,4 jklm	142,4 cdef	66,0 abc	8,3 a
59	223,8 klm	120,8 hijkl	39,4 defghi	3,1 a
60	207,5 nop	138,0 defg	56,4 bcde	8,9 a
CV (%)	7,0	8,5	13,2	22,7

Médias seguidas por letras ou sinais distintos nas colunas diferem entre si ao nível de significância de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

atrasa a divisão e a alongação celulares (HABER & LUIPPOLD, 1960; BERLYN, 1972; ROGAN & SIMON, 1975; HEGARTY, 1978).

A redução na disponibilidade hídrica, decorrente da diminuição do potencial hídrico da solução, proporcionou, paralelamente ao decréscimo no crescimento das plântulas, o estreitamento na amplitude de variação das respostas obtidas entre os lotes (Figura 2) de tal forma que, sob -9 atm, não foram detectadas diferenças com significado estatístico (Tabela 8).

De um modo generalizado, consideradas as safras agrícolas, os lotes de números 21 a 60 apresentaram valores superiores aos dos lotes de números 1 a 20. Entre os lotes 21 a 60 não houve separação definida entre os conjuntos de 41 a 60 e de 21 a 40 (Tabela 8 e Figura 3). Conforme destacaram ALIZAGA et al. (1990), sobre a eficiência para diferenciar níveis de qualidade fisiológica de sementes, os testes de crescimento de plântulas permitem separar, unicamente, os lotes de alto dos de baixo vigor. Em relação aos potenciais hídricos empregados, os de 0 e -3 atm permitiram a diferenciação mais nítida entre safras apesar de, quando realizadas comparações com os resultados dos testes de frio, de condutividade elétrica e de germinação sob estresse hídrico de -3 atm, terem apresentado menor eficiência.

Os resultados do estudo do comprimento das plântulas, sob vários ambientes de hidratação em laboratório permitem concluir que as sementes de alto vigor são menos afetadas pelo estresse hídrico do que as de baixo vigor, concordando com observações de PARMAR & MOORE (1968), MATTHEWS & POWELL (1986), HADAS (1977) e SÁ (1987).

Figura 2 . Distribuição dos dados de comprimento das plântulas (mm), de 60 lotes de sementes de milho. Dados obtidos em laboratório sob quatro ambientes de hidratação (0; -3; -6 e - 9 atm).

Figura 3. Comprimento das plântulas (mm), de 60 lotes de sementes de milho das safras agrícolas 1989/90 (lotes 1-20), 1990/91 (lotes 21-40) e 1991/92 (lotes 41-60). Dados obtidos em laboratório sob quatro ambientes de hidratação (0; -3; -6 e -9 atm).

4.2. Avaliação da qualidade fisiológica dos lotes no campo

No 14º dia após a semeadura, foi efetuada contagem das plântulas estabelecidas nos quatro ambientes de hidratação. Nos ambientes de -15 atm e inferior a -15 atm não houve emergência nesse período; nestes casos, no 14º dia após a semeadura, o teor de água no solo passou a ser mantido a -0,5 atm para, no 28º dia, ser realizada a contagem das plântulas emersas.

No ambiente de hidratação inferior a -15 atm, no 14º dia após a semeadura, as sementes apresentavam-se com aspecto de não haverem absorvido água; no entanto, no ambiente de -15 atm, as sementes achavam-se intumescidas. A ausência de emergência, nesses potenciais hídricos, é concordante com dados de HUNTER & ERICKSON (1952) que citam -12,5 atm como limite inferior para o desencadeamento do processo de germinação.

Os dados de emergência em campo (Tabela 9) indicam comportamentos distintos dos lotes quando submetidos aos diferentes ambientes de hidratação. A menor amplitude de dados, para o conjunto dos 60 lotes, foi observada no solo com potencial hídrico de -0,5 atm; entre os demais ambientes, as amplitudes foram similares (Figura 4). Considerada como adequada uma emergência mínima de 85% (BRASIL, 1993), o ambiente de hidratação de -0,5 atm selecionou o maior número de lotes com alto vigor o que, aparentemente, lhe atribuiu a melhor condição para a emergência entre os ambientes de hidratação testados (Tabela 9 e Figura 4).

Tabela 9. Avaliação da qualidade fisiológica no campo: dados médios (%) da emergência de plântulas relativos aos efeitos de ambientes de hidratação de -0,1; -0,5 atm, -15 atm e inferior a -15 atm.

Lote nº	-0,1 atm (%)	-0,5 atm (%)	-15 atm (%)	<-15 atm (%)
1	56,5 st	57,0 qr	57,0 qrs	60,0 rstu
2	60,0 qrs	66,0 lmnopq	57,0 qrs	62,5 rst
3	58,5 rs	61,5 nopqr	60,0 pqr	62,0 rst
4	67,0 pqr	74,5 hijkl	64,5 nopqr	76,0 kl mno
5	71,0 nop	74,5 hijkl	70,0 lmno	75,5 lmno
6	57,0 s	74,0 ijklm	56,0 rs	65,5 pqr
7	58,0 rs	65,5 lmnopqr	59,5 pqr	52,5 uv
8	68,5 opq	72,5 jklm	71,0 klmn	69,0 opqr
9	49,5 uv	71,5 klm	71,0 klmn	69,0 opqr
10	59,0 rs	69,0 klmn	61,0 opqr	63,5 qrs
11	57,0 s	68,5 kl mno	58,0 pqrs	54,5 stuv
12	59,0 st	60,5 nopqr	60,5 pqr	58,5 rs
13	54,0 st	59,5 opqr	57,5 qrs	61,0 rstu
14	59,0 rs	65,0 m nopqr	59,0 pqr	60,0 rstu
15	36,0 v	61,5 nopqr	46,5 t	47,0 vw
16	60,0 qrs	59,0 pqr	70,0 lmno	66,0 pqr
17	44,0 uv	59,5 opqr	42,0 t	53,5 tuw
18	59,0 rs	67,5 kl mnop	71,5 jklmn	72,5 nopq
19	58,0 rs	69,5 klmn	65,5 nopq	63,0 rs
20	45,5 tu	56,5 r	49,0 st	43,0 w
21	78,5 jklmn	81,0 fghij	81,0 defghi	80,0 ghijklmn
22	88,5 abcdefghi	87,5 abcdef	83,5 bcdefghi	87,5 abcdefgh
23	84,5 cdefghijk	87,5 abcdef	81,0 defghi	90,0 abcde
24	81,5 fghijklm	82,5 efghi	79,5 ijklm	84,0 cdefghijkl
25	78,5 jklmn	90,5 abcde	81,5 cdefghi	81,0 efghijklmn
26	84,0 cdefghijk	84,5 cdefg	84,0 abcdefghi	88,0 abcdefg
27	80,0 ijklmn	85,5 bcdef	80,5 efghij	87,0 abcdefghi
28	83,5 defghijkl	91,5 abcde	90,0 abcd	85,0 bcdefghijk
29	90,0 abcdefg	87,5 abcdef	90,5 abc	91,5 abcd
30	86,0 bcdefghij	88,0 abcdef	83,5 bcdefghi	86,5 abcdefghi

Continua...

Tabela 9. Continuação.

Lote nº	-0,1 atm (%)	-0,5 atm (%)	-15 atm (%)	<-15 atm (%)
31	85,0 bcdefghijk	85,0 bcdef	83,5 bcdefghi	90,0 abcde
32	85,0 bcdefghijk	91,0 abcde	86,0 abcdefgh	87,5 abcdefgh
33	76,5 kl mno	88,5 abcdef	80,0 efghijk	78,5 hijklmn
34	83,0 efghijklm	85,5 bcdef	85,5 abcdefgh	84,0 cdefghijkl
35	80,5 hijklm	88,5 abcdef	80,5 efghij	83,0 defghijklm
36	82,5 efghijklm	85,0 bcdef	81,0 defghi	85,5 abcdefghij
37	81,0 ghijklm	85,5 bcdef	86,5 abcdef	84,0 ghijklmn
38	74,5 lmno	86,5 abcdef	78,0 fghijkl	76,5 jklmno
39	84,0 cdefghojk	84,0 cdefg	79,0 fghijkl	91,5 abcd
40	81,0 ghijklm	83,5 cdefg	82,0 cdefghi	83,5 defghijkl
41	84,5 cdefghijk	88,0 abcdef	86,0 abcedfg	90,0 abcde
42	74,0 mnop	83,0 defghi	67,0 mnop	80,5 fghijklmn
43	82,5 efghijklm	75,5 ghijk	78,5 fghijkl	74,0 mnop
44	89,5 abcdefgh	92,0 abcd	77,0 ghijkl	93,0 abc
45	90,5 abcdef	90,0 abcdef	83,0 abcdefghi	89,5 abcdef
46	81,0 ghijklm	91,5 abcde	81,0 defghi	91,0 abcd
47	82,0 fghijklm	85,0 bcdef	82,5 bcdefghi	84,0 cdefghijkl
48	85,5 bcdefghijk	88,0 abcdef	81,5 cdefghi	92,0 abcd
49	91,5 abcde	92,5 abc	89,0 abcde	92,0 abcd
50	84,5 cdefghijk	90,5 abcde	80,0 efghijk	90,5 abcd
51	94,0 ab	87,5 abcdef	85,0 abcdefgh	89,0 abcdefg
52	83,0 efghijklm	91,0 abcde	86,5 abcdef	91,0 abcd
53	83,5 defghijkl	89,5 abcdef	78,0 fghijkl	88,5 abcdefg
54	86,0 bcdefghij	87,0 abcdef	79,5 fghijk	84,0 cdefghijkl
55	83,0 efghijklm	86,5 abcdef	86,5 abcdef	91,0 abcd
56	82,5 efghijklm	86,5 abcdef	82,5 bcdefghi	78,0 ijklmno
57	79,0 jklm	88,0 abcedf	76,5 hijkl	91,0 abcd
58	93,0 abc	95,0 a	93,0 a	94,5 a
59	96,0 a	91,0 abcde	90,5 abc	93,5 ab
60	92,5 abcd	94,0 ab	91,5 ab	93,5 ab
CV (%)	4,5	4,3	4,0	3,7

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si ao nível de significância de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O tempo requerido, para o início da germinação, é maior sob potenciais hídricos reduzidos (PHILLIPS, 1968; SILVA, 1989) e, o crescimento das plântulas, prejudicado (PARMAR & MOORE, 1968; MAGALHÃES & CARELLI, 1972; EL-SHARKAWI & SPRINGEL, 1977; YOUNG et al., 1983; MAGALHÃES & SILVA, 1987 e SÁ, 1987). Desse modo, à medida em que decresce o potencial hídrico, pode surgir resposta diferenciada, segundo o vigor das sementes, relacionada à maior capacidade das sementes de alto vigor superarem condições adversas (MARCOS FILHO et al., 1987).

Para o estabelecimento das plântulas no campo, tanto o excesso como o déficit hídricos são fatores desfavoráveis (BRADFORD, 1986). O estresse hídrico pode resultar no atraso, na redução ou, ainda, no impedimento da germinação (HEGARTY, 1977). Sementes colocadas em solo com teor de água desfavorável para a germinação estão, na realidade, armazenadas neste ambiente e, dependendo do período de sua permanência no solo, poderão germinar assim que as condições adversas de disponibilidade hídrica sejam superadas pela chuva ou pela irrigação. No entanto, o solo não é considerado um ambiente adequado à conservação de sementes (PESKE & DELOUCHE, 1985). Segundo HARRINGTON (1972), quando a semente apresenta teores de água entre 12-14% e 18-20%, pode ocorrer o desenvolvimento de microrganismos, principalmente fungos. Quando esse teor estiver no intervalo de 18-20% a 45-60%, a velocidade respiratória da semente e dos microrganismos é elevada, advindo a deterioração progressiva da semente.

Figura 4. Distribuição dos dados de emergência das plântulas (%) de 60 lotes de sementes de milho. Dados obtidos em campo sob quatro ambientes de hidratação no solo (-0,1; -0,5; -15 e inferior a -15 atm).

Para a soja, cujo teor de água da semente necessário para o andamento do processo germinativo é de 52 a 55% (HUNTER & ERICKSON, 1952; BURCH & DELOUCHE, 1959), a faixa do teor de água das sementes no solo, mais relacionada à perda da capacidade de emergência, situa-se entre 30 e 50%. Assim, as sementes de soja, mantidas no solo, com teor de água imediatamente abaixo do mínimo requerido para a germinação, reduzem a taxa de emergência das plântulas mais drasticamente do que quando secas (PESKE & DELOUCHE, 1985).

Quando a semente apresenta teor de água superior ao ideal, para o armazenamento adequado, e inferior ao requerido para iniciar a germinação, a respiração eleva-se ao ponto de favorecer a deterioração. Na semente de milho, essa faixa deve situar-se, possivelmente, entre 18 e 28% para o teor de água da semente; neste intervalo, a semente degrada as substâncias de reserva e as transporta para os tecidos meristemáticos. O eixo embrionário, contudo, apesar de estar recebendo nutrientes, não consegue emitir a raiz por limitações hídricas (BEWLEY & BLACK, 1983). Consequentemente, não dispendo de água para continuar o processo de germinação, a semente passa a consumir as substâncias de reserva, através da respiração, e a comprometer as demais atividades metabólicas.

São de ocorrência comum, no campo, as situações de déficit hídrico em que a hidratação das sementes ocorre sem que haja a germinação completa e o subsequente estabelecimento da planta. Estas sementes, embebidas a um nível que não permite o desenvolvimento da plântula, poderão tolerar a condição de estresse hídrico e, na supressão desta, continuar o processo de estabelecimento ou morrer por causas fisiológicas ou patológicas (HEGARTY, 1977).

Fisiologicamente, o início da germinação depende do acoplamento da respiração ao crescimento. Contudo, enquanto o crescimento da raiz pode ser vinculado ao aumento da respiração, a respiração pode acontecer, expressivamente, na ausência do referido crescimento. Assim, as sementes, impedidas de emitir a raiz, utilizam a energia proveniente da respiração em processos metabólicos localizados nas próprias células (HABER & LUIPPOLD, 1960; HEGARTY, 1977).

A Tabela 9 permite observar que as sementes, de menor idade, tiveram desempenho superior nas condições de estresse hídrico no campo. Esse fato parece relacionado à capacidade das sementes de maior vigor estabelecerem plântulas sob condições adversas (PARMAR & MOORE, 1968; MATTHEWS & POWELL, 1986; SÁ, 1987).

Sementes com alto vigor apresentam alto peso em matéria seca (POPINIGIS, 1977; CARVALHO & NAKAGAWA, 1988; BARROS, 1986), baixa deterioração (DELOUCHE & BASKIN, 1973; ROOS, 1986) e alto nível de energia (CARVALHO, 1986). Assim,

uma vez expostas às condições adversas de estresse hídrico, devem, possivelmente, utilizar essa energia de maneira a possibilitar o crescimento da raiz e o desenvolvimento da plântula. Por outro lado, as sementes de baixo vigor, apresentando alta deterioração (POPINIGIS, 1977; ROOS, 1986) e baixo nível de energia, não conseguem superar condições adversas e apresentam desempenho inferior nestas condições.

A germinação é um dos estádios críticos da cultura do milho em relação à disponibilidade de água (FANCELLI, 1990). A maioria dos trabalhos relaciona a necessidade de água exigida, por determinada espécie vegetal, no período entre a semeadura e a emergência. Em relação ao potencial hídrico do solo para a germinação, a bibliografia recomenda a manutenção do solo nos níveis da capacidade de campo (COPELAND, 1976; POPINIGIS, 1977). No entanto, no estudo da emergência das plântulas em campo sob vários ambientes de hidratação, foi observado desempenho superior das sementes em níveis de água do solo situados abaixo da capacidade de campo; estudos de laboratório (PIANA, 1980; PESKE & DELOUCHE, 1985 e PIANA, et al., 1993) apoiam essa observação. Em soja, a maior emergência ocorreu, em solo arenoso, sob disponibilidade hídrica de $-0,2$ atm (PIANA, 1980), entre $-0,31$ atm e $-1,4$ atm em solo franco arenoso e, entre $-1,9$ atm e $-7,0$ atm, em solo franco argiloso siltoso (PESKE & DELOUCHE, 1985). Essa variação nos valores de potencial hídrico do solo é explicada pela relação entre a

tensão de água no solo e a água disponível às plantas (MEDINA & AMARO FILHO, 1989).

Foi observada, no estudo da emergência das plântulas em campo sob vários ambientes de hidratação, emergência superior em condições de 50% (-0,5 atm) da capacidade de campo (Figura 4), concordando com os resultados obtidos por RAZERA (1982). NIJENSTEIN (1988) obteve emergência mais alta, em sementes de milho, com solo apresentando 34% da capacidade de retenção máxima de água, em condições de restrição térmica de 8,5°C.

O comportamento dos lotes, por safras agrícolas, expostos a quatro situações distintas de disponibilidade hídrica, foi semelhante ao verificado para o conjunto de 60 lotes. Foi observado um desempenho superior, para os três conjuntos de 20 lotes, no ambiente de hidratação de -0,5 atm, correspondente ao teor de água no solo equivalente à 50% da capacidade de campo.

Tanto o excesso como o déficit hídricos foram desfavoráveis ao estabelecimento das plântulas no campo. Para os lotes de números 41 a 60 (sementes com idade inferior), e de 1 a 20 (sementes mais velhas), o estresse hídrico ampliou a variabilidade de desempenho entre os lotes (Figura 5). Os lotes 1 a 20 que apresentaram, no teste de frio, resultados inferiores à 70% (baixo vigor) mostraram desempenho inferior nas quatro situações de disponibilidade hídrica; por outro lado, os lotes 41 a 60, de médio e alto vigor (com exceção dos lotes 42 e 43), apresentaram desempenho superior nos mesmos ambientes de hidratação.

Figura 5. Emergência das plântulas (%), de 60 lotes de sementes de milho, das safras agrícolas 1989/90 (lotes 1-20), 1990/91 (lotes 21-40) e 1991/92 (lotes 41-60). Dados obtidos em campo sob quatro ambientes de hidratação no solo (-0,1; -0,5; -15 e inferior a -15 atm).

4.3. Correlações entre os testes de avaliação da qualidade fisiológica dos lotes em laboratório e no campo

A maioria dos estudos, efetuados com o objetivo de associar o desempenho de sementes submetidas a testes distintos, envolve análise de correlação entre os dados obtidos. Como referência, podem ser citados os trabalhos conduzidos por SCOTT & CLOSE (1976), TEKRONY & EGLI (1977), MARCOS FILHO et al. (1984), LIN (1988), VAN DE VENTER (1988), BRUGGINK et al. (1991). Assim, foram determinados os coeficientes de correlação simples (r) entre os dados coletados nos diferentes testes para o conjunto dos 60 lotes e para os grupos de 20 lotes, representando as safras agrícolas.

Para o presente estudo foram considerados os valores de r que, estatisticamente significativos, eram superiores a 0,80 em valor absoluto.

Foi observada a existência de correlação positiva altamente significativa entre os testes de germinação, de frio e de germinação sob estresse hídrico e correlação negativa altamente significativa, entre estes e o teste de condutividade elétrica (Tabela 10). A correlação negativa, entre o teste de condutividade elétrica e os demais, é justificada; as sementes deterioradas liberam maior quantidade de eletrólitos para a solução, indicando valores crescentes à medida em que o vigor das sementes decresce. Nos demais testes empregados ocorre o inverso, ou seja, valores numéricos mais altos indicam maior vigor.

Tabela 10. Coeficientes de correlação simples (r) entre os testes de germinação (G), de frio (F), de condutividade elétrica (CE), de germinação sob estresse hídrico de -3atm (GE), de comprimento de plântulas (CP) e de emergência no campo (E). Foram considerados 60 lotes provenientes das safras 1989/90, 1990/91 e 1991/92.

Testes	Testes					
	G	F	CE	GE	E	
					-0,1atm	-0,5atm -15atm <-15atm
CP (0 atm)	0,73**	0,80**	-0,67**	0,86**	0,80**	0,81** 0,77** 0,78**
CP (-3 atm)	0,69**	0,72**	-0,62**	0,79**	0,72**	0,74** 0,72** 0,69**
CP (-6 atm)	0,72**	0,73**	-0,74**	0,72**	0,66**	0,70** 0,64** 0,68**
CP (-9 atm)	0,48**	0,61**	-0,55**	0,58**	0,50**	0,58** 0,52** 0,50**
G	1,00**	0,83**	-0,74**	0,85**	0,87**	0,88** 0,85** 0,89**
F	0,83**	1,00**	-0,83**	0,91**	0,92**	0,93** 0,86** 0,89**
CE	-0,74**	-0,83**	1,00**	-0,80**	-0,81**	-0,81** -0,75** -0,82**
GE	0,85**	0,91**	-0,80**	1,00**	0,87**	0,89** 0,86** 0,86**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

As informações, obtidas pelo uso do coeficiente de correlação simples, permitem a análise da dependência entre as variáveis em estudo (GOMES, 1990). Conforme destacaram TEKRONY & EGLY (1977) e MARCOS FILHO et al. (1984), a correlação significativa indica tendência de variação semelhante entre dois parâmetros; não significa, porém, que haja correspondente precisão das estimativas de ambos.

Em condições normais, logo após a maturidade fisiológica, a semente apresenta valores de germinação muito próximos aos obtidos no teste de frio. À medida em que a semente avança na idade, o poder germinativo tende a decrescer menos aceleradamente do que o vigor (MEDINA & MARCOS FILHO, 1990). Assim, quanto mais distante da capacidade máxima de germinação estiver o parâmetro avaliado por um teste de vigor, maior será a sensibilidade deste teste que, assim, complementarará as informações obtidas no teste de germinação (AOSA, 1983).

O teste de germinação sob estresse hídrico apresentou maior correlação ($r = 0,91$) com o teste de frio do que com o teste padrão de germinação ($r = 0,83$); o fato pode ser atribuído às limitações hídricas impostas pelo teste de frio (NIJENSTEIN, 1988; CÍCERO & VIEIRA, 1994).

O teste de condutividade elétrica apresentou correlação significativa com o teste de germinação. O coeficiente de correlação simples foi de $-0,74$.

Foram observadas correlações positivas altamente significativas, com r superior a 0,80, dos testes de frio e de germinação sob estresse hídrico com o teste de comprimento de plântulas em 0 atm. Os demais testes de avaliação da qualidade fisiológica das sementes apresentaram correlações altamente significativas com o teste de comprimento das plântulas sob -3, -6 e -9 atm; porém, os valores de r foram inferiores a 0,80 (Tabela 10).

Correlações altamente significativas foram observadas entre os testes de germinação, de frio, de condutividade elétrica e de germinação sob estresse hídrico com o teste de emergência em campo, nas quatro situações de disponibilidade hídrica (Tabela 10).

Os coeficientes de correlação simples (r) entre os testes de frio e de emergência em campo, em quatro situações de disponibilidade hídrica, mostraram-se superiores a 0,80 (Tabela 10). Correlações similares entre os dois testes são citadas por HOPE (1956), AOSA (1983) e BRUGGINK et al. (1991).

De um modo geral, os lotes, que tiveram desempenho superior no teste de germinação sob estresse hídrico de -3 atm, foram os mesmos que apresentaram menor decréscimo, em valores numéricos, na porcentagem de emergência de plântulas em campo sob potencial hídrico de -15 atm.

Os coeficientes de correlação entre os testes de germinação sob estresse hídrico de -3 atm e de emergência em campo, nos quatro ambientes de hidratação, foram semelhantes aos obtidos entre ambos e o teste de frio. Dessa forma, os testes de frio e de germinação sob estresse hídrico (-3 atm) mostraram-se semelhantes em relação à capacidade de previsão do desempenho das sementes em condições de campo.

Correlações negativas, com r inferior a $-0,80$, foram observadas entre os testes de condutividade elétrica e os de emergência em campo em três das situações de disponibilidade hídrica ($-0,1$ atm, $-0,5$ atm e inferior a -15 atm).

Foram observadas correlações positivas, com r superior a $0,80$, entre o teste de comprimento de plântulas, no ambiente de hidratação de 0 atm, e os testes de emergência em campo, nos ambientes de hidratação de $-0,1$ atm e de $-0,5$ atm. Para as demais situações de disponibilidade hídrica, foram observadas correlações altamente significativas com o valor de r inferior a $0,80$ (Tabela 10).

Os coeficientes de correlação simples, entre o teste de porcentagem de emergência em campo e o teste de comprimento de plântulas decresceram de $0,80$ para $0,50$, no ambiente de hidratação de $-0,1$ atm no campo, quando o potencial hídrico da solução, em laboratório, decresceu de 0 atm para -9 atm (Tabela 10). Em termos gerais, o coeficiente de correlação decresceu à medida em que, mantido inalterado o

potencial hídrico do solo, decresceu o potencial hídrico do ambiente de laboratório.

Numa análise geral, observa-se que os testes padrão de germinação, de frio, de condutividade elétrica, de germinação sob estresse hídrico de -3 atm e de comprimento de plântulas sob 0 atm apresentaram altos coeficientes de correlação com a porcentagem de emergência em campo. Desses testes, o de condutividade elétrica apresentou r , em valor absoluto, inferior a $0,80$ para o ambiente de hidratação no campo de -15 atm, que possibilitou o pior desempenho para as sementes. O teste de comprimento de plântulas apresentou r inferior a $0,80$ para dois dos ambientes de disponibilidade hídrica (-15 e inferior a -15 atm). Assim, os testes, que indicaram correlações altamente significativas e r superior a $0,80$, com a emergência em campo, nas quatro situações de disponibilidade hídrica, foram o de frio e o de germinação sob estresse hídrico de -3 atm.

A análise de correlação foi feita, ainda, considerando as safras agrícolas separadamente, no sentido de observar o comportamento relativo entre lotes com a mesma idade. Os coeficientes de correlação simples (r) entre os diferentes testes, para as safras agrícolas 1989/90, 1990/91 e 1991/92, são mostrados nas Tabelas 11, 12 e 13, respectivamente.

Para a safra agrícola 1989/90, foi observada correlação positiva altamente significativa, com r superior a 0,80, entre os testes de frio e de comprimento das plântulas, na disponibilidade hídrica de -3 atm. Para os demais casos de comparação não foram encontradas correlações significativas com r superior a 0,80 (Tabela 11).

Para a safra agrícola 1990/91, representando sementes com 18 meses de idade, não foram observadas correlações com valor de r superior a 0,80 entre os testes conduzidos (Tabela 12).

Para a safra agrícola 1991/92, originadora de sementes com 6 meses de idade, foram observadas correlações positivas altamente significativas, com valor de r superior a 0,80, entre os testes de germinação e de emergência em campo, nas situações de disponibilidade hídrica de -0,5 atm e inferior a -15 atm. Correlação de mesma caracterização foi observada, também, entre os testes de frio e de emergência no campo sob -0,5 atm (Tabela 13). Entre os demais testes foram observadas correlações significativas com r inferior a 0,80.

Tabela 11. Coeficientes de correlação simples (r) entre os testes de germinação (G), de frio (F), de condutividade elétrica (OE), de germinação sob estresse hídrico de -3atm (GE), de comprimento de plântulas (CP) e de emergência no campo (E). Foram considerados 20 lotes provenientes da safra 1989/90.

Testes	Testes					
	G	F	OE	GE	E	
					-0,1atm	-0,5atm -15atm <-15atm
CP (0 atm)	0,12	-0,10	-0,35	0,77**	0,22	0,12 0,25 0,17
CP (-3 atm)	-0,01	-0,81**	0,02	0,53**	-0,43	-0,14 0,01 -0,27
CP (-6 atm)	0,12	-0,12	0,09	0,27	-0,16	0,20 0,20 0,08
CP (-9 atm)	-0,18	-0,31	0,33	0,13	-0,33	-0,12 0,07 -0,21
G	1,00**	0,03	-0,14	0,09	0,39	0,48 0,41 0,57**
F	0,03	1,00**	-0,09	-0,40	0,46	0,23 0,03 0,39
OE	-0,14	-0,09	1,00**	-0,09	-0,15	-0,21 -0,10 -0,40
GE	0,09	-0,40	-0,09	1,00**	-0,02	-0,23 0,14 -0,04

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 12. Coeficientes de correlação simples (r) entre os testes de germinação (G), de frio (F), de condutividade elétrica (OE), de germinação sob estresse hídrico de -3atm (GE), de comprimento de plântulas (OP) e de emergência no campo (E). Foram considerados 20 lotes provenientes da safra 1990/91.

Testes	Testes						
	G	F	OE	GE	E		
					-0,1atm	-0,5atm	-15atm <-15atm
OP (0 atm)	-0,54**	0,04	0,18	-0,28	0,10	0,11	0,02 0,05
OP (-3 atm)	-0,25	0,08	-0,21	-0,24	0,21	0,21	0,05 0,03
OP (-6 atm)	0,03	-0,23	-0,01	0,11	0,08	-0,17	-0,16 0,12
OP (-9 atm)	0,02	0,52**	-0,01	-0,03	-0,01	0,31	0,14 -0,10
G	1,00**	-0,46	-0,29	0,14	0,02	-0,24	-0,18 0,10
F	-0,46	1,00**	0,13	0,29	-0,27	0,52**	0,18 -0,46
OE	-0,29	0,13	1,00**	-0,29	-0,44	-0,47*	-0,41 -0,45
GE	0,14	0,29	-0,29	1,00**	-0,08	0,22	0,17 0,07

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 13. Coeficientes de correlação simples (r) entre os testes de germinação (G), de frio (F), de condutividade elétrica (OE), de germinação sob estresse hídrico de -3atm (OE), de comprimento de plântulas (CP) e de emergência no campo (E). Foram considerados 20 lotes provenientes da safra 1991/92.

Testes	Testes						
	G	F	OE	OE	CP	E	
CP (0 atm)	-0,13	0,06	-0,02	0,09	0,05	0,04	0,15
CP (-3 atm)	0,16	0,34	-0,28	0,27	0,29	0,18	0,12
CP (-6 atm)	0,09	0,46	-0,47	0,31	0,13	0,30	0,20
CP (-9 atm)	0,02	0,25	-0,50	0,45	-0,03	0,27	0,08
G	1,00**	0,78**	-0,44	0,63**	0,71**	0,81**	0,74**
F	0,78**	1,00**	-0,71**	0,71**	0,72**	0,81**	0,76**
OE	-0,44	-0,71**	1,00**	-0,57**	-0,58**	-0,57**	-0,49**
OE	0,63**	0,71**	-0,57**	1,00**	0,36	0,67**	0,55**

* significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Para os lotes da safra 1991/92, as correlações positivas altamente significativas, com r superior a 0,80, entre os testes de germinação e de emergência em campo nas situações de disponibilidade hídrica de -0,5 atm e inferior a -15 atm, são explicadas pelo fato do teste de germinação ser conduzido em condições artificiais favoráveis à máxima expressão do potencial germinativo das sementes. No campo, as situações de disponibilidade hídrica de -0,5 atm e inferior a -15 atm possibilitaram a mais alta emergência de plântulas.

A análise de correlação indicou maior frequência de similaridade de respostas entre testes, principalmente, quando existiu maior amplitude entre os dados dos tratamentos, caso constatado para o conjunto dos 60 lotes. Porém, quando a referida amplitude não ocorreu, as relações entre os testes tenderam a se tornar escassas como, por exemplo, quando foram estudadas, isoladamente, as safras. Resultados semelhantes foram obtidos por SCOTT & CLOSE (1976), trabalhando com sementes de ervilha; quando feita a análise de correlação para um grupo de 98 lotes, apresentando germinação entre 47 e 98%, o coeficiente de correlação simples, entre a porcentagem de germinação em laboratório e a emergência em campo, foi de 0,76 enquanto a correlação entre a condutividade elétrica e a emergência em campo, foi de -0,59. Todavia, quando a análise foi realizada com 73 dos 98 lotes, eliminando os que apresentavam germinação inferior a 90%, o coeficiente de correlação simples foi de 0,27, para o primeiro caso, e de -0,32, para o segundo.

4.4. Discussão geral

Considerada a emergência em campo, em ambientes diferenciados quanto à disponibilidade hídrica, os testes de frio e de germinação sob estresse hídrico (-3 atm) proporcionaram as estimativas mais aproximadas para o desempenho dos lotes. Os demais testes, apesar de apropriados à previsão de desempenho em alguns casos, foram, em termos gerais, menos eficientes.

O emprego, em laboratório, do déficit hídrico para a classificação do vigor, entre diferentes lotes, permite separações relacionadas ao desempenho em situações de campo com limitações na disponibilidade de água.

5. CONCLUSÕES

A reunião das informações coletadas permitiu as seguintes conclusões:

- A deficiência hídrica retarda o desenvolvimento das plântulas durante a germinação das sementes de milho. Sementes, com vigor mais elevado, apresentam desempenho superior nessa condição.

- O potencial hídrico de $-0,5$ atm, no solo, possibilita emergência superior às sementes de milho.

- Os testes, de frio e de germinação sob estresse hídrico de -3 atm, podem ser usados para estimar o desempenho das sementes de milho em situações desfavoráveis de disponibilidade hídrica no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEGBUYI, E.; COOPER, S.R.; DON, R. Osmotic priming of some herbage grass seed using polyethylene glycol (PEG). *Seed Science and Technology*, Zurich, 9(3): 867-78, 1981.
- ALIZAGA R.L.; MELLO, V.D.C.; SANTOS, D.S.B.; IRIGON, D.L. Avaliação de testes de vigor em sementes de feijão e suas relações com a emergência a campo. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, 12(2): 44-58, 1990.
- ARNOLD, C.Y. Soil moistures stress and sweet corn seedling development. *Hortscience*, Alexandria, 9(3): 222-3, 1974.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. Seed Vigor Test Committee. *Seed vigor testing handbook*. Lincoln, 1983. 88p. (Contribution, 32).
- AWAD, M. & CASTRO, P.R.C. *Introdução à fisiologia vegetal*. São Paulo, Nobel, 1989. 177p.
- BARROS, A.S.R. Maturação e colheita de sementes. In: SEMANA DE ATUALIZAÇÃO EM PRODUÇÃO DE SEMENTES, 1., Piracicaba, 1986. *Trabalhos apresentados*. Campinas, Fundação Cargill, 1986. p.107-34.

- BARROS, A.S.R. & DIAS, M.C.L.L. Aferição de testes de vigor para sementes de milho. **Informativo ABRATES**, Brasília, 2(4): 10-22, 1992.
- BEDFORD, L.V. Germination testing. **Agriculture**, Québec, 78(5): 195-202, 1971.
- BERLYN, G.P. Seed germination and morphogenesis. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. **Seed biology**. New York, Academic Press, 1972, v.2, p.223-312.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa, UFV, 1986. 488p.
- BEWLEY, J.D. & BLACK, M. **Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination**. Berlim, Springer-Verlag, 1983. v.1, 306p.
- BEWLEY, J.D. & BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York, Plenum Press, 1985. 367p.
- BODSWORTH, S. & BEWLEY, J.D. Osmotic priming of seeds of crop species with polyethylene glycol as a means of enhancing early and synchronous germination at cool temperatures. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, 59: 672-6, 1981.
- BRADFORD, K.J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve gemination under stress conditions. **HortScience**, Alexandria, 21(5): 1105-12, 1986.

- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Regras para análise de sementes. Brasília, 1992. 365p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Padrões estaduais de sementes. Brasília, EMBRAPA-SPI, 1993. 47p.
- BRUGGINK, H.; KRAAK, H.L.; BEKENDAM, J. Some factors affecting maize (*Zea mays* L.) cold test results. *Seed Science and Technology*, Zurich, 19: 15-23, 1991.
- BURCH, T.A. & DELOUCHE, J.C. Absorption of water by seeds. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts*. Oklahoma City, 49: 142-50, 1959.
- BURRIS, J.S. & NAVRATIL, R.J. Relationship between laboratory cold-test methods and field emergency in maize inbreds. *Agronomy Journal*, Madison, 71: 985-8, 1979.
- CAMARGO, A.; PINTO, H.S.; PEPRO Jr., M.J.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A. Clima do Estado de São Paulo. In: INSTITUTO AGRONÔMICO. Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo. Campinas, 1974. v.1.
- CARVALHO, N.M. Vigor de sementes. In: CÍCERO, S.M.; MARCOS FILHO, J.; SILVA, W.R. Atualização em produção de sementes. Campinas, Fundação Cargill, 1986. p.207-23.
- CARVALHO, N.M. O conceito de vigor em sementes. In: VIEIRA, R.D. & CARVALHO, N.M. Testes de vigor em sementes. Jaboticabal, FUNEP, 1994. p.1-30.

- CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J. **Sementes; ciência, tecnologia e produção.** 3.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1988. 429p.
- CARVALHO, N.M. & SPINA, I.A.T. Relações entre o tamanho, a velocidade de embebição de água e a velocidade de germinação de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 33., Salvador, 1981. Resumos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, 33(7): 6, 1981 (Suplemento).
- CÍCERO, S.M. & VIEIRA, R.D. Teste de frio. In: VIEIRA, R.D. & CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes.** Jaboticabal, FUNEP, 1994. p.151-64.
- COLLIS-GEORGE, N. & HECTOR, J.B. Germination of seeds as influenced by matric potential and by area of contact between the seed and soil water. **Australian Journal of Soil Research**, East Melbourne, 4: 145-65, 1966.
- COLLIS-GEORGE, N. & SANDS, J.E. Comparison of the effects of the physical and chemical components of soil water energy on seed germination. **Australian Journal of Agricultural Research**, East Melbourne, 13: 574-84, 1962.
- COPELAND, L.O. **Principles of seed science and technology.** Minneapolis, Burgess Publ., 1976. 369p.
- DAN, E.L.; MELLO, V.D.C.; WETZEL, C.T.; POPINIGIS, F.; ZONTA, E.P. Transferência de matéria seca como método de avaliação do vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, 9(3): 45-55, 1987.

- DASBERG, S. & MENDEL, K. The effect of soil water and aeration on seed germination. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, 22: 992-8, 1971.
- DELOUCHE, J.C. & BASKIN, C.C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science and Technology*, Zurich, 1(2): 427-552, 1973.
- DONEEN, L.D. & MacGILLIVRAY, J.H. Germination (Emergence) of vegetable seed as affected by different soil moisture conditions. *Plant Physiology*, Rockville, 18: 524-9, 1943.
- EDJE, O.T. & BURRIS, J.S. Seedling vigor in soybeans. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts*, Oklahoma City, 60: 149-57, 1970.
- EDWARDS, C.J. & HARTWIG, E.E. Effect of seed upon rate of germination in soybeans. *Agronomy Journal*, Madison, 63: 429-30, 1971.
- EL-SHARKAWI, H.M. & SPRINGUEL, I. Germination of some crop seeds under reduced water potential. *Seed Science and Technology*, Zurich, 5: 677-88, 1977.
- EMMERICH, W.E. & HARDEGREE, S.P. Polyethylene glycol solution contact effects on seed germination. *Agronomy Journal*, Madison, 82: 1103-7, 1990.
- EMMERICH, W.E. & HARDEGREE, S.P. Seed germination in polyethylene glycol solution: Effects of filter paper exclusion and water vapor loss. *Crop Science*, Madison, 31: 454-8, 1991.

- EVANS, W.F. & STICKLER, F.C. Grain sorghum seed germination under moisture and temperature stresses. *Agronomy Journal*, Madison, 53(6): 369-72, 1961.
- FANCELLI, A.L. Exigências climáticas e fenologia do milho. In: _____. *Milho*. Piracicaba, FEALQ, 1990. p.1-16.
- FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A.; COSTA, N.P. Estudo da deterioração da semente de soja no solo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Soja. *Resultados de pesquisa de soja-1984/85*. Londrina, 1985. p.440-5.
- FRATIN, P. Comparação entre métodos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1987. 191p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- GILL, N.S. & DELOUCHE, J.C. Deterioration of seed corn during storage. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts*, Oklahoma City, 63: 33-50, 1973.
- GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 13ª ed. Piracicaba, Livraria Nobel, 1990. 467p.
- GOMES, J. Parâmetros ambientais e épocas de semeadura. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *O milho no Paraná*. Londrina, 1982, p.51-6.
- GOMES, J. & KARAZAWA, M. Como a planta de milho se desenvolve. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. *O milho no Paraná*. Londrina, IAPAR, 1982. p.35-50.

- GOMES, J.; KARAZAWA, M.; GERAGE, A.C.; GRODZKI, L. Produção de milho e distribuição de chuvas e temperatura. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 13., Londrina, 1980. Resumos. Londrina, IAPAR, 1980. p.57.
- GRABE, D.F. Measurement of seed vigor. *Journal of Seed Technology*, Madison, 1(2): 18-31, 1976.
- GRABE, A.R. & DANIELSON, R.E. Effect of CO₂, O₂ and soil moisture suction on germination of corn and soybeans. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 29: 12-8, 1965.
- GRAY, D. Effects of temperature on the germination and emergence of lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties. *Journal of Horticultural Science*, London, 50(4): 349-61, 1975.
- GRAY, D. & STECKEL, J.R.A. The effects of pre-sowing seed treatments on the germination and emergence of lettuce seeds at high salt concentrations. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, 5(1): 1-9, 1976.
- GULLIVER, R.L. & HEYDECKER, W. Establishment of seedling in a changeable environment. In: HEYDECKER, W. ed. *Seed ecology*. Nottingham, Pennsylvania State University Press, 1973. p.433-62.
- GURMU, M. & NAYLOR, R.E.L. Effects of low water availability on germination of two sorghum cultivars. *Seed Science and Technology*, Zurich, 19: 373-83, 1991.

- HABER, A.H. & LUIPPOLD, H.J. Separation of mechanisms initiating cell division and cell expansion in lettuce germination. *Plant Physiology*, Rockville, 35: 168-73, 1960.
- HADAS, A. Water uptake and germination of leguminous seeds under changing external water potential in osmotic solutions. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, 27: 480-9, 1976.
- HADAS, A. A suggested method for testing seed vigor under water stress in simulated arid conditions. *Seed Science and Technology*, Zurich, 5: 519-25, 1977.
- HARMAN, D. Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry. *Journal of Gerontology*, Springfield, 11: 298-300, 1956.
- HARRINGTON, J.F. Seed storage and longevity. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. *Seed biology*. New York, Academic Press, 1972. p.145-245.
- HEGARTY, T.W. Seed activation and seed germination under moisture stress. *New Phytologist*, London, 78: 349-59, 1977.
- HEGARTY, T.W. The physiology of seed hydratation and dehydration, and the relation between water stress and the control of germination: a review. *Plant, Cell and Environment*, London, 1: 101-19, 1978.
- HEGARTY, T.W. & ROSS, H.A. Investigations of control mechanisms of germination under water stress. *Israel Journal of Botany*, Jerusalem, 29: 83-92, 1981.

- HELMERICK, R.H. & PFEIFER, R.P. Differential varietal responses of winter wheat germination and early growth to controlled limited moisture conditions. *Agronomy Journal*, Madison, **46**(12): 560-2, 1954.
- HEPBURN, H.A.; POWELL, A.A.; MATTHEWS, S. Problems associated with routine application of electrical conductivity measurements of individual seeds in the germination testing of peas and soybeans. *Seed Science and Technology*, Zurich, **12**: 403-13, 1984.
- HEYDECKER, W.; HIGGINS, J.; TURNER, Y.J. Invigoration of seeds? *Seed Science & Technology*, Zurich, **3**: 881-8, 1975.
- HIBBARD, R.P. & MILLER, E.V. Biochemical studies on seed viability. I. Measurements of conductance and reduction. *Plant Physiology*, Rockville, **3**: 335-52, 1928.
- HOPPE, P.E. Correlation between corn germination in laboratory cold test and stands in the field. *Plant Disease Reporter*, St. Paul, **40**(10): 887-9, 1956.
- HOTTES, C.F. & HUELSEN, W.E. The determination of quality in sweet corn seed by means of the optical measurement of leached materials. *Journal of Agricultural Research*, Lahore, **34**: 147, 1927.
- HUNTER, J.R. & ERICKSON, A.E. Relation of seed germination to soil moisture tension. *Agronomy Journal*, Madison, **44**: 107-9, 1952.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. *Handbook of vigour test methods*. Zurich, 1981. 72p.

- JACKSON, W.T. Use of Carbowaxes (Polyethylene Glycols) as Osmotic Agents. *Plant Physiology*, Rockville, 37(4): 513-9, 1962.
- JACKSON, W.T. Mannitol-induced stimulation of elongation of root hairs of *Agrotis alba* L. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, 18: 24-30, 1965.
- KANN, A. An analysis of "dark-osmotic inhibition" on germination of lettuce seeds. *Plant Physiology*, Rockville, 35(1): 1-7, 1960.
- KAUFMANN, M.R. Effects of water potential on germination of lettuce, sunflower and citrus seeds. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, 47(1): 1761-4, 1969.
- KERMODE, A.R.; BEWLEY, J.D.; DASGUPTA, J.; MISRA, S. The transition from seed development to germination: a key role for desiccation? *HortScience*, Alexandria, 21(5): 1113-7, 1986.
- KNYPL, J.S. & KHAN, A.A. Osmoconditioning of soybean seeds to improve performance at suboptimal temperatures. *Agronomy Journal*, Madison, 73: 112-6, 1981.
- KRAMER, P.J.; KNIPLING, E.B.; MILLER, L.N. Terminology of cell-water relations. *Science*, New York, 155: 889-90, 1966.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A. Relato dos testes de vigor disponiveis para as grandes culturas. *Informativo ABRATES*, Brasília, 1(1): 15-50, 1991.

- KUMAR, A.; PRAKASH, S.; NAUTIYAL, M. Effect of water stress on germination and seedling growth of three vegetable pea (*Pisum sativum* L.) varieties. *Current Science*, Bangalore, 59(10): 519-20, 1990.
- LABOURIAU, L.G. *A germinação das sementes*. Washington, OEA, 1983. 174p.
- LAGERWERFF, J.V.; OGATA, G.E.; EAGLE, H.E. Control of osmotic pressure of culture solutions by means of polyethylene glycol. *Science*, New York, 133: 1486-7, 1961.
- LAM-SÁNCHEZ, A.; FORNASIERI FILHO, D.; PEDROSO, P.A.C.; BADIN, H. Determinação da tolerância à seca em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) pelo uso do manitol. *Científica*, São Paulo, 15(1/2): 115-25, 1987.
- LIBARDI, P.L. Balanço de nitrogênio em culturas agrícolas. Piracicaba, 1984. 113p. (Livre-Docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- LIN, S.S. Efeito do período de armazenamento na lixiviação eletrolítica dos solutos celulares e qualidade fisiológica da semente de milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, 10(3): 59-67, 1988.
- MACHADO, R.C.R.; RENA, A.B.; VIEIRA, C. Efeito da desidratação osmótica na germinação de vinte cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Ceres*, Viçosa, 23(128): 310-20, 1976.

- MAGALHÃES, A.C. & CARELLI, M.L. Germinação de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) sob condições variadas de pressão osmótica. *Bragantia*, Campinas, 31: XIX-XXV, 1972.
- MAGALHÃES, A.C. & SILVA, W.J. Determinantes genético-fisiológicos da produtividade do milho. In: PATERNIANI, E. & VIEGAS, G.P., ed. *Melhoramento e produção de milho*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.425-50.
- MANOHAR, M.S. Effect of "osmotic" systems on germination of peas (*Pisum sativum* L.). *Planta*, Berlin, 71: 81-6, 1966.
- MANOHAR, M.S. & HEYDECKER, W. Effects of water potencial on germination of pea seeds. *Nature*, London, 202: 22-4, 1964.
- MARCOS FILHO, J. Germinação de sementes. In: SEMANA DE ATUALIZAÇÃO EM PRODUÇÃO DE SEMENTES, 1., Piracicaba, 1986. Campinas, Fundação Cargill, 1986. p.11-39.
- MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: VIEIRA, R.D. & CARVALHO, N.M. *Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal, FUNEP, 1994. p.133-49.
- MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S.M.; SILVA, W.R. *Avaliação da qualidade das sementes*. Piracicaba, FEALQ, 1987. 230p.
- MARCOS FILHO, J.; PEŠCARIN, H.M.C.; KOMATSU, Y.H.; DEMÉTRIO, C.G.B.; FANCELLI, A.L. Testes para avaliação do vigor de sementes de soja e suas relações com a emergência das plântulas em campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 19(5): 605-13, 1984.

- MATTHEWS, S. & POWELL, A.A. Environmental and physiological constraints on field performance of seeds. *HortScience*, Alexandria, 21(5): 1125-8, 1986.
- McWILLIAM, J.R. & PHILLIPS, P.J. Effect of osmotic and matric potentials on the availability of water for seed germination. *Australian Journal of Biology Science*, East Melbourne, 24: 423-31, 1970.
- MEDINA, B.F. & AMARO FILHO, J. Aplicação de dados de necessidades de água dos cultivos na identificação e planejamento de projetos de irrigação. Mossoró, Fundação Guimarães Duque, 1989. 87p. (Coleção Mossoreense).
- MEDINA, P.F. & MARCOS FILHO, J. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* L.). *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 47(pt. 1): 47-70, 1990.
- MICHEL, B.E. Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8.000 boht in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiolgy*, Rockville, 72(1): 66-70, 1983.
- MICHEL, B.E. & KAUFMANN, M.R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, Rockville, 51: 914-6, 1973.
- MORAES, S.O. Heterogeneidade hidráulica de uma terra roxa estruturada. Piracicaba, 1991. 141p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

- MUCHENA, S.C. & GROGAN, C.O. Effects of seed size on germination of corn (*Zea mays*) under simulated water stress conditions. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, 57: 921-3, 1977.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D. & CARVALHO, N.M. *Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal, FUNEP, 1994. p.49-85.
- NIJENSTEIN, J.H. Effects of some factors influencing cold test germination of maize. *Seed Science and Technology*, Zurich, 12(1): 313-26, 1985.
- NIJENSTEIN, J.H. Effects of soil moisture content and crop rotation on cold test germination of corn (*Zea mays* L.) *Journal of Seed Technology*, Madison, 12(1): 99-106, 1988.
- NORTON, C.R. Germination under flooding: metabolic implications and alleviation of injury. *Hortscience*, Alexandria, 21(5): 1123-5, 1986.
- PARMAR, M.T. & MOORE, R.P. Carbowax 6000, mannitol, and sodium chloride for simulation drought conditions in germination studies of corn (*Zea mays* L.) of strong and weak vigor. *Agronomy Journal*, Madison, 60: 192-5, 1968.
- PESKE, S.T. & DELOUCHE, J.C. Semeadura de soja em condições de baixa umidade do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 20(1): 69-85, 1985.
- PHILLIPS, R.E. Water diffusivity of germinating soybean, corn and cotton seed. *Agronomy Journal*, Madison, 60: 568-71, 1968.

- PIANA, Z. Influência do tamanho da semente de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) e nível de umidade do solo na germinação e no vigor. Pelotas, 1980. 95p. (Mestrado - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel"/UFPEL).
- PIANA, Z. Efeitos do potencial hídrico sobre a germinação de sementes de algumas espécies olerícolas. Piracicaba, ESALQ/Depto. Horticultura, 1991. 42p.
- PIANA, Z.; CRISPIM, J.E.; ZANINI NETO, J.A. Superação da dormência de sementes de azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.). *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, 8: 67-71, 1986.
- PIANA, Z.; CAVARIANI, C.; TILLMANN, M.A.A.; MINAMI, K. Disponibilidade hídrica e germinação de sementes de cebola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 8., Fóz do Iguaçu, 1993. Resumos. Informativo ABRATES, Brasília, 3(3): 71, 1993.
- POLLOCK, B.M. & MANALO, J.R. The influence of seed-lot history on sensitivity of lettuce seed to temperature and moisture stress. *HortScience*, Alexandria, 6(5): 444-5, 1971.
- POPINIGIS, F. *Fisiologia da semente*. Brasília, AGIPLAN, 1977. 289p.
- PRISCO, J.F. & O'LEARY, J.W. Osmotic and "toxic" effects of salinity on germination of *Phaesolus vulgaris* L. seeds. *Turrialba*, Turrialba, 20(2): 177-84, 1970.

- RAZERA, L.F. Emergence of soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.) seed at various levels of soil temperature and moisture. Mississippi, 1982. 83p. (PhD - Mississippi State University).
- REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 445p.
- ROGAN, P.G. & SIMON, E.W. Root growth and onset of mitosis in germinating *Vicia faba*. *New Phytologist*, London, **74**: 263-5, 1975.
- ROOS, E.E. Precepts of successful seed storage. In: McDONALD Jr., M.B. & NELSON, C.J. *Physiology of seed deterioration*. Madison, CSSA, 1986. p.1-26. (CSSA Special Publication, 11).
- RUF Jr., R.H.; ECKERT Jr., R.E.; GIFFORD, R.O. Osmotic adjustment of cell sap to increases in root medium osmotic stress. *Soil Science*, New Brunswick, **96**: 326-30, 1963.
- SÁ, M.E. Relações entre qualidade fisiológica, disponibilidade hídrica e desempenho de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Piracicaba, 1987. 147p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- SAINT-CLAIR, P.M. Germination of sorghum bicolor under polyethylene glycol induced stress. *Canadian Journal of Planta Science*, Ottawa, **56**: 21-4, 1976.
- SALISBURY, F.B. & ROSS, C.W. *Plant physiology*. 3.ed. Belmonte, Wadsworth, 1985. 540p.

- SCOTT, D.J. & CLOSE, R.C. An assessment of seed factors affecting field emergence of garden pea seed lots. *Seed Science and Technology*, Zurich, **4**: 287-300, 1976.
- SHARMA, M.L. Simulation of drought and its effect on germination of five pasture species. *Agronomy Journal*, Madison, **65**: 982-7, 1973.
- SHARMA, M.L. Interaction of water potencial and temperature effects on germination of three semi-arid plant species. *Agronomy Journal*, Madison, **68**: 390-3, 1976.
- SHAYKEWICH, C.F. Proposed method for measuring swelling pressure of seeds prior to germination. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, **24**: 1056-61, 1973.
- SHIOGA, P.S. Controle da hidratação e desempenho das sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba, 1990. 106p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- SILVA, W.J.K. da & ANTUNES, F.Z. Aptidão climática para a cultura do milho. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, **6**(72): 10-4, 1980.
- SILVA, W.R. Relação entre disponibilidade de água, tratamento fungicida e germinação de sementes de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1989. 113p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- SLATYER, R.O. & TAYLOR, S.A. Terminology in plant-soil-water relations. *Nature*, London, **183**: 922-4, 1960.

- SOMERS, D.A.; ULLRICH, S.E.; RAMSAY, M.F. Sunflower germination under simulated drought stress. *Agronomy Journal*, Madison, 75: 570-2, 1983.
- SPRINGFIELD, H.W. Germination of fourwing saltbush seeds at different levels of moisture stress. *Agronomy Journal*, Madison, 58: 149-50, 1966.
- STEUTER, A.A.; MOZAFAR, A; GOODIN, J.R. Water potential of aqueous polyethylene glycol. *Plant Physiology*, Rockville, 67: 64-7, 1981.
- STOUT, D.G.; SIMPSON, G.M.; FLOTRE, D.M. Drought resistance of sorghum bicolor L. Moench. 3. Seed germination under osmotic stress. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, 60: 13-24, 1980.
- SUTCLIFFE, J.F. *As plantas e a água*. 2.ed. São Paulo, EPU, 1980. 126p.
- TADMOR, N.H.; COHEN, Y.; HARPAZ, Y. Interactive effects of temperature and osmotic potential on the germination of range plants. *Crop Science*, Madison, 9: 771-4, 1969.
- TAKAKI, M. & TOLEDO, J.C. Effect of pre-imbibition and scarification on the sensitivity to water stress in seeds of *Oryza sativa* L. *Seed Science and Technology*, Zurich, 19: 263-8, 1991.
- TAO, K.L.J. Vigor "referee" test for soybean and corn. *Association of Official Seed Analysts*, Oklahoma City, 54(1): 40-58, 1980.
- TEKRONY, D.M. Seed vigor testing - 1982. *Journal of Seed Technology*, East Lansing, 8(1): 55-60, 1983.

- TEKRONY, D.M. & EGLI, D.B. Relationship between laboratory indices of soybean seed vigor and field emergence. *Crop Science*, Madison, 17(4): 573-7, 1977.
- THANOS, C.A. & SKORDILIS, A. The effects of light, temperature and osmotic stress on the germination of *Pinus halepensis* and *P. brutia* seeds. *Seed Science and Technology*, Zurich, 15: 163-74, 1987.
- THERIOS, I.N. Effects of temperature, moisture stress and pH on the germination of seeds of almond (*Prunus amigdalus* 'trudito'). *Seed Science and Technology*, Zurich, 10(3): 585-94, 1982.
- TOLEDO, F.F. & MARCOS FILHO, J. **Manual das sementes: tecnologia da produção.** São Paulo, Agronômica Ceres, 1977. 224p.
- TONKIN, J.H.B. Pelleting and other pre-sowing treatments. *Advances in Research and Technology of Seeds*, Wageningen, 9: 94-127, 1985.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 44: 892-7, 1980.
- VAN DE VENTER, H.A. Relative response of maize (*Zea mays* L.) seed lots to different stress conditions. *Seed Science and Technology*, Zurich, 16: 19-28, 1988.
- VIDAL-TORRADO, P. & SPAROVEK, G. **Mapa pedológico detalhado do Campus "Luiz de Queiroz".** Piracicaba, ESALQ/Depto. de Ciência do Solo, 1993. Esc. 1:10.000.

- VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R.D. & CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes.** Jaboticabal, FUNEP, 1994. p.103-32.
- VILLELA, F.A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E.L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, 26(11/12): 1957-68, 1991.
- WALDREN, L.J. & MANBEIAN, T. Soil moisture characteristics by osmosis with polyethylene glycol: a simple system with osmotic pressure data and some results. **Soil Science**, New Brunswick, 110: 401-4, 1970.
- WATT, L.A. Germination characteristics of several grass species as affected by limiting water potential imposed through a cracking black clay soil. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, 3: 223-31, 1982.
- WILLIAMS, J. & SHAYKEWICH, C.F. Influence of soil water matric potential and hydraulic conductivity on the germination of rape (*Brassica napus*). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, 22: 586, 1971.
- WILLIAMS, T.V.; SNELL, R.S.; ELLIS, J.F. Methods of measuring drought tolerance in corn. **Crop Science**, Madison, 7: 179-82, 1967.
- WOODSTOCK, L.W. Physiological and biochemical tests for seed vigor. **Seed Science and Technology**, Zurich, 1: 127-57, 1973.

- WOODSTOCK, L.W. & FEELEY, J. Early seedling growth and initial respiration rates as potential indicator of seed vigor in corn. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts*, Oklahoma City, 55: 131-9, 1965.
- WOODSTOCK, L.W. & GRABE, D.F. Relationship between seed respiration during imbibition and subsequent seedling growth in *Zea mays* L. *Plant Physiology*, Rockville, 42: 1071-6, 1967.
- WRIGHT, D.L.; BLASER, R.E.; WOODRUFF, J.M. Seedling emergence as related to temperature and moisture tension. *Agronomy Journal*, Madison, 70: 709-12, 1978.
- YOUNG, J.A.; EVANS, R.A.; ROUNDY, B.; CLUFF, G. **Moisture stress and seed germination.** Oakland, USDA/ARS, 1983. 41p. (USDA/ARS. Agricultural Reviews and Manuals. Western Series, 36).