



UNESP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

1210001143



**Germinação de Sementes de Feijão
(*Phaseolus vulgaris* L.), sob Diferentes
Potenciais de Água
Aluna: Lúcia Filgueiras Braga
Orientador: Marco Eustáquio de Sá**

Te.1143

GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO
(*Phaseolus vulgaris* L.), SOB DIFERENTES
POTENCIAIS DE ÁGUA

LÚCIA FILGUEIRAS BRAGA

1210001143



Proc. 17/2000 NRD-019/2000

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÊC. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA <i>21/3/2000</i>	DATA DE TOMBO <i>28/7/2000</i>
REGISTRADO POR <i>Lúcia</i>	TOMBO <i>1143</i>
AQUISIÇÃO <i>Deacat</i> <i>R\$ 10,00</i> <i>aviso</i>	CLASSIFICAÇÃO <i>B813g</i>

5010300

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia; Área de concentração em Sistemas de Produção.

ILHA SOLTEIRA - SP

Janeiro - 2000

BCpIS - FEIS - UNESP



**GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.),
SOB DIFERENTES POTENCIAIS DE ÁGUA**

LÚCIA FILGUEIRAS BRAGA

Bióloga

Orientador: Prof. Dr. Marco Eustáquio de Sá

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia; Área de concentração em Sistemas de Produção.

ILHA SOLTEIRA – SP

Janeiro – 2000

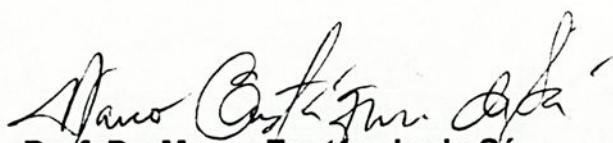


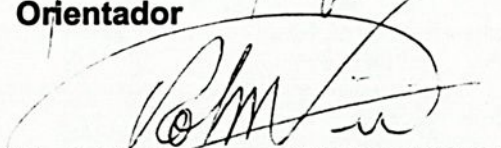
“GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) SOB DIFERENTES POTENCIAIS DE ÁGUA”

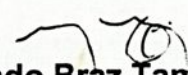
LÚCIA FILGUEIRAS BRAGA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – UNESP COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM AGRONOMIA

COMISSÃO EXAMINADORA:


Prof. Dr. Marco Eustáquio de Sá
Orientador


Prof. Dr. Roberval Daiton Vieira


Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

Ilha Solteira – SP
janeiro de 2000



Aos meus pais, João e Nilza,
pelo apoio nos momentos difíceis.
Minha gratidão.

Ao meu esposo, Marcílio, pelo companheirismo,
paciência e estímulo.
Ofereço.

À Mariana,
minha melhor semente.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Marco Eustáquio de Sá, pela orientação permanente, segura, respeitosa e amiga.

Ao Professor Mário Luiz Teixeira de Moraes, pela amizade e constante incentivo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela concessão de bolsa de estudo.

À Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP, pelo aprendizado.

Aos professores do curso de pós-graduação da FEIS/UNESP pela contribuição na minha formação e pela amizade.

Aos técnicos do Laboratório de Análise de Sementes, Adelaide, Selma e Alexandre, que sempre se mostraram dispostos a me ajudar.

Aos amigos de curso, pela convivência e amizade.

Aos amigos Marcão e Suzana, Miguel e Regina, Paulo Koga e Nice pelos bons momentos que passamos juntos.

À Sílvia Corrêa, pela amizade e auxílio.

Aos funcionários da UNESP, Zé carlos, Márcia, Arlindo e Fátima, pela gentileza.

À todos aqueles que me apoiaram no decorrer deste curso e direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

À DEUS, que tudo torna possível.



ÍNDICE

LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO.....	x
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1. A absorção de água pela semente	03
2.2. Necessidade de água para que ocorra germinação.....	05
2.3. Qualidade fisiológica das sementes.....	07
2.3.1. Relação entre teor de água de sementes e qualidade fisiológica	09
2.4. Teste de condutividade elétrica (CE)	12
2.4.1. Efeito do teor de água das sementes sobre os resultados da condutividade elétrica.....	15
2.5. Efeitos do estresse hídrico sobre a germinação	17
2.6. Utilização de soluções com diferentes potenciais osmóticos na simulação de condições de campo	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1. Obtenção dos níveis de umidade.....	28
3.1.1. Experimentos em substrato papel-toalha.....	28
3.1.2. Experimentos em solo	29
3.2. Testes preliminares.....	30
3.2.1. Peso de mil sementes.....	30
3.2.2. Determinação do grau de umidade.....	30
3.2.3. Teste de germinação.....	31
3.2.4. Testes de vigor em laboratório.....	31
3.2.4.1. Primeira contagem de germinação.....	31
3.2.4.2. Velocidade de germinação	32
3.2.4.3. Condutividade elétrica.....	32
3.2.4.4. Envelhecimento acelerado.....	33



3.2.4.5.	Comprimento do epicótilo, hipocótilo e da radícula..	33
3.2.4.6.	Peso da matéria seca das plântulas.....	34
3.3.	Relações entre potenciais de água, germinação e vigor	35
3.3.1.	Germinação em substrato toalha de papel	35
3.3.2.	Comprimento do hipocótilo e da radícula	37
3.3.3.	Peso da matéria seca das plântulas.....	37
3.4.	Relações entre o potencial matricial e a emergência das plântulas em solo.....	38
3.4.1.	Solo	38
3.4.2.	Determinação da curva característica de umidade.....	38
3.4.3.	Determinação da quantidade de água por caixa.....	40
3.4.4.	Mistura da água com a terra, homogeneização e semeadura	41
3.4.5.	Condução dos testes	41
3.5.	Delineamento experimental e análises estatísticas.....	42
4.	RESULTADOS.....	44
4.1.	Avaliação da qualidade fisiológica inicial dos lotes	44
4.2.	Resultados do teste de germinação e vigor em função da qualidade fisiológica e do grau de umidade das sementes	47
4.3.	Experimentos realizados com soluções de diferentes potenciais osmóticos	52
4.3.1.	Porcentagem de germinação em soluções osmóticas.....	52
4.3.2.	Primeira contagem do teste de germinação	60
4.3.3.	Velocidade de germinação.....	63
4.3.4.	Comprimento do hipocótilo.....	66
4.3.5.	Comprimento da radícula	71
4.3.6.	Peso de matéria seca das plântulas.....	74
4.4.	Experimentos realizados em solo.....	78
4.4.1.	Emergência das plântulas em solo	78
4.4.2.	Primeira contagem de emergência	90
4.4.3.	Velocidade de emergência.....	92
4.4.4.	Comprimento do epicótilo	95
4.4.5.	Comprimento do hipocótilo.....	99



4.4.6. Comprimento da radícula	102
4.4.7. Peso de matéria seca das plântulas.....	105
4.5. Comparação entre germinação em soluções osmóticas e emergência em solo.....	108
5. DISCUSSÃO	114
6. CONCLUSÕES	126
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128



LISTA DE TABELAS

TABELAS	Página
1. Valores médios obtidos nas determinações preliminares para a avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.), cv. IAC-Carioca.	46
2. Valores de F para germinação (TPG), envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE), em função de lotes e do grau de umidade das sementes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	48
3. Dados médios de germinação de três lotes de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) com três teores de água das sementes	49
4. Dados médios de vigor avaliado pelo teste de envelhecimento acelerado, das sementes de três lotes de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) com três teores de água.....	50
5. Dados médios de vigor avaliado pelo teste de condutividade elétrica, das sementes de três lotes de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) com três teores de água.....	51
6. Efeito do potencial osmótico, lote e grau de umidade da semente, sobre a germinação (%), primeira contagem de germinação (%) e índice de velocidade de germinação das sementes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.....	54
7. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes nos testes de germinação das sementes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L., nas soluções de diferentes potenciais osmóticos	55
8. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, para a primeira contagem de germinação de sementes de <i>Phaseolus vulgaris</i> L., nas soluções de diferentes potenciais osmóticos.....	62



9. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, para a velocidade de germinação das sementes de *Phaseolus vulgaris* L., nas soluções de diferentes potenciais osmóticos 65
10. Efeito do potencial osmótico, lote e grau de umidade da semente, sobre o comprimento do hipocótilo (cm), comprimento da radícula (cm) e peso de matéria seca das plântulas (mg/plântula) de *Phaseolus vulgaris* L. 69
11. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, para o comprimento do hipocótilo de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L., nas soluções de diferentes potenciais osmóticos..... 70
12. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, para o comprimento da radícula de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L., nas soluções de diferentes potenciais osmóticos..... 72
13. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, sobre o peso da matéria seca de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L., nas soluções de diferentes potenciais osmóticos 77
14. Efeito do potencia matricial da água do solo, lote e grau de umidade da semente, sobre a emergência (%), primeira contagem de emergência (%) e índice de velocidade de emergência das plântulas de *Phaseolus vulgaris* L. 79
15. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre a emergência de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L. 81



16. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre a primeira contagem de emergência de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L..... 91
17. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre a velocidade de emergência de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L. 94
18. Efeito do potencial matricial da água do solo, lote e grau de umidade da semente, sobre o comprimento do epicótilo (cm), comprimento do hipocótilo (cm), comprimento da radícula (cm) e peso de matéria seca das plântulas (mg/plântula) de *Phaseolus vulgaris* L..... 97
19. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre comprimento do epicótilo de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L. 98
20. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre comprimento do hipocótilo de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L. 101
21. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais



da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre comprimento da radícula das plântulas de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	104
22. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre o peso da matéria seca das plântulas de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	107



LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Página
1. Curva de retenção de água para o solo utilizado.....	39
2. Plântulas anormais de feijão observadas nos testes com solução osmótica à $-0,01\text{MPa}$	58
3. Plântulas anormais de feijão observadas nos testes com solução osmótica à $-0,4\text{MPa}$	58
4. Plântulas anormais de feijão, observadas com solução osmótica à $-0,6\text{MPa}$, cujas sementes foram submetidas à hidratação (A) ou secagem (B).....	59
5. Aspecto das plântulas de feijão observadas sob o potencial matricial à $-0,2\text{MPa}$, com 9% de umidade das sementes, aos seis dias após o início do teste. A - Plântulas do lote 1; B - Plântulas dos lotes 2 e 3 (da esquerda para a direita).....	83
6. Aspecto das plântulas de feijão sob o potencial matricial à $-0,2\text{MPa}$, com 9% de umidade das sementes (aos onze dias após o início do teste), dos lotes 1, 2 e 3 (da esquerda para a direita).....	83
7. Aspecto das plântulas de feijão sob o potencial matricial à $-0,2\text{MPa}$, com 12% de umidade das sementes, dos lotes 1, 2 e 3 (da esquerda para a direita). A - aos seis dias após o início do teste; B - aos onze dias após o início do teste.....	84
8. Aspecto das plântulas de feijão sob o potencial matricial à $-0,2\text{MPa}$, com 15% de umidade das sementes, dos lotes 1, 2 e 3 (da esquerda para a direita). A - aos seis dias após o início do teste; B - aos onze dias após o início do teste.....	85
9. Plântulas de feijão (cujas sementes tiveram o grau de umidade ajustado para 9%) no potencial matricial à $-0,4\text{MPa}$ dos lotes 1, 2 e 3 (de cima para baixo).....	85
10. Aspecto das plântulas de feijão (aos oito dias após o início do teste) sob o potencial matricial à $-0,4\text{MPa}$, dos lotes 1, 2 e 3 (da esquerda	



para a direita), cujas sementes tiveram o grau de umidade ajustado para 9%.....	86
11. Aspecto das plântulas de feijão (aos sete dias após o início do teste) sob o potencial à $-0,4\text{MPa}$, dos lotes 1, 2 e 3 (da esquerda para a direita), cujas sementes tiveram o grau de umidade ajustado para 15%.....	86
12. Plântulas de feijão, sob o potencial matricial à $-0,6\text{MPa}$, dos lotes 1, 2 e 3 (de cima para baixo). A - aos onze dias após o início do teste, sementes com 15% de umidade inicial; B - aos doze dias após o início do teste, sementes com 9% de umidade inicial.....	89
13. Comparação entre porcentagens de germinação de sementes de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) do lote 1, com 9%, 12% e 15% de umidade, em soluções de manitol e emergência no solo em diferentes potenciais da água.....	111
14. Comparação entre porcentagens de germinação de sementes de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) do lote 2, com 9%, 12% e 15% de umidade, em soluções de manitol e emergência no solo em diferentes potenciais da água.....	112
15. Comparação entre porcentagens de germinação de sementes de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) do lote 3, com 9%, 12% e 15% de umidade, em soluções de manitol e emergência no solo em diferentes potenciais da água.....	113



LÚCIA, F.B. **Germinação de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), sob diferentes potenciais de água.** Ilha Solteira. 2000. 138p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

RESUMO

A influência de fatores externos sobre o processo de germinação tem sido estudada nos últimos anos em grande detalhe. A maioria desses trabalhos foi, porém, dedicada apenas à análise do efeito de potenciais osmóticos e/ou matriciais sobre o comportamento de lotes de sementes. Há um número bem mais reduzido de tentativas de estabelecer as relações existentes entre o grau de umidade e a água posta à disposição das sementes sobre o processo germinativo. Devido a essa necessidade, o presente trabalho, conduzido no Laboratório de Análise de Sementes da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP, teve por objetivo estudar os efeitos de potenciais matriciais da água no solo sobre a germinação de sementes de feijão com graus de umidade e qualidade fisiológica distintas, bem como a avaliação de soluções de diferentes potenciais osmóticos na simulação de condições de déficit hídrico na germinação das sementes de feijão. Foram utilizados três lotes de sementes do IAC, oriundos de Votuporanga (lote 1), Ribeirão Preto (lote 2) e Monte Alegre do Sul (lote 3), submetidos à hidratação ou secagem para ajuste no grau de umidade 3% acima e 3% abaixo do teor de água inicial das sementes, obtendo-se assim três níveis de umidade distintos. As sementes dos três lotes, com três teores de água (9%, 12% e 15%) foram semeadas sob condições de diversos níveis de água, em rolos de papel toalha, empregando-se soluções de manitol para simular condições de deficiência hídrica, utilizando potenciais de $-0,001$; $-0,01$; $-0,2$; $-0,4$; $-0,6$ MPa e a testemunha (água). Em terra foram estudados potenciais matriciais semelhantes aos utilizados em rolo papel, porém sem a testemunha (água). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três tratamentos e quatro repetições, para as avaliações preliminares. Nos estudos com os potenciais osmóticos os tratamentos foram obtidos através do arranjo fatorial $3 \times 3 \times 6$ (lotes X grau de umidade das sementes X potenciais osmóticos), com quatro repetições. Nos estudos com os potenciais matriciais, adotou-se um arranjo fatorial $3 \times 3 \times 4$ (lotes X grau de umidade das sementes X potenciais matriciais), com quatro repetições.



Após a análise e interpretação dos dados obtidos, pode-se concluir que:

- Existe relação entre a qualidade fisiológica dos lotes e do grau de umidade das sementes sobre o seu desempenho nos diversos potenciais hídricos. Nesse aspecto, sementes mais vigorosas e com maior teor inicial de água, mostraram-se mais resistentes às condições de deficiência hídrica do substrato.
- A deficiência hídrica prejudicou a germinação e a emergência e retardou o desenvolvimento das plântulas de feijão.
- Potenciais hídricos do substrato de $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$ reduziram sensivelmente a germinação, mas não impediram o processo, quando simulado com soluções de manitol. Porém, em solo, sob as mesmas tensões de água, a emergência praticamente não ocorreu, sofrendo influência do grau de umidade e da qualidade fisiológica das sementes.
- A relação de interdependência entre grau de umidade e qualidade fisiológica das sementes com as condições de umidade do substrato, demonstra que o processo de germinação pode ser melhor sucedido quando garantidos o teor de água e a qualidade fisiológica adequados às sementes, de maneira que a utilização de sementes de alto vigor com grau de umidade entre 12 e 15% é eficiente no sentido de elevar a porcentagem de germinação de sementes de feijão.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, germinação, potenciais osmóticos e matriciais, qualidade fisiológica, grau de umidade.



LÚCIA, F.B. **Germination of bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.), under different potentials of water.** Ilha Solteira. 2000. 138p. Dissertation (Master in Agronomy) – Faculty of Engineering of Ilha Solteira, Campus of Ilha Solteira, State University from São Paulo “Júlio de Mesquita Filho”.

SUMMARY

The influence of external factors on the germination process has been studied in the last years in great detail. Most of those works was, even so, just dedicated to the analysis of the effect of potentials osmotic and matricial about the behavior of lots of seeds. There is a well reduced number of attempts of establishing the existent relationships between the moisture content and the water puts available to the seeds on the process germination. Due to that need, the present work, driven in the Laboratory of Seed Analysis of the Faculty of Engineering of Ilha Solteira - FEIS/UNESP, had for objective to study the effects of water potential matricial in the soil on the germination of dry bean seeds moisture content degrees and different physiological quality, as well as the evaluation of solutions of different osmotic potentials in the simulation of conditions of deficit hidric in the germination of the dry bean seeds. Three lots of seeds of IAC were used, originating from of Votuporanga (lot 1), Ribeirão Preto (lot 2) and Monte Alegre do Sul (lot 3), submitted to the hydration or drying for adjustment in the moisture content 3% above and 3% below the moisture of initial water of the seeds, being obtained like this three levels of different humidity. The seeds of the three lots, with three texts of water (9%, 12% and 15%) they were sowed under conditions of several levels of water, in rolled of paper towel, being used manitol solutions to simulate conditions of deficiency hidric, using potentials of -0,001; -0,01; -0,2; -0,4; -0,6MPa and the witness (water). In earth they were studied potential matricial similar to the used in roll paper, even so without the witness (water). The used experimental design was it entirely randomized, with three treatments and four repetitions, for the preliminary evaluations. In the studies with the osmotic potentials the treatments were obtained through the arrangement factorial 3x3x6 (lots X moisture content of the seeds X osmotic potentials), with four repetitions. In the studies with the potential matricial, an arrangement factorial 3x3x4 was adopted (lots X moisture content of the seeds X potential matricial), with four repetitions.



After the analysis and interpretation of the obtained data, it can be ended that:

- Relationship exists among the physiological quality of the lots and of the moisture content of the seeds on its acting in the several potential hidric. In that aspect, more vigorous seeds and with larger initial water content, they were shown more resistant to the conditions of deficiency hidric of the substratum.

- The hidric deficiency harmed the germination and the emergency and it delayed the development of the bean seedlings.

- Hidric's potential of the substratum of -0,4 and -0,6MPa reduced the germination sensibly, but they didn't impede the process, when simulated with manitol solutions. Even so, in soil, under the same tensions of water, the emergency practically didn't happen, suffering influence of the moisture content and of the physiological quality of the seeds.

- The interdependence relationship between moisture content and physiological quality of the seeds with the conditions of humidity of the substratum, demonstrates that the germination process can be happened better when guaranteed the water content and the physiological quality adapted to the seeds. The use of seeds of high vigor with moisture content between 12 and 15% is efficient in the sense of increasing the percentage of germination of bean seeds.

Key word: *Phaseolus vulgaris*, germination, osmotic potentials and matricial, physiological quality, moisture content.



1. INTRODUÇÃO

A planta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) possui uma ampla faixa de adaptação, sendo cultivada em todo o mundo e representa uma importante fonte de proteínas para a alimentação humana. Pode ser cultivado em qualquer época do ano, desde que não existam limitações de temperatura e umidade.

O período “das águas” apresenta um inconveniente, que é o risco de chuvas no período de colheita, que pode comprometer a produção e a qualidade do produto. No caso da safra “da seca”, o risco da falta ou da má distribuição de chuvas é constante, podendo afetar sensivelmente o rendimento.

No feijoeiro, as sementes produzidas no cultivo “da seca” e de “inverno” tem-se mostrado com melhor qualidade que as do cultivo “das águas”, devido ao aspecto fitossanitário e fisiológico de qualidade das sementes, dada às condições climáticas, na fase de maturação-colheita, desfavoráveis no cultivo “das águas”.



O desempenho das sementes após a semeadura está relacionado ao histórico de sua produção, processamento e armazenamento, como também das condições ambientais no momento da semeadura. A cultura do feijoeiro, devido ao cultivo em áreas com grande diversidade de clima e solo, está sujeita a estresses ambientais, dentre os quais se destaca a deficiência hídrica que pode acarretar decréscimo na germinação e no desenvolvimento das plantas, com conseqüente redução na produção.

O teor de água de lotes de sementes pode apresentar variação, de acordo com a região de produção, época de colheita, das condições ambientais e de secagem. Tem se verificado que o grau de umidade das sementes pode influenciar os processos biológicos que ela vem a sofrer. Desta forma, o vigor das sementes é afetado pelas condições ambientais, pois as condições de clima que afetam o desenvolvimento da planta poderão ter reflexos sobre o vigor das sementes. Considerando estes fatores, deve-se levar em conta que a resposta das plântulas ao estresse hídrico depende do vigor das sementes.

Desse modo, o presente estudo teve como objetivos verificar os efeitos de potenciais matriciais da água no solo sobre a germinação de sementes de feijão com graus de umidade e qualidade fisiológica distintos, bem como a avaliação de soluções de diferentes potenciais osmóticos na simulação de condições de déficit hídrico na germinação de sementes de feijão.



2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A absorção de água pela semente

A absorção de água dá início a uma série de processos físicos, bioquímicos e fisiológicos no interior da semente que, na ausência de outro fator limitante, resultam na emergência da plântula (TOLEDO & MARCOS FILHO, 1977).

De acordo com MAYER & POLJAKOFF-MAYBER (1978), o primeiro processo que ocorre durante a germinação é a absorção de água pela semente. A magnitude da embebição é determinada por três fatores, a composição química da semente, a permeabilidade da cobertura da semente, ou do fruto à água e a disponibilidade de água na forma líquida ou gasosa no ambiente.

No caso específico das sementes de feijão, WYATT (1977) destacou características do tegumento, dentre as quais espessura, peso, aderência aos cotilédones, elasticidade, porosidade e propriedades coloidais, como interferentes na absorção.



A sensibilidade hídrica é inversamente relacionada ao tamanho da semente, devido ao grau de contato entre a semente e a água. Sementes pequenas tendem a ser mais eficientes na absorção de água pelo maior contato com o solo. Conforme BEWLEY & BLACK (1978) a absorção de água pela semente se dá em três fases. A fase I é bastante rápida, e a absorção de água nesta fase ocorre como uma consequência do potencial matricial dos vários tecidos da semente e, por isso, independente da semente ser dormente ou não (a não ser que se trate de dormência por impermeabilidade da casca à água) e de estar viva ou não. Na fase seguinte (fase II), a semente praticamente não absorve água, as sementes mortas e dormentes não vão além desse ponto. A fase III, é de absorção ativa de água, só é alcançada pelas sementes não dormentes e viáveis. Neste estágio, o eixo embrionário já iniciou seu crescimento, de maneira que as novas células em formação e crescimento exigem água, e é por isso que o conjunto semente-plântula volta a absorver grandes volumes de água. A duração de cada fase depende de certas características (nível de hidratação do substrato, permeabilidade do tegumento, tamanho, absorção de oxigênio) e das condições durante a hidratação.

SMITH & NASH (1961) colocaram sementes de soja para embeber e pesaram de hora em hora, nas primeiras 7 horas e fizeram uma pesagem final depois de 24 horas. A umidade inicial das sementes variou de 6,4 a 14,5% e elas foram mantidas a 10 e 25°C. Foi constatado que sementes com níveis altos de umidade absorvem água mais rapidamente do que aquelas com baixo teor inicial e que, depois de 24 horas não há mais efeito do teor de água inicial, embora não tenha sido possível afirmar que o equilíbrio de umidade foi atingido.

Trabalhos realizados por KELLING (1974) mostram que a semente germinando promove a exudação de carboidratos solúveis; e que estes açúcares



induzem a uma rápida proliferação de microorganismos (que crescem junto a estes exudados).

PEREIRA (1982) mostrou que devido à deficiência de umidade, a semente permanece no solo sem emergir, ficando sujeita ao ataque de microorganismos estimulados pela exudação de açúcares. Isso demonstra que o baixo potencial de água no solo torna o processo germinativo mais lento, expondo a semente a agentes patogênicos. Por outro lado, WOODSTOCK & TAYLORSON (1981) relatam que quando as sementes estão muito secas e o potencial da água no solo muito elevado, ocorrem injúrias nas sementes durante o processo de embebição. Essas injúrias facilitam a saída de solutos de dentro das sementes e dessa forma também propiciam a proliferação de microorganismos.

2.2. Necessidade de água para que ocorra germinação

Conforme COPELAND (1976), o solo estando com a umidade na capacidade de campo é o ótimo para a germinação, no entanto, esta ocorre com a umidade se situando desde este ponto até o ponto de murcha permanente. Porém, em solos muito úmidos ou muito secos, a umidade não se mostra adequada para a completa germinação, podendo retardar ou inibir a germinação de sementes de algumas espécies por excesso ou falta de água.

Entre os vários fatores que influenciam a embebição, cuja ação pode ser decisiva em relação ao posterior desenvolvimento da plântula, estão a natureza do tegumento e a disponibilidade de água no solo (Barrueto Cid, 1978 citado por DELACHIAVE et al., 1986). Quanto a esta disponibilidade de água, potenciais hídricos



muito negativos, especialmente no começo da embebição influem na absorção de água pelas sementes (Hadas, 1976 citado por DELACHIAVE et al., 1986).

COLLIS-GEORGE & HECTOR (1966) afirmam que a disponibilidade e o movimento da água do solo para as raízes e sementes são altamente influenciados pelo potencial da água no solo, textura do solo, superfície de contato semente-solo, sendo estes fatores fundamentais para a germinação e emergência das plântulas.

PESKE (1983) determinou, em dois tipos de solos os efeitos do conteúdo de água do solo e de tratamentos das sementes sobre a germinação e emergência de duas cultivares de soja (Davis e Bragg). A emergência das plântulas foi reduzida tanto em condições de pouca umidade como em excesso de água no solo. No solo mais argiloso, a faixa de umidade mais adequada para germinação foi de 13 a 16% que correspondeu a valores de potencial entre $-0,7$ e $-0,9$ MPa. No solo mais arenoso a faixa de umidade mais favorável foi de 8,5 a 13% com potenciais entre $-0,14$ a $-0,021$ MPa. Em conteúdos de umidade de solo muito baixos para a germinação, mas que possibilitaram a absorção de água pelas sementes, houve uma rápida deterioração das sementes e perda da capacidade de germinação e emergência.

PHILLIPS (1968) mediu a difusividade a água e a germinação de sementes de soja colocadas em água destilada arejada e em solo arenoso com conteúdo de água de 4,0; 7,5; 10,0 e 20,0%, e que corresponderam aos seguintes potenciais hídricos: $-1,5$; $-0,3$; $-0,1$ e $-0,033$ MPa. A difusividade foi medida por meio de pesagens em diferentes intervalos de tempo, determinando-se a quantidade de água absorvida em função do tempo. Foi observado que a semente absorve água uniformemente pelo tegumento e que esta absorção é preferencial, pois se a micrópila é vedada, a absorção diminui muito pouco. A quantidade de água absorvida pela semente de soja (cv. Lee) durante a germinação foi de 2,14g por 10 sementes, e o tempo médio para germinar em



água destilada a 28°C foi de 20 horas. No solo, o tempo para germinação das sementes variou em função do potencial hídrico, sendo que as horas exigidas para germinação nos respectivos potenciais foram as seguintes: 95h (-1,5), 52h (-0,3), 42h (-0,1) e 30h (-0,033 MPa).

EDWARDS & HARTWIG (1971) estudando o efeito do tamanho da semente de soja sobre a porcentagem de germinação em um solo argiloso apresentando diferentes conteúdos de água, observaram que as sementes dos diferentes tamanhos apresentaram maior porcentagem de germinação quando o solo continha 30% de água do que quando continha 25%. Observaram ainda que a semente pequena apresentou maior desenvolvimento do hipocótilo e de raízes no solo com menor conteúdo de água em relação às sementes grandes.

2.3. Qualidade fisiológica das sementes

A qualidade fisiológica da semente é definida como a capacidade desta desempenhar funções vitais, e é exteriorizada pela germinação, longevidade e vigor. A qualidade fisiológica tem sido pesquisada pelo fato de as sementes estarem sujeitas a uma série de mudanças degenerativas associadas com a redução do vigor (Abdul-Baki & Anderson, 1972 citados por TORRES, 1997).

Segundo Delouche & Baskin (1973) citados por TORRES (1997), essa sequência de mudanças tem início com a degeneração das membranas celulares, culminando com a perda do poder germinativo das sementes.

A qualidade da semente pode ser afetada pelos seguintes fatores: condições climáticas desfavoráveis durante a maturação, colheita e pós colheita; ocorrência de doenças e ataque de insetos; processamento e condições de armazenamento; sistema de



semeadura; e condições de temperatura, umidade e fungos do solo por ocasião da semeadura.

MARCOS FILHO et al. (1985) constataram que as condições ambientais predominantes durante a época de semeadura podem afetar a emergência e desenvolvimento das plântulas de soja, dependendo da qualidade fisiológica da semente. De um modo geral, os efeitos não se estendem à produção, sendo a qualidade das sementes um fator muito mais considerado no estabelecimento da cultura no campo. Sementes de alta qualidade poderão contribuir para obtenção de um melhor estande, principalmente sob condições adversas.

SÁ (1987) avaliou o desempenho de sementes de duas cultivares de soja (IAC-Foscarin 31 e IAC-8) com qualidades fisiológicas distintas e germinadas sob diversos níveis de água em terra e em rolos de papel ($-0,033$; $-0,2$; $-0,4$; $-0,6$ e $-0,8$ MPa). O autor encontrou diferenças no comportamento das sementes de soja em função da disponibilidade de água após a semeadura e observou que as sementes mais vigorosas são potencialmente mais resistentes à deficiência hídrica, além disso demonstrou que a germinação em soluções osmóticas mostrou-se superior à emergência em solo à medida que o potencial de água diminuiu. Foram detectadas diferenças entre as duas cultivares estudadas sendo que as sementes da cv. IAC-Foscarin 31 não germinaram na solução com ψ_s de $-0,8$ MPa e não emergiram no solo quando ψ_m foi de $-0,6$ MPa; as sementes da cultivar IAC-8 germinaram nos rolos de papel em todas as soluções testadas e não emergiram no solo com ψ_m inicial de $-0,8$ MPa.

Com o objetivo de determinar se diferenças na qualidade da semente tem influência sobre a absorção de água, McDONALD et al. (1988) avaliaram três lotes de sementes; um de alto vigor, outro de baixo vigor e o terceiro submetido ao envelhecimento acelerado (41°C , 100% de umidade relativa por três dias). As



porcentagens de germinação das sementes destes lotes foram de 98, 49 e 61%, respectivamente. Não houve diferenças na absorção de água pelos cotilédones de sementes novas e de sementes envelhecidas, porém os eixos embrionários das sementes envelhecidas absorveram menor quantidade de água (g por quilo de peso fresco de semente). Estes resultados sugerem que sementes envelhecidas perdem a capacidade de manter uma alta pressão de turgor.

WOODSTOCK & TAYLORSON (1981) afirmam que em sementes distintas quanto ao vigor, a quantidade de água absorvida não se altera, mostrando uma similaridade nos potenciais de água dos tecidos. Porém, segundo MATTHEWS & POWELL (1986), lotes de sementes com baixo vigor apresentam uma embebição mais rápida do que os lotes de sementes com alto vigor. Entretanto, as quantidades máximas de água, absorvidas na germinação, variam muito com a espécie e com as condições a que a semente tenha estado submetida desde a maturação, pois este máximo é condicionado pela propriedade dos colóides hidrofílicos das sementes (DAVIDSON et al., 1976 e LABOURIAU, 1983).

MARCOS FILHO (1981) relata que as diferenças de qualidade fisiológica entre as sementes podem influenciar na porcentagem de emergência e desenvolvimento inicial das plantas, porém se a lotação das plantas obtidas estiver dentro dos padrões recomendados, a produção não é afetada.

2.3.1. Relação entre teor de água das sementes e qualidade fisiológica

Durante o processo de maturação da semente, o sistema de membranas está sujeito a contínuas transformações em função do desenvolvimento e do teor de água, sendo que a partir do ponto de maturidade fisiológica, as membranas celulares



apresentam a sua máxima organização e em consequência da perda de água, quer seja por processo natural ou por secagem artificial, as membranas celulares desorganizam-se estruturalmente, independente do grau de deterioração das mesmas (ABDUL-BAKI, 1980).

As membranas celulares são constituídas por uma dupla camada lipídica, com a presença em sua estrutura de proteínas intrínsecas, as quais ficam no interior desta camada, e extrínsecas, que só se relacionam com a superfície da membrana, onde os lipídeos polares são tidos como os principais constituintes (SIMON, 1974). A camada dupla age como uma barreira à difusão de material para o interior e o exterior das células e organelas, além de proporcionar um meio adequado para que as proteínas mensageiras atuem. A camada lipídica é constituída por grupos hidrofóbicos e hidrofílicos, os quais dependendo do teor de água da semente irão apresentar-se com uma determinada organização estrutural (BEWLEY, 1986). Dessa forma a dupla camada lipídica tem a sua estrutura e organização variável em função do teor de água do tecido, independente do nível de vigor da semente.

De acordo com SIMON (1974), a arquitetura das membranas em sementes com baixo teor de água, encontra-se na fase hexagonal; pois, com a secagem das sementes, as membranas celulares sofrem um processo de desorganização estrutural, tornando-se relativamente porosas e permeáveis à solutos, estando tanto mais desestruturadas quanto menor for o teor de água. A organização molecular das membranas é estabilizada em função da relação entre os componentes da membrana e a água, quando a arquitetura das membranas passa à fase lamelar, com a estruturação da camada dupla de lipídeos.

A existência desta fase hexagonal foi também demonstrada por STOCKENIUS (1962), em sistemas contendo de 2,5 a 3,5% de água, enquanto que a

fase lamelar foi observada quando o grau de umidade era de 30%. Estudos realizados por McKERSIE & STINSON (1980), indicaram que a configuração lamelar persiste em sementes com até 5% de água. Por outro lado, Finean citado por LOEFFLER (1981), concluiu que foi necessário um teor de água, de pelo menos 20 a 30% para manter a associação da dupla camada de lipídios; porém, alterações na configuração das membranas ocorrem quando este conteúdo decresce, com conseqüente aumento da permeabilidade.

A integridade destas membranas é muito importante para que as mesmas exerçam suas funções. A perda de controle da compartimentalização intracelular, com alteração da concentração de metabólitos pode causar a perda da viabilidade da semente (ROBERTS, 1972; BEWLEY, 1986). Vários são os fatores que estão relacionados com a permeabilidade das membranas, dentre os quais a idade da semente, sua condição fisiológica e física, e também a incidência de injúrias (POWELL, 1986).

Tem sido observado que quando sementes secas são colocadas em contato com substrato úmido, ocorre uma rápida e intensa liberação de eletrólitos, seguida de uma redução na perda de solutos à medida que os tecidos são reidratados, até atingir um estado de equilíbrio (SIMON & RAJA HARUN, 1972). Este equilíbrio é atingido após um período de tempo que varia de 1-2 horas até 24h, em espécies com sementes grandes (ervilha, soja, feijão, girassol), ou em menos de uma hora em espécies de sementes pequenas como as umbelíferas (SIMON & MATHAVAN, 1986). Esse comportamento, segundo LARSON (1968), ocorre em função da ruptura física e da morte de algumas células da superfície cotiledonar no início do processo de embebição da semente. Trabalhos com ervilha (POWELL & MATTHEWS, 1978; 1979 e 1981) contribuíram para a confirmação desta teoria.



A outra teoria refere-se a reorganização do sistema de membranas das sementes secas durante o processo de embebição (SIMON & RAJA HARUN, 1972). Neste caso, o aumento da concentração de eletrólitos na água de embebição está diretamente relacionado com a degradação das membranas e consequente perda do controle da permeabilidade (CHING & SCHOOLCRAFT, 1968), uma vez que a medida que a semente deteriora, diminui a capacidade de organização das membranas celulares, como também, esse processo torna-se mais lento. Isto, finalmente, reflete num decréscimo da germinação e do vigor das sementes como foi observado por LIN (1990), para sementes de feijão.

SHIOGA (1990) verificou que o teor mínimo de água exigido em sementes de feijão, para a emergência da raiz primária, indicadora do início da germinação visível, situa-se no intervalo entre 48 e 50% e que a velocidade de absorção de água pelas sementes de feijão decresce à medida em que o potencial hídrico externo é reduzido aumentando o período necessário para que seja atingido o teor mínimo de água exigido para emissão radicular.

2.4. Teste de condutividade elétrica (CE)

Diversas reações ou manifestações da semente aos vários tipos e intensidade de estímulo têm sido avaliados, objetivando sua utilização como indicador do vigor e do potencial de germinação (ABDUL-BAKI & ANDERSON, 1973). Entre tais manifestações, citam-se a lixiviação de substâncias intracelulares por ocasião da embebição. Segundo BERJAK & VILER (1972), o declínio do vigor em sementes envelhecidas artificialmente ocorre concomitantemente com a perda ou redução da



permeabilidade das membranas celulares, e conseqüente liberação de solutos para o meio de embebição.

A diminuição da capacidade de retenção de substâncias intracelulares tem sido interpretada como evidência da falta de permeabilidade das membranas celulares (SIMON & RAJA HARUN, 1972). O aumento da lixiviação em sementes após o envelhecimento tem sido largamente verificado em sementes de soja (PARRISH & LEOPOLD, 1978). Entre os métodos utilizados na determinação quantitativa das substâncias lixiviadas para o meio de embebição, o mais largamente empregado é o da condutividade elétrica (KAKEFUDA & DUKE, 1982).

O teste de condutividade elétrica começou a ser explorado como provável indicativo da viabilidade de sementes, quando foram detectadas diferenças na condutividade elétrica entre tecidos vegetais vivos e mortos de *Laminaria* sp. - algas pardas - (Osterhout citado por FICK & HIBBARD, 1925). Posteriormente, verificou-se a possibilidade do uso deste método em sementes de capim timóteo e trevo-vermelho (FICK & HIBBARD, 1925), de ervilha, trigo, feijão e capim timóteo (HIBBARD & MILLER, 1928), bem como em sementes de algodão (PRESLEY, 1958).

No Brasil, a avaliação da condutividade elétrica em solução de embebição de sementes, também tem sido sugerida como um teste de vigor, com destaque para sementes de soja (MARCOS FILHO et al., 1982; VIEIRA, 1994; KRZYZANOWSKI & MIRANDA, 1990; DIAS & MARCOS FILHO, 1995) e milho (TAO, 1978; TAO, 1980; FRATIN, 1987).

Este teste, embora classificado como bioquímico de vigor (VIEIRA, 1994), envolve dois princípios: o físico, relacionado à avaliação da condutividade elétrica através de uma ponte de condutividade na solução de embebição, e o biológico, que diz respeito à perda de lixiviados do meio interior da célula para o exterior, envolvendo



processos bioquímicos intimamente relacionados à integridade das membranas celulares.

No princípio físico, sabe-se que quando as sementes são imersas em água, ocorre a liberação de eletrólitos para o meio externo, criando uma solução capaz de conduzir corrente elétrica, proporcionalmente à sua concentração eletrolítica. Sendo assim, foram desenvolvidos aparelhos capazes de monitorar a quantidade de exsudato das sementes, liberados para o meio externo. Esses aparelhos podem quantificar a resistência (ohm) que a solução oferece à passagem da corrente elétrica; a condutividade elétrica através da solução ($\mu\text{mho/cm}$ ou $\mu\text{S/cm}$) e a intensidade da corrente elétrica $\mu\text{Amperes}$ (LOEFFLER, 1981).

Basicamente a avaliação da condutividade elétrica apresenta duas alternativas, uma chamada condutividade de massa ou sistema de copo (bulk conductivity), em que as sementes que compõem a amostra, são avaliadas em conjunto; e outra, com base na avaliação da condutividade de cada semente (KRZYŻANOWSKI et al., 1991; VIEIRA, 1994; HAMPTON & TEKRONY, 1995).

Referindo-se ao princípio biológico, as sementes são constituídas de células envolvidas por membranas plasmáticas semipermeáveis que controlam as trocas de água e solutos entre as células e seu meio exterior. A quantidade e a intensidade de material lixiviado estão diretamente relacionadas à permeabilidade das membranas e, conseqüentemente, com o nível de vigor das sementes. Esses solutos, com propriedades eletrolíticas, apresentam carga elétrica, podendo então, ser detectados por aparelhos próprios (condutímetro), constituindo assim, um importante método para avaliação da qualidade fisiológica das sementes (YAKLICH et al., 1979; McDONALD JR. & WILSON, 1980; POWELL, 1986; VIEIRA, 1994; HAMPTON & TEKRONY, 1995; DIAS & BARROS, 1995; PAIVA AGUERO, 1995).



O equipamento básico para medir a condutividade elétrica de uma solução, no sistema de copo, consiste de uma célula sensorial (célula de condutividade), conectada a uma ponte de condutividade a qual consiste de dois eletrodos (constante 1) de platina fixados dentro de um cilindro de vidro e que deve ser imerso na solução por ocasião da leitura da

condutividade. Para o sistema de sementes individuais usa-se o aparelho conhecido como ASA-610, conforme metodologia descrita por McDONALD JR. & WILSON (1979), e mais recentemente o modelo ASAC-1000.

2.4.1. Efeito do teor de água das sementes sobre os resultados da condutividade elétrica

Dentre os fatores citados que influenciam os resultados da condutividade elétrica, este talvez seja o de maior importância. Diversos autores já relataram este problema, como POLLOCK et al. (1969), trabalhando com sementes de feijão, SIMON & RAJA HARUN (1972), SIMON & WIEBE (1975), com sementes de ervilha e TAO (1978); LOEFFLER et al. (1988), CARVALHO (1994) e PENARIOL (1997), com sementes de soja. Esses vários trabalhos demonstraram que lotes de sementes com teor de água muito baixo (7-11%) apresentam valores de condutividade elétrica significativamente superiores aos de lotes que apresentam teor de água variando entre 13 e 18%. Isso foi verificado para sementes de ervilha, feijão e soja.

No caso de sementes de soja, verifica-se que teor de água inferior a 10-11%, proporciona aumento significativo nos resultados de condutividade, sem necessariamente significar alteração da qualidade fisiológica da semente (HAMPTON et al., 1992; CARVALHO, 1994). HAMPTON et al. (1992) relatam que para sementes



de soja, os valores de condutividade elétrica estabilizaram entre teores de água de 10 e 20%, enquanto que, para as de feijão, foram verificadas diferenças entre 10, 14 e 18%, mostrando assim, comportamento diferente da de soja.

O teor de água de lotes de sementes, por ocasião do recebimento no laboratório de análise, podem apresentar uma amplitude de variação muito grande, dependendo da espécie, região de produção, época de colheita, eficiência da secagem e do ambiente (HAMPTON, 1995).

Segundo LOEFFLER et al. (1988) a grande maioria das amostras de sementes de soja que chega aos laboratórios de análise apresenta-se com teor de água entre 8 e 15%, o que freqüentemente, faria com que providências tivessem que ser tomadas para corrigir o erro de leitura que se verificaria para amostras com teor de água inferior a 13%. Para diminuir o erro, uma das alternativas seria a de se calcular um fator de correção para leituras feitas com sementes cujo teor de água, no momento de iniciar a embebição, fosse inferior a 13%. Esses autores verificando que a condutividade elétrica decresceu à medida que o teor de água aumentou de 6 para 13%, expressaram os resultados como a porcentagem da condutividade obtida para o teor de 13%, calculando assim, os fatores de correção.

CARVALHO (1994), pesquisando o mesmo assunto, verificou que a estabilização dos resultados da condutividade elétrica, ocorre quando as sementes possuem ao redor de 13% de água. Também relata que seria necessária a obtenção de fatores de correção diferente para cada cultivar, fato este que dificultaria demais a rotina dos laboratórios, pois a renovação dos cultivares é muito rápida.



2.5. Efeitos do estresse hídrico sobre a germinação

De acordo com CARVALHO & NAKAGAWA (1988), a água é o fator que exerce a mais determinante influência sobre o processo de germinação. Da absorção da água resulta a reidratação dos tecidos com a conseqüente intensificação da respiração e de todas as outras atividades metabólicas que culminam com o fornecimento de energia e nutrientes necessários para a retomada de crescimento por parte do eixo embrionário.

A absorção de água ocorre de modo diferente nos diferentes tecidos da semente, sendo que a casca absorve pouca água. O tecido de reserva absorve água até um certo ponto, funcionando como um reservatório a partir do momento que cessa a absorção. O tecido meristemático, justamente por crescer, é o que absorve as maiores quantidades de água (CARVALHO & NAKAGAWA, 1988).

Para cada tipo de semente existem diferentes níveis de hidratação críticos ou potenciais de água da semente críticos, que provavelmente controlam a embebição, a expansão e a divisão celular (HEGARTY, 1978).

A maneira como o déficit hídrico se desenvolve na planta é bastante complexo, pois afeta praticamente todos os aspectos do crescimento, incluindo modificações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e bioquímicas. No entanto, os prejuízos causados dependem diretamente da sua duração e severidade, e do estágio de desenvolvimento da planta em que ele ocorre (KRAMER, 1983).

Por falta de umidade suficiente, as sementes, ao invés de germinarem, deterioram-se ou, se germinam, as plântulas não rompem a crosta superficial do solo, reduzindo assim o stand da cultura. Durante o estágio vegetativo, o déficit hídrico tem efeito indireto na produção de grãos, pela redução da área assimilatória. Se a estiagem ocorre durante a floração, provoca aborto e queda de flores, com redução do número de



vagens por planta; se ocorre no enchimento de grãos, prejudica a formação das sementes ou reduz o peso delas (GUIMARÃES, 1988).

A taxa de germinação e as emergências tanto da radícula como da plúmula são reduzidas em condições de déficit hídrico (TORRES, 1997 citando El-Sharkawi & Springel, 1977). De maneira geral, a redução progressiva do potencial hídrico do substrato provoca decréscimo no comprimento das plântulas e na porcentagem de germinação (EMMERICH & HARDEGREE, 1990 e GERMU & NAYLOR, 1991).

SHIOGA (1990) verificou que o potencial hídrico externo causa maiores prejuízos ao desenvolvimento inicial das plântulas do que no processo de emissão das raízes primárias e que as elevações do estresse hídrico (-8 , -12 e -16 atm) e do período de exposição (1 a 5 dias), antes da passagem à condição de plena disponibilidade de água, prejudicam o desenvolvimento das plântulas de feijoeiro e de suas partes, tais como a raiz e o hipocótilo.

SILVA (1989) concluiu que a deficiência hídrica retardou a absorção de água e o desenvolvimento das plântulas durante a germinação das sementes de milho, mas o atraso no desenvolvimento, contudo, se atenuou quando o ambiente deixou de apresentar limitações na disponibilidade de água.

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 bar são considerados como adequados para a maior parte das espécies cultivadas (YOUNG et al., 1983). A título de exemplo, podem ser citados resultados de $-7,6$ a -10 bar para gramíneas forrageiras (WATT, 1982), de $-12,5$ atm para milho (HUNTER & ERICKSON, 1952) e de -10 bar para sorgo, trigo, cevada e milho (BODSWORTH & BEWLEY, 1981).



A deficiência hídrica provoca, entre outros problemas, o fechamento dos estômatos, reduzindo a dissipação de calor latente através da transpiração e aumentando, conseqüentemente, a temperatura das folhas (BIDINGER, 1978).

COSTA et al. (1988) citando Kanemasu & Tanner (1969) e Kanemasu et al. (1969) afirmam que no feijoeiro, a fotossíntese líquida decresce em resposta ao déficit de água, e essa resposta se deve principalmente ao aumento da resistência estomática.

MEYER & BOYER (1972) pesquisaram os efeitos da deficiência hídrica sobre a divisão e a expansão celular. Medições do potencial hídrico e osmótico dos hipocótilos indicaram que houve ajustamento osmótico nas células desta região, o que tornou possível a manutenção da turgescência e o crescimento das plântulas. A inibição do crescimento, que ocorreu em certa proporção, apesar do ajustamento osmótico, foi devida à inibição tanto da divisão como da elongação celular.

NOMANI & BOYER (1989), mediram o turgor na região de elongação e nos tecidos maduros de plântulas de soja submetidas a baixos potenciais hídricos. O crescimento do caule foi completamente inibido e o turgor diminuiu na região madura, mas não na região de crescimento. Concluiu-se que o crescimento do hipocótilo foi inibido inicialmente não por perda da turgescência, mas sim pela falta de um gradiente de potencial hídrico favorável ao processo de crescimento das células.

QUEIROZ et al. (1992) estudaram o efeito da umidade do solo sobre a velocidade de emergência, o número médio de dias para emergência, porcentagem de plântulas emergidas e matéria seca das cultivares UFV-1 e UFV-10. Utilizaram-se solos com 0,8; 0,9; 1,04; 1,1 e 1,2 vezes a retenção no equivalente de umidade. O aumento de disponibilidade de água levou a uma maior velocidade de emergência, permitindo um estabelecimento mais rápido das plântulas. O melhor nível de umidade foi de 1,04 vezes o equivalente de umidade, pois acima deste houve um decréscimo na germinação.



Níveis de água mais elevados levaram a uma maior produção de matéria seca indicando que somente as sementes mais vigorosas conseguiram germinar e emergir nestas condições.

McCOY et al. (1990) submeteram plântulas de soja com 18 dias, a potenciais hídricos do solo de $-0,004$, $-0,25$ e $-0,50$ MPa, mantidos constantes em câmaras osmóticas contendo solução nutritiva e polietilenoglicol e em temperaturas do solo de 25 e 10°C . Tanto o estresse hídrico como o de temperatura, reduziram a taxa de alongamento da terceira folha trifoliolada. Observaram também que a taxa de utilização de carbono no crescimento e o seu armazenamento nas plantas não estressadas ($-0,004$ MPa, 25°C) foi maior na folha-fonte seguido pelo ápice, caule, raízes e nódulos. O mesmo padrão foi observado nas plantas sob estresse moderado ($-0,25$ MPa, 25°C). Já as plantas submetidas a estresse severo ($-0,50$ MPa), aumentou a quantidade de carbono na folha-fonte e diminuiu nos tecidos do dreno, indicando uma menor utilização de assimilados nos drenos.

KOOGHOMOV et al. (1990) realizaram experimento com 17 cultivares de soja, submetendo ao estresse hídrico tanto sementes, como plântulas, usando-se soluções de polietilenoglicol com potenciais de $-0,3$ e $-0,5$ MPa. O índice de estresse na germinação foi mais baixo para sementes submetidas à $-0,5$ MPa do que para aquelas expostas à $-0,3$ MPa. Houve correlação significativa entre o peso fresco e os índices de estresse relativos à altura das plântulas, indicando que a altura pode ser usada para prever o comportamento da cultivar sob tais condições.



2.6. Utilização de soluções com diferentes potenciais osmóticos na simulação de condições de campo

O potencial de água no solo consiste, principalmente, dos componentes mátrico e osmótico, sendo que para conveniência, em estudos de germinação, soluções aquosas de vários solutos simulam potenciais mátricos (SHARMA, 1973). Segundo MANOHAR (1966) e SHARMA (1973), existem amplas evidências sugerindo que substratos de baixo peso molecular (cloreto de sódio, glicerol, sacarose, manitol), e mesmo polietilenoglicol, não acarretam efeitos de potencial mátrico verdadeiro, talvez por penetrarem na semente induzindo efeitos de toxidez (SHARMA, 1973), que são mais complexos que a simples seca.

Em condições de laboratório, estudos de germinação são realizados utilizando-se normalmente soluções aquosas de manitol e polietilenoglicol para simular condições padronizadas de estresse hídrico, já que estes compostos são quimicamente inertes e não tóxicos (SHARMA, 1973; THILL et al., 1979).

DELACHIAVE et al. (1986) estudaram o efeito de diferentes potenciais osmóticos (0, -6, -12, -18 bars) induzidos com soluções de manitol ou polietilenoglicol na embebição de sementes de *Stylosanthes guianensis*. Para todos os potenciais osmóticos utilizados, ocorreu um aumento de peso da matéria fresca (embebição), sendo que esse aumento foi maior para potenciais mais altos. Comparando-se o efeito do manitol e do PEG, em relação à absorção de água pelas sementes, verifica-se que, quando os potenciais foram induzidos com soluções de PEG, os valores finais de embebição foram menores que quando induzidos com manitol. MANOHAR (1966) e SHARMA (1973) acreditam que o manitol penetre nas células da semente; com a entrada do soluto aumenta a pressão osmótica da semente, mantendo um gradiente de

potencial de água que resulta em valores maiores de absorção de água em relação às soluções com PEG.

De maneira geral, a simulação de deficiência hídrica imposta pela utilização de soluções com pressões osmóticas elevadas, produz efeitos menos drásticos sobre as plantas do que quando comparados com uma situação correspondente com a tensão de água no solo (COLLIS-GEORGE & SANDS, 1962; KAUFMAN, 1969). Isso foi verificado por THILL et al. (1979) que observaram que a germinação de sementes de trigo em soluções de manitol e PEG-20.000, em potenciais mais negativos (-11,0 bars) foram sempre superiores nas soluções que no solo.

No entanto, conforme descrito por MAGALHÃES & CARELLI (1972) que trabalharam com soluções de polietilenoglicol-6000 (carbowax-6000), utilizando diferentes pressões osmóticas, visando verificar seus efeitos sobre a germinação de sementes de feijão, observou-se que em soluções onde se utilizou pressões osmóticas elevadas, que houve acentuada redução na germinação.

OLIVEIRA & FARIA (1996) realizaram experimentos em 1994 e 1995, com o objetivo de quantificar os efeitos da deficiência hídrica em diferentes fases do ciclo sobre o crescimento e a produção do feijoeiro. A supressão hídrica na fase de 0-20 dias atrasou o florescimento de 2 a 7 dias, em 1995 e 1994, respectivamente; e afetou intensamente a produção em função da umidade inicial do solo. Com perfil seco e água suficiente apenas para emergência, como em 1994, as reduções provocadas foram de 18% a 28%, já em condição de perfil de solo inicialmente úmido, como ocorrido em 1995, a redução causada foi de, no máximo 10%.

EVANS & STICKLER (1961) trabalhando com germinação de sementes de quatro variedades de sorgo, utilizaram d-manitol para simular condições de déficit



hídrico. Foi observado que a germinação decresceu de acordo com o aumento do déficit e que ocorreu comportamento diferencial das variedades.

SEONG et al. (1988) avaliaram a germinação de sementes e o alongamento de plântulas de 8 cultivares de soja submetidas às temperaturas de 15 e 30°C, e aos potenciais hídricos de 0; -0,5; -1,1 e -1,5 MPa. Foi verificado que o conteúdo de umidade e o comprimento das plântulas diminuíram a medida que aumentou a concentração de manitol, ou seja, que o potencial hídrico diminuiu. As cultivares com sementes maiores absorveram mais água do que aquelas com sementes pequenas, mas o conteúdo de umidade das plântulas seguiu tendência oposta.

Com o objetivo de estudar a eficiência do teste de estresse hídrico na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de sorgo, TORRES (1997) trabalhou com os potenciais de 0; -0,3; -0,6; -0,9 MPa. O maior crescimento das plântulas foi observado no potencial hídrico de 0 MPa; havendo redução progressiva com o decréscimo para -0,3, -0,6; -0,9 MPa. Verificou-se que sementes de alto vigor foram menos afetadas pelo estresse hídrico do que as de baixo vigor, o que foi observado nos potenciais de 0, -0,3 e -0,6 MPa.

PEREZ & MORAES (1991) avaliaram o efeito do estresse hídrico na germinação de sementes de algarobeira (*Prosopis juliflora*) utilizando soluções de manitol nos potenciais de 0; -3; -6; -9, -12; -15; -18 e -19 bars. Observou-se um decréscimo na percentagem e na velocidade de germinação com o abaixamento do potencial hídrico, sendo que a -19 bar a germinação foi drasticamente reduzida. Nas sementes germinadas observou-se maior crescimento do hipocótilo e radícula nos tratamentos de 0 e -3 bars. Nos potenciais hídricos de -18 e -19 bars, só ocorreu protusão da radícula, e outros fatos, como: o escurecimento do tegumento, a liberação de exsudato e rápida perda de viabilidade também foram observados.



SANTOS et al. (1992) avaliaram os efeitos do estresse salino e hídrico na germinação e vigor de sementes de soja com alto e baixo vigor. O estresse salino foi obtido por meio dos clorestos de sódio e de cálcio, e o hídrico usando-se manitol em diferentes concentrações ($\psi_s = 0, -0,3; -0,6$ e $-0,9; -1,2; -1,5$ MPa). Verificaram que os sais exerceram um efeito mais pronunciado sobre a germinação do que o manitol e que em concentrações mais elevadas quanto menor o vigor das sementes menor é a sua germinação. Em sementes com alto vigor, tanto os sais como o manitol reduziram os valores do peso de matéria seca, do comprimento do hipocótilo e da radícula, que foi intensificada com o aumento da concentração. O manitol, em sementes de alto vigor, praticamente não afetou a germinação até um potencial osmótico bastante baixo ($-1,2$ MPa) e em sementes de baixo vigor não chegou a inibir a germinação.

Visando estudar os efeitos do estresse hídrico e salino sobre a germinação de sementes de *Leucaena leucocephala*, CAVALCANTE & PEREZ (1995) utilizaram soluções de manitol nos potenciais de $0,0; -0,3; -0,6; -0,9; -1,2; -1,5$ e $-1,6$ MPa. Houve uma redução gradual da velocidade de germinação e germinabilidade, com o aumento da concentração de manitol no meio germinativo. A supressão da germinação ocorreu entre $-1,5$ e $-1,6$ MPa de manitol e entre 300 e 330 mM de NaCl. A exposição das sementes ao estresse hídrico ($-1,6$ MPa) e salino (250, 300 e 330 mM) prolongados induziu dormência secundária nas sementes mais vigorosas.

De acordo com SHARMA (1973), soluções de polietilenoglicol-20.000 tem se mostrado altamente satisfatórias para simular os efeitos de potenciais de água no solo na germinação de sementes.

THILL et al. (1979) também verificaram que a emergência de plântulas de trigo em diferentes potenciais matriciais foram realizados com soluções de



polietilenoglicol com os resultados sendo similares aos observados em condições de campo.

Como se observa, a maior parte das pesquisas tem sido conduzidas, principalmente com soja. O feijoeiro apesar de sua importância, é das espécies menos contempladas com pesquisas dessa natureza. Entretanto, a abordagem destes trabalhos é de grande importância, pois indicam a existência de um sério problema que deve ser estudado. Dessa forma, considerando o teor de água da semente como um fator que pode ser limitante aos processos fisiológicos que ocorrem na semente germinante e como estas se comportam quando expostas à condições de estresse hídrico, estudos buscando informações nessa linha, representam um suporte para o entendimento das etapas do processo de germinação e do desenvolvimento inicial de plântulas. Estando as sementes expostas a diversas situações que podem dificultar uma emergência rápida e uniforme, quando colocadas no campo e sendo o estresse hídrico um dos problemas mais comuns a interferir no sucesso da implantação de uma cultura, espera-se que o exame dos efeitos de diferentes potenciais matriciais da água no solo sobre a germinação de sementes de feijão com diferentes qualidades fisiológicas e diferentes graus de umidade possam trazer importantes informações sobre o desempenho das sementes. Outro fato importante é que os estudos simulando o déficit hídrico (com soluções osmóticas) poderão facilitar futuras pesquisas.



3. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Análise de Sementes da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - FEIS/UNESP.

Na fase inicial foram utilizados sete lotes de sementes do cultivar IAC-Carioca, para caracterização de diferenças na qualidade fisiológica, com a realização dos testes preliminares. A identificação de cada material foi feita de acordo com a sua origem de obtenção. As sementes de dois lotes (Fazenda 1 – sementes colhidas em outubro/1998 e Fazenda 2 – sementes colhidas em agosto/1998) foram fornecidas pela Fazenda de Ensino e Pesquisa da FEIS/UNESP, localizada em Selvíria – MS. Três lotes de sementes foram adquiridos da Seção de Sementes do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) oriundos das Estações Experimentais de Votuporanga, Ribeirão Preto e Monte Alegre do Sul, colhidos em junho/1998. Da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (CATI) foram adquiridos dois lotes, oriundos de Jales e Campinas, da safra 1997/1998.



Foram realizadas determinações preliminares no sentido de avaliar a qualidade das sementes e detectar possíveis diferenças entre os materiais. Amostras de cada um dos lotes de sementes foram coletadas para avaliações de peso de mil sementes, germinação e vigor (primeira contagem, velocidade de germinação, comprimento de radícula e de hipocótilo, peso de matéria seca das plântulas, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado), obtendo-se dados médios por amostra.

Considerando o desempenho dos sete lotes no conjunto das diversas determinações preliminares selecionou-se os lotes de Votuporanga, Ribeirão Preto e Monte Alegre do Sul, designados respectivamente de lotes 1, 2 e 3, para avaliações das respostas aos potenciais hídricos, utilizando as soluções de diferentes potenciais osmóticos para simulação de condições de déficit hídrico, e o solo com diferentes potenciais matriciais da água para se verificar os efeitos sobre a germinação das sementes de feijão, com as mesmas apresentando diferentes graus de umidade, obtidos após hidratação ou secagem artificiais.

Após a hidratação ou secagem das sementes dos três lotes, as mesmas foram submetidas às avaliações de germinação e vigor (envelhecimento acelerado e condutividade elétrica), obtendo-se dados médios por amostra. Em seguida observou-se a germinação e o vigor (primeira contagem de germinação, velocidade de germinação, comprimento de epicótilo, hipocótilo e radícula e peso de matéria seca das plântulas) das sementes dos três lotes, na umidade obtida após a hidratação ou secagem, sob cinco tensões de água: $-0,001\text{MPa}$, $-0,01\text{MPa}$, $-0,2\text{MPa}$, $-0,4\text{MPa}$, $-0,6\text{MPa}$.



3.1. Obtenção dos níveis de umidade

A partir dos valores determinados para o grau de umidade das sementes dos três lotes, no momento da realização dos testes, através do método da estufa a $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$, as sementes foram submetidas à secagem ou hidratação para se obter níveis aproximadamente 3% abaixo e 3% acima do grau de umidade determinado, formando os lotes com diferentes graus de umidade.

Para tanto amostras de 30 gramas de sementes foram secas em estufa a 38°C em saquinhos de papel durante 8 horas. O tempo foi determinado após a realização de testes de secagem por diversos períodos de tempo, utilizando-se quatro repetições de 30 gramas de sementes de cada um dos três lotes.

Para a hidratação, amostras de 30 gramas de sementes foram colocadas em caixas plásticas modificadas sobre tela de alumínio, no qual se colocou água destilada ($\cong 75\text{ ml}$), e as caixas foram levadas a incubadora BOD a 25°C e então a cada hora foram retiradas quatro amostras para se determinar o grau de umidade atingido. Quando se obteve o grau de umidade desejado, foi computado o tempo em que o mesmo foi obtido, o qual foi utilizado como base para hidratação das sementes.

3.1.1. Experimentos com substrato papel-toalha

O grau de umidade inicial das sementes foram de 12,4%, 12,1% e 12,1%, respectivamente para os lotes 1, 2 e 3. Foram observadas as germinações das sementes dos três lotes sob cinco tensões de água em substrato toalha de papel (com soluções de manitol).



As sementes foram armazenadas em câmara seca, tendo verificado redução na umidade na ocasião da realização dos testes de hidratação e secagem, passando então para 10,7; 10,5 e 10,3%, respectivamente para os lotes de 1, 2 e 3. Dessa forma, utilizando a metodologia descrita anteriormente, as sementes dos três lotes foram secas em estufa à 38°C por oito horas, chegando às seguintes umidades: 9,4% para o lote 1 (Votuporanga), 9,1% para o lote 2 (Ribeirão Preto) e 9,5% para o lote 3 (Monte Alegre do Sul). Na hidratação, as sementes foram mantidas em germinador a 25°C por nove horas (lote 1) e onze horas (lotes 2 e 3), obtendo-se respectivamente 15,0%; 15,6% e 15,5% de umidade.

A germinação das sementes dos três lotes (após hidratação e secagem) foram observadas sob condições de diferentes níveis de água em rolos de papel-toalha, empregando-se soluções de manitol para simular condições de deficiência hídrica utilizando potenciais osmóticos de -0,001, -0,01, -0,2, -0,4, -0,6MPa.

3.1.2. Experimentos em solo

As sementes que anteriormente apresentavam grau de umidade de 10,7%, 10,5% e 10,3%, foram armazenadas em câmara seca, tendo se verificado uma pequena alteração nos valores de umidade na ocasião da realização dos testes em solo, passando então para 10,3%; 10,2% e 10,5%.

A partir dos valores determinados para o grau de umidade das sementes dos três lotes, no momento da realização dos testes, através do método da estufa a $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$, as sementes foram submetidas à secagem e à hidratação para se obter níveis aproximadamente de 9, 12 e 15% de umidade, formando os lotes com graus de umidade similares aos utilizados nos testes em rolo de papel.



Dessa forma, conforme descrito anteriormente as sementes dos três lotes foram secas por oito horas (atingindo grau de umidade próximo à 9%), hidratadas por nove ou onze horas (atingindo assim grau de umidade em torno de 15%). Para atingir grau de umidade próximo à 12% as sementes foram hidratadas por quatro horas.

3.2. Testes preliminares

Estes testes constituíram todos aqueles utilizados para caracterizar o potencial físico e fisiológico dos lotes utilizados. Foram realizados os testes de: peso de 1000 sementes, determinação do grau de umidade, germinação e vigor (primeira contagem de germinação, velocidade de germinação, condutividade elétrica, comprimento de epicótilo, hipocótilo e radícula, peso da matéria seca das plântulas).

3.2.1. Peso de mil sementes

Foi determinado segundo as indicações das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992), com oito subamostras de 100 sementes por lote. As pesagens foram efetuadas em balanças de precisão de 0,1 g, obtendo-se, a seguir, o peso médio de mil sementes por amostra.

3.2.2. Determinação do grau de umidade

Foi realizada de acordo com as R.A.S. (BRASIL, 1992), utilizando-se duas amostras de 30 gramas por material, as quais foram pesadas e colocadas em estufa a



105° ± 3°C por 24h e então foram pesadas novamente, procedendo-se o cálculo do grau de umidade das sementes, com base no peso úmido.

3.2.3. Teste de germinação

Foi realizado com quatro subamostras de 50 sementes para cada lote e grau de umidade das sementes, em germinador regulado para manter temperatura constante de 25°C, durante o decorrer do teste; utilizou-se toalha de papel (tipo Germitest) como substrato e as contagens foram efetuadas aos cinco e nove dias após a semeadura, (BRASIL, 1992).

3.2.4. Testes de vigor em laboratório

O vigor das sementes foi avaliado através dos seguintes métodos: primeira contagem de germinação, velocidade de germinação, comprimento de epicótilo (realizado apenas nos testes em solo), comprimento de hipocótilo, comprimento de radícula, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e peso de matéria seca de plântulas.

3.2.4.1. Primeira contagem de germinação

Foi efetuado em conjunto com o teste de germinação, computando-se as porcentagens de plântulas normais verificadas no quinto dia após a semeadura em técnica semelhante à descrita por MARCOS FILHO et al. (1987).



3.2.4.2. Velocidade de germinação

Foi realizado em conjunto com o teste de germinação, o índice de velocidade de germinação para cada subamostra foi obtido segundo a fórmula proposta por MAGUIRE (1962), apresentada a seguir:

$$IVG = \frac{N_1}{D_1} + \frac{N_2}{D_2} + \dots + \frac{N_n}{D_n}$$

onde: IVG = Índice Velocidade de Germinação;

$N_{1:n}$ = número de plântulas germinadas no dia 1, ..., n;

$D_{1:n}$ = dias para ocorrência da germinação.

Os resultados obtidos foram apresentados na forma de dados médios por amostra.

3.2.4.3. Condutividade elétrica

Foi realizada utilizando-se quatro subamostras de 25 sementes para cada lote e grau de umidade, eliminando-se as com trincas e/ou fraturas, mesmo as superficiais, pesadas e, a seguir, imersas em 75 ml de água destilada no interior de copos plásticos. Os recipientes foram colocados em incubador a 25°C, por 24 horas; ao final desse período, efetuou-se as leituras da condutividade elétrica em condutivímetro

Digimed modelo CD-20, expressando-se os resultados em $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ (MARCOS FILHO et al., 1987).

3.2.4.4. Envelhecimento acelerado

Foram utilizadas 30g de sementes de cada lote e grau de umidade, colocadas em caixas plásticas modificadas sobre a tela de alumínio, sendo que em cada caixa previamente foram colocados 40ml de água destilada. Posteriormente as caixas foram levadas à incubadora BOD e mantidas à temperatura de 42°C por 60 horas (MARCOS FILHO, 1994). Decorrido o período do envelhecimento, foi realizado o teste padrão de germinação semelhante descrito em 3.2.3.

3.2.4.5. Comprimento do epicótilo, hipocótilo e da radícula

Para os experimentos em papel toalha, o comprimento do hipocótilo e da radícula das plântulas foram determinados com a utilização de quatro subamostras de 20 sementes de cada lote e grau de umidade das sementes, distribuídas sobre duas linhas retas traçadas longitudinalmente nos dois terços do papel toalha, previamente umedecido com água destilada; as sementes foram colocadas com o hilo orientado para a extremidade inferior do substrato (NAKAGAWA, 1994). Após a semeadura, os rolos de papel toalha foram levados para o germinador, onde permaneceram sob as mesmas condições descritas em 3.2.3., durante cinco dias. Nesta ocasião foram determinados os comprimentos do hipocótilo e da radícula das plântulas normais, com o auxílio de uma régua graduada em milímetros.



Nos experimentos em solo, o comprimento do epicótilo, hipocótilo e da radícula das plântulas foram determinados com a utilização de quatro subamostras de 50 sementes para cada lote e grau de umidade das sementes. Utilizaram-se todas as plântulas normais obtidas nos testes de emergência em solo. As plântulas foram medidas por ocasião da última contagem de emergência, sendo determinados o comprimento do epicótilo, hipocótilo e da radícula, com o auxílio de uma régua graduada em milímetros.

Considerou-se como comprimento do epicótilo a distância compreendida entre a plúmula e o nó cotiledonar; como comprimento do hipocótilo, a distância compreendida entre o nó cotiledonar e a região onde surgem as raízes secundárias; como comprimento da radícula, a distância entre a região das primeiras raízes secundárias e a extremidade da raiz primária, conforme descrito em MARCOS FILHO (1979). Os comprimentos do epicótilo, hipocótilo e da radícula, para cada amostra, foram calculados dividindo-se o total das medidas pelo número de plântulas avaliadas, obtendo-se valores médios.

3.2.4.6. Peso da matéria seca das plântulas

Foi avaliado utilizando-se todas as plântulas normais por repetição de cada uma das amostras que foram usadas para determinação do comprimento de epicótilo, hipocótilo e radícula. As plântulas foram colocadas em saquinhos de papel e levadas para secar em estufa a 65°C, por 24 horas. A seguir, as plântulas foram pesadas, e realizaram-se os cálculos para a obtenção de dados médios em g/plântula (NAKAGAWA, 1994).



3.3. Relações entre potenciais de água, germinação e vigor

Foram observadas as germinações das sementes para cada lote e grau de umidade das sementes, sob cinco tensões de água: -0,001MPa, -0,01MPa, -0,2MPa, -0,4MPa, -0,6MPa.

Para tanto, foram realizados experimentos em substrato papel toalha (com soluções de manitol).

3.3.1. Germinação em substrato toalha de papel

A semeadura foi realizada em toalha de papel, utilizando-se soluções com diferentes pressões osmóticas para se obter as tensões de água desejadas no umedecimento do papel.

Empregou-se manitol ($C_6 H_{14} O_6$) de peso molecular 182,17g para o preparo das soluções. Para o cálculo da quantidade de manitol a ser adicionada para obtenção de cada tensão, utilizou-se a fórmula de Van't Hoff (HILLEL, 1971), ou seja:

$$\psi_{os} = - RTC, \text{ onde:}$$

ψ_{os} : potencial osmótico (atm)

R: constante geral dos gases perfeitos ($0,082 \text{ atm} \cdot \text{l} \cdot \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$)

T: temperatura ($^{\circ}\text{K}$)

C: concentração (mol/l) (N^0 de moles/l)

Assim, para $\psi_{os} = -0,001$, a 26°C (298°K) e C (gramas de manitol/mol/l de água), teremos:



$\psi_{os} = -RTC$

$-0,001 = -0,082 \cdot 299 \frac{X}{182,17458}$

$-0,001 = 24,518 \frac{X}{182,17458}$

$X = \frac{1,8217458}{24,518}$

$X = 0,074 \text{ g/l}$

Portanto, as quantidades de manitol por litro de água para cada tratamento foram as seguintes:

Potencial osmótico (MPa)	g de manitol/l de água destilada
-0,001	0,074
-0,01	0,743
-0,2	14,860
-0,4	29,720
-0,6	44,581

A quantidade de solução colocada para umedecer o papel foi igual a 2,5 vezes o peso do papel, no momento de instalação dos testes de germinação e durante o transcorrer dos testes, os rolos de papel foram umedecidos no quinto dia (ocasião da primeira contagem de germinação) com as respectivas soluções, utilizando cerca de 20-40 ml por rolo.

A semeadura foi realizada em procedimento similar ao descrito em 3.2.3., utilizando-se germinador do tipo Mangelsdorf. Foram efetuadas contagens aos cinco e nove dias após a instalação dos testes.

Foram obtidos dados de porcentagem de germinação e velocidade de germinação, sendo esta calculada da mesma maneira que foi descrita em 3.2.4.2..

3.3.2. Comprimento do hipocótilo e da radícula

Foram determinados conforme procedimento descrito em 3.2.4.5., só que para umedecer o papel-toalha foram utilizadas as soluções de diferentes potenciais osmóticos, para assim se determinar os efeitos desses potenciais sobre estes parâmetros.

3.3.3. Peso da matéria seca das plântulas

Foi determinado utilizando-se todas as plântulas normais por repetição de cada tratamento, aproveitando-se as plântulas que serviram para se determinar o comprimento do hipocótilo e radícula, nos diferentes potenciais osmóticos.

As plântulas foram colocadas para secar em estufa por 65°C, por 24 horas, e, a seguir, pesadas; obtendo-se dados médios em g/plântula.



3.4. Relações entre o potencial matricial e a emergência das plântulas em solo

3.4.1. Solo

Foram utilizadas porções de terra retiradas de uma área localizada no Pomar da FEIS/UNESP, solo este classificado como Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa.

A terra foi retirada da porção superficial do solo (até 20 cm de profundidade) e peneirada para eliminação de torrões e uniformização.

A determinação do teor de água foi realizada, retirando-se oito amostras de aproximadamente 50 g, as quais foram pesadas e levadas para secar em estufa de $105^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$, por 24 horas; em seguida, foram novamente pesadas para o cálculo da umidade volumétrica de $0,0374 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

3.4.2. Determinação da curva característica de umidade

Amostras de terra foram levadas às instalações do Laboratório de Ciência do Solo da ESALQ/USP onde foram realizadas as determinações de retenção de água pelo solo em função dos vários potenciais matriciais em estudo ($-0,001$; $-0,01$; $-0,2$; $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$). Os valores obtidos são mostrados na curva de retenção de água (Figura 1).



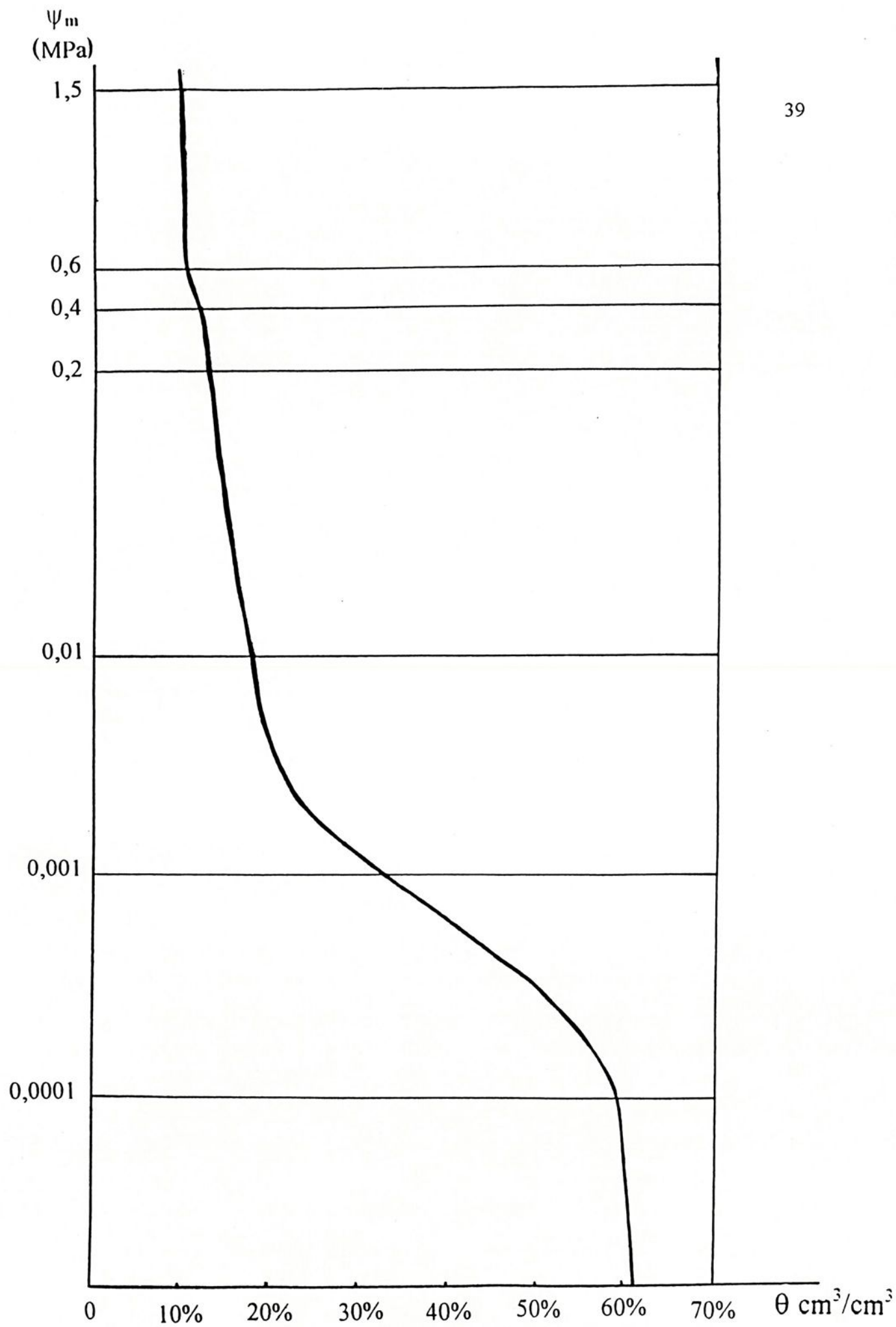


Figura 1. Curva de retenção de água para o solo utilizado.

3.4.3. Determinação da quantidade de água por caixa

Após a determinação do teor de água na terra e da sua curva de retenção, procedeu-se ao cálculo da quantidade de água necessária para cada tensão a ser utilizada no experimento com solo. Para tanto, cada caixa plástica de dimensões 28cm X 14cm X 11cm (comprimento X largura X altura) foi pesada e colocou-se 5kg de terra por caixa, pesada em balança Filizola ID-1500 com precisão de 10g. Cada caixa correspondeu à uma repetição, isto é, em cada tratamento utilizaram-se 4 caixas com estas dimensões. Devido ao número insuficiente de caixas com essas dimensões utilizaram-se também caixas plásticas medindo 39cm X 27cm X 10cm (comprimento X largura X altura), onde colocou-se 10kg de terra por caixa. Cada caixa correspondeu à um tratamento, ou seja, às 4 repetições.

Considerando a umidade volumétrica do solo igual a 0,0374 cm³/cm³ e a umidade desejada para cada tratamento na curva característica, determinou-se a quantidade de água a ser adicionada por tratamento, para se obter a tensão de água desejada, conforme se segue:

Potencial matricial (MPa)	θ correspondente cm ³ /cm ³	θ inicial cm ³ /cm ³	% de água a ser adicionada	Quantidade de água para 10kg de solo	Quantidade de água para 5kg de solo
-0,001	32,72%	3,74%	28,98	2,898 l	1,449 l
-0,01	17,97%	3,74%	14,23	1,423 l	711,5 ml
-0,2	13,06%	3,74%	9,32	932 ml	466 ml
-0,4	11,94%	3,74%	8,20	820 ml	410 ml
-0,6	10,78%	3,74%	7,04	704 ml	352 ml



3.4.4. Mistura da água com a terra, homogeneização e semeadura

Determinada a quantidade de água a ser adicionada em cada caixa com 5kg e 10 kg de solo, procedeu-se a mistura da água com o solo e a homogeneização para que se pudesse ter, em todo o volume de solo, uma umidade uniforme.

A água colocada foi medida em beckers graduados, enquanto a terra foi colocada em bacias plásticas. A água foi distribuída sobre a terra e, por meio de mistura e homogeneização manuais, procurou-se uniformizar a umidade da terra. Após a homogeneização, a terra foi colocada nas caixas plásticas procedendo-se à semeadura, colocando-se 50 sementes por caixa. A profundidade de semeadura foi de 2cm.

Após a semeadura as caixas foram tampadas para evitar que ocorresse evaporação excessiva. As tampas foram retiradas à medida que iniciou a emergência das plântulas.

3.4.5. Condução dos testes

Os testes em solo foram instalados nos meses de junho (9.06 a 28.06) e julho (2.07 a 11.07) de 1999.

As caixas com a terra onde as sementes foram semeadas ficaram sobre mesas de aproximadamente 4,00m X 1,00m X 0,95m (comprimento X largura X altura) e distribuídas ao acaso.

As contagens de plântulas emergidas foram efetuadas diariamente, e tiveram início logo que se observou a emergência das primeiras plântulas, permanecendo até o décimo segundo dia após a semeadura.



3.5. Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Nos testes preliminares foram 7 tratamentos com quatro repetições, utilizando o seguinte esquema de análise de variância:

CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.
Lotes	2
Resíduo	9
Total	11

Nos estudos com potenciais osmóticos, os tratamentos foram obtidos através do arranjo fatorial entre lotes (3), grau de umidade das sementes (3) e potenciais hídricos (6), perfazendo 54 tratamentos, todos com quatro repetições. Neste caso o esquema de análise de variância utilizado foi o seguinte:

CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.
Lotes (L)	2
Grau de umidade (U)	2
Potenciais hídricos (P)	5
L x U	4
L x P	10
P x U	10
L x U x P	20
Resíduo	162
Total	215

Nos estudos com potenciais matriciais, os tratamentos foram obtidos através do arranjo fatorial entre lotes (3), grau de umidade das sementes (3) e potenciais matriciais (4), perfazendo 36 tratamentos com quatro repetições. O esquema de análise de variância utilizado foi o seguinte:

CAUSA DE VARIAÇÃO	G.L.
Lotes (L)	2
Grau de umidade (U)	2
Potenciais matriciais (P)	3
L x U	4
L x P	6
P x U	6
L x U x P	12
Resíduo	108
Total	143

4. RESULTADOS

4.1. Avaliação da qualidade fisiológica inicial dos lotes

Os resultados dos testes para determinação da qualidade fisiológica dos três lotes de sementes escolhidos para avaliação dos efeitos do estresse hídrico, estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que houve uma separação dos lotes em diferentes níveis de qualidade fisiológica, onde os testes de comprimento de radícula, matéria seca e condutividade elétrica discriminaram os três lotes.

Com relação ao teor de água inicial, foi verificado que não houve diferença significativa entre os lotes, com as sementes apresentando grau de umidade variando entre 12,1% e 12,4%.

Pelos resultados de germinação, primeira contagem de germinação e velocidade de germinação, o lote de 3 foi superior aos demais, embora não tenha ocorrido diferença estatística. Os dados relativos ao peso de mil sementes, comprimento

do hipocótilo, comprimento da radícula, peso da matéria seca das plântulas e condutividade elétrica confirmaram a superioridade do lote 3.

A avaliação do peso de mil sementes permitiu observar diferenças na qualidade dos lotes, o qual demonstrou ser o lote 1 o que apresentou sementes menores, justificando o menor acúmulo de matéria seca das plântulas, sendo razoável que assim seja, uma vez que segundo CARVALHO & NAKAGAWA (1983) sementes maiores dispõem de maior quantidade de substâncias de reserva para o desenvolvimento do eixo embrionário e para transferência de matéria seca para as plântulas. O peso das sementes do lote 2 apesar de inferior ao lote 3, não afetou o peso da plântula resultante que foi igual estatisticamente. No entanto, em trabalhos de Lopez & Grabe e Ries & Everson citados por CARVALHO & NAKAGAWA (1983) foi observado que existe uma certa controvérsia, demonstrando que a semente grande tem um comportamento superior ao de uma semente pequena apenas quando reflete um maior teor de proteínas, assim se por qualquer motivo, a semente de menor tamanho tiver conteúdo protéico maior do que o da semente grande, seu comportamento será melhor.

Os valores obtidos para o comprimento de radícula apontaram os lotes 1 e 3 como os mais vigorosos. Por outro lado, um lote que apresentou-se como mais vigoroso num teste, não se apresentou em outro, como observado para o peso da matéria seca das plântulas.

As determinações de vigor obtidas através do envelhecimento acelerado, mostraram que o lote 2 apresentou valor superior apesar de não diferir estatisticamente dos demais lotes. Observa-se que o comportamento dos lotes foi semelhante aos resultados encontrados nos testes anteriores (germinação, primeira contagem, IVG e comprimento do hipocótilo).



TABELA 1. Valores médios obtidos nas determinações preliminares para a avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cv. IAC-Carioca.

Lotes	Grau umidade inicial das sementes (%)	Peso de mil sementes (g)	Germinação (%)	1ª contagem de germinação (%)	Índice de velocidade de germinação	Comprimento de hipocótilo (cm)	Comprimento de radícula (cm)	Matéria seca mg/plântula	Condutividade elétrica uS cm ⁻¹ g ⁻¹	Envelhecimento acelerado (%)
1	12,4	185,07c	91,0	85,0	8,83	5,06 a	8,67 a	1,34 b	72,75 a	83,0
2	12,1	268,00b	90,5	82,5	8,69	4,86 a	7,24 b	1,93 a	45,36 b	87,5
3	12,1	281,84a	93,5	87,0	9,06	5,50 a	9,15 a	2,05 a	39,72 b	84,0
F		**	NS	NS	NS	*	**	**	**	NS
CV (%)		1,46	6,52	7,49	6,64	7,34	6,39	8,61	18,95	6,37

Valores médios seguidos por letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

NS = não significativo, * = significativo (P ≤ 0,05), ** = significativo (P ≤ 0,01).



Pode-se dizer que a avaliação da condutividade elétrica das plântulas mostrou maior sensibilidade na separação dos lotes em diferentes níveis de vigor do que os demais testes utilizados. Os resultados obtidos indicaram o lote de 1 como o que mais lixiviou solutos, constituindo-se como de baixa qualidade fisiológica; por outro lado, o lote 3 apresentou a menor lixiviação de solutos, revelando ser o lote de alta qualidade fisiológica. O lote 2 apesar de não diferir significativamente do lote 3, apresentou resultado intermediário. Verifica-se que os maiores valores de lixiviação corresponderam as menores porcentagens de germinação (apesar de não ter havido diferença significativa), mostrando ser este um bom parâmetro de avaliação da qualidade de sementes. Resultados semelhantes foram encontrados por DIAS & MARCOS FILHO (1995), quando trabalharam com sementes de soja, onde os maiores valores de lixiviação de solutos corresponderam às menores porcentagens de plântulas normais.

4.2. Resultados do teste de germinação e vigor em função da qualidade fisiológica e do grau de umidade das sementes

Na Tabela 2, são apresentados os valores de F para as características avaliadas. Houve efeito significativo para os lotes, grau de umidade das sementes e para a interação. Com relação a interação verificou-se apenas efeito significativo para a condutividade elétrica.



TABELA 2. Valores de F para germinação (TPG), envelhecimento acelerado (EA) e condutividade elétrica (CE), em função de lotes e do grau de umidade das sementes de *Phaseolus vulgaris* L..

CV	GL	TPG	EA	CE
Lotes (L)	2	3,64*	1,73 ^{ns}	29,14**
Grau de umidade (U)	2	7,05**	17,25**	1,33 ^{ns}
L X U	4	1,26 ^{ns}	1,26 ^{ns}	2,99*

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

^{ns} Não significativo.

Na Tabela 3, verifica-se que os resultados do teste de germinação mostraram que para sementes com 12% e 15% de umidade não ocorreram diferenças significativas entre os lotes estudados, por outro lado, diferenças estatísticas entre os mesmos foram observadas quando as sementes apresentavam 9% de umidade, com o lote 3 demonstrando vigor superior, mas não diferindo estatisticamente do lote 2.

Dentro de cada lote, as sementes com 12% e 15% de umidade geralmente apresentaram desempenho superior ao das sementes com 9% de umidade. O lote 1 mostrou melhor definição entre os teores de água das sementes, tendo as sementes com 12% e 15% de umidade padrão de germinação estatisticamente semelhante e superior às com teor de água de 9%, que provavelmente por estarem mais secas, hidrataram mais rapidamente, apresentando pior desempenho. Por outro lado, para o lote 2 o desempenho obtido quando as sementes estavam com teor de água de 12% não foi significativamente diferente dos demais, mas mostrou que o aumento no teor de água para 15%, promoveu para este lote, um aumento considerável na porcentagem de germinação em relação ao obtido quando apresentavam 9% de umidade. Quanto ao lote

3 os dados obtidos mostram que as sementes apresentaram comportamento semelhante nos três teores de água avaliados.

TABELA 3. Dados médios de germinação de três lotes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com três teores de água das sementes.

Lotes	Grau de umidade (%)						Média
	9		12		15		
1	78,00	bB	91,00	aA	91,50	aA	86,83b
2	86,00	abB	90,50	aAB	97,50	aA	91,33ab
3	92,00	aA	93,50	aA	95,50	aA	93,67a
Média	85,33	B	91,67	A	94,83	A	
CV (%)							6,96

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

Na Tabela 4 são apresentados os dados de vigor avaliados pelo teste de envelhecimento acelerado. Verifica-se que não ocorreu diferença significativa entre os lotes nos três teores de água das sementes. No entanto, o grau de umidade das sementes apresentou efeito significativo em nível de 1% de probabilidade.

Pode-se observar que no lote 1, o vigor apresentado pelas sementes com 9% de umidade não foi alterado após o envelhecimento acelerado, ou seja, a porcentagem de germinação (78%) foi a mesma obtida no TPG, indicando que a alta temperatura e umidade durante o envelhecimento reduziu a sensibilidade à injúria sofrida durante a secagem. Tais sementes cujas estruturas morfológicas e fisiológicas sofreram

deterioração, tiveram a capacidade de restauração dos tecidos à partir da absorção de água que ativou seu metabolismo. Verifica-se portanto que a secagem não causou injúrias graves, pois quando isso acontece a semente não consegue mobilizar energia necessária ou, dado o longo tempo exigido para a reparação, o processo de germinação é retardado, provocando o aparecimento de plântulas anormais ou mesmo impedindo a germinação. Observa-se também que as sementes com 9% de umidade apresentaram padrão de vigor semelhante às sementes com 12% e 15% de umidade. Para o lote 2, somente as sementes com maior teor de água (15%) apresentaram desempenho inferior às demais. No lote 3, o envelhecimento das sementes demonstrou que o desempenho de sementes com 12% de umidade inicial, é menos afetado do que às com menor (9%) ou maior (15%) grau de umidade.

TABELA 4. Dados médios de vigor avaliado pelo teste de envelhecimento acelerado, das sementes de três lotes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com três teores de água.

Lotes	Grau de umidade (%)			Média
	9	12	15	
1	78,00 A	83,00 A	75,00 A	78,67a
2	78,00 A	87,50 A	64,50 B	77,00a
3	72,50 AB	84,00 A	64,00 B	73,50a
Média	76,17 B	84,83 A	68,17 C	
CV (%)				9,10

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



No caso dos resultados da condutividade elétrica (Tabela 5), o lote 3 apresentou o melhor padrão, nos graus de umidade à 9, 12 e 15% (35,31; 39,72 e 43,05 $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$, respectivamente). Considerando cada teor de água das sementes, os lotes apresentaram variações nos resultados da condutividade elétrica, com os menores valores para o lote 3 e os maiores para o lote 1. Verificou-se que mesmo havendo variação entre os graus de umidade, os valores obtidos para os lotes 2 e 3 não foram estatisticamente diferentes, indicando serem lotes com maior vigor. Já para o 1, verificou-se redução na condutividade elétrica à medida que o teor de água das sementes aumentava de 9% para 15%.

TABELA 5. Dados médios de vigor avaliado pelo teste de condutividade elétrica, das sementes de três lotes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com três teores de água.

Lotes	Grau de umidade (%)			Média
	9	12	15	
	----- $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$ -----			
1	93,34 a	72,75 a	61,18 a	75,75a
2	46,56 b	45,36 b	46,98 a	46,30b
3	35,31 b	39,72 b	43,05 a	39,36b
Média	58,40 A	52,61 A	50,40 A	
CV (%)				23,05

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

4.3. Experimentos realizados com soluções de diferentes potenciais osmóticos

4.3.1. Porcentagem de germinação em soluções osmóticas

Na Tabela 6, estão contidos os valores obtidos para efeitos de potenciais osmóticos, lotes e grau de umidade na germinação das sementes. Verifica-se que os níveis de água afetaram significativamente a germinação das sementes. A testemunha (água) e a tensão à $-0,001\text{MPa}$ permitiram maiores porcentagens de germinação diferindo significativamente das demais. As tensões da água à $-0,01$ e $-0,2\text{MPa}$ não diferiram entre si. À medida em que se diminuiu o potencial osmótico ocorreu uma significativa redução na porcentagem de germinação, com os valores ficando bastante reduzidos à $-0,6\text{MPa}$.

Observa-se que não ocorreu diferença significativa entre os lotes na germinação das sementes. Por outro lado, verifica-se que houve efeito significativo do grau de umidade das sementes na germinação das sementes. Os resultados mostram que sementes com 12% de teor de água tem melhor desempenho, entretanto, apresentaram porcentagem de germinação significativamente superior apenas em relação às sementes com 9% de umidade.

Na Tabela 7 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises estatísticas dos dados de porcentagem de germinação. Observa-se através do desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes que à medida que o potencial osmótico se tornava mais negativo a porcentagem de germinação foi reduzida, entretanto, verificou-se que nos três lotes o desempenho foi diferenciado. No lote 1, a testemunha (água) e as tensões da



água à $-0,001$ e $-0,2\text{MPa}$ não diferiram significativamente entre si. O potencial à $-0,2\text{MPa}$ também não diferiu das tensões à $-0,01$ e $-0,4\text{MPa}$. No lote 2, a testemunha e os potenciais osmóticos à $-0,001$ e $-0,01\text{MPa}$, foram iguais estatisticamente, este último potencial não diferiu de $-0,2\text{MPa}$. No lote 3, verificou-se que a testemunha diferiu de todos os potenciais osmóticos, exceto da tensão à $-0,001\text{MPa}$ que se igualou estatisticamente das tensões à $-0,2$ e $-0,01\text{MPa}$. Observa-se que em todos os lotes ocorreram diferenças significativas entre os potenciais osmóticos à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$.

À medida em que se elevaram as concentrações das soluções para umedecer o substrato, tornando assim os potenciais mais negativos, houve acréscimo do número de plântulas anormais, as quais apareceram com diferentes graus de anormalidade. No entanto, como pode ser observado na Figura 2, dentro de níveis de água não tão severos (à $-0,01\text{MPa}$), independente do grau de umidade das sementes, as plântulas apresentaram bom desenvolvimento do hipocótilo, sem raiz primária ou com a mesma atrofiada, porém com raízes secundárias bem desenvolvidas. À medida em que se reduziu o potencial osmótico, ocorreu maior restrição ao desenvolvimento das plântulas, que apresentaram menor comprimento do hipocótilo, raiz primária truncada ou atrofiada e poucas raízes secundárias (Figura 3). Porém, verificou-se que sob $-0,6\text{MPa}$ as plântulas cujas sementes tiveram o grau de umidade ajustado para 15% apresentaram comprimento de radícula inferior aquelas com 9% de teor de água (Figuras 4A e 4B), aspecto observado inclusive nas plântulas anormais, como pode ser verificado na Tabela 12. Esta é uma característica importante, pois maiores teores de água tem efeitos sobre o total de germinação, acelerando a velocidade do processo, mas desorganizando-o à medida que o potencial osmótico do substrato é reduzido, de maneira que o número de sementes que conseguem germinar vão apresentando as estruturas essenciais pouco desenvolvidas não caracterizando plântulas normais.



TABELA 6. Efeito do potencial osmótico, lote e grau de umidade da semente, sobre a germinação (%), primeira contagem de germinação (%) e índice de velocidade de germinação das sementes de *Phaseolus vulgaris* L..

Potenciais osmóticos (MPa)	Germinação (%)		Primeira contagem (%)		Índice de velocidade de germinação	
Testemunha (água)	90,61	a	81,17	a	8,52	a
-0,001	86,83	a	72,89	b	7,94	a
-0,01	77,22	b	56,83	c	6,82	b
-0,2	76,72	b	56,17	c	6,76	b
-0,4	66,89	c	37,05	d	5,36	c
-0,6	26,55	d	5,89	e	1,74	d
DMS	5,96		7,11		0,65	
Lotes	Germinação (%)		Primeira contagem (%)		Índice de velocidade de germinação	
1	70,72	a	48,11	b	6,07	a
2	69,14	a	53,08	a	6,14	a
3	72,55	a	53,80	a	6,36	a
DMS	3,46		4,12		0,38	
Grau de umidade das sementes (%)	Germinação (%)		Primeira contagem (%)		Índice de velocidade de germinação	
9	62,61	b	44,33	c	5,45	b
12	75,75	a	52,25	b	6,53	a
15	74,05	a	58,42	a	6,59	a
DMS	3,46		4,12		0,38	
CV (%)	12,40		20,29		15,50	

Médias seguidas por mesmas letras não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade.

TABELA 7. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, nos testes de germinação das sementes de *Phaseolus vulgaris* L., nas soluções de diferentes potenciais osmóticos.

Potenciais osmóticos X Lotes			
	Germinação (%)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Testemunha (água)	86,83 aA	91,33 aA	93,67 aA
-0,001 Mpa	84,50 aA	91,33 aA	84,67 abA
-0,01 Mpa	73,67 bB	82,17 abA	75,83 bcAB
-0,2 Mpa	79,33 abA	72,83 bA	78,00 bcA
-0,4 Mpa	70,67 bA	59,67 cB	70,33 cA
-0,6 Mpa	29,33 cA	17,50 dB	32,83 dA
DMS (na coluna) = 10,32	DMS (na linha) = 8,46		
F interação = 4,50**			
Potenciais osmóticos X Grau de umidade			
	Germinação (%)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Testemunha (água)	85,33 aB	91,67 aAB	94,83 aA
-0,001 MPa	73,33 bB	94,33 aA	92,83 aA
-0,01 MPa	58,33 cC	94,67 aA	78,67 bB
-0,2 MPa	71,33 bB	92,67 aA	66,17 cB
-0,4 MPa	63,17 bcB	59,67 bB	77,83 bA
-0,6 MPa	24,17 dB	21,50 cB	34,00 dA
DMS (na coluna) = 10,32	DMS (na linha) = 8,46		
F interação = 16,16**			
Lotes X Grau de umidade			
	Germinação (%)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	56,33 bB	75,50 abA	80,33 aA
Lote 2	65,83 aA	71,75 bA	69,83 bA
Lote 3	65,67 aC	80,00 aA	72,00 bB
DMS (na coluna e na linha) = 5,99			
F interação = 10,67**			

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

Com relação ao efeito da qualidade fisiológica em cada tensão da água, verificou-se que na testemunha e para as tensões à $-0,001$ e $-0,2\text{MPa}$ não houve diferença significativa entre os lotes. À $-0,01\text{MPa}$ de tensão, o lote 2 superou o lote 1, enquanto o lote 3 apresentou comportamento intermediário. Sob $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$ de tensão da água o lote 2 foi significativamente inferior aos demais.

Já o desdobramento das interações potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes mostra que o desempenho nos diversos potenciais é afetado de acordo com o teor de água das sementes. Assim, para sementes com 12% de umidade pode-se verificar que não houve diferença significativa entre as tensões à $-0,01\text{MPa}$, $-0,001\text{MPa}$, $-0,2\text{MPa}$ e a testemunha, com a porcentagem de germinação sendo significativamente inferior à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$. Nas sementes mais úmidas (15% de umidade) a testemunha e a tensão da água à $-0,001\text{MPa}$ diferiram significativamente dos demais potenciais. Verifica-se também que para sementes com 9% de umidade a testemunha diferiu significativamente de todos os potenciais osmóticos.

Em cada tensão da água houve efeito diferenciado do grau de umidade das sementes. Para a testemunha observa-se que as sementes com 12% de umidade apresentaram comportamento intermediário, ou seja, não diferiram significativamente das sementes que promoveram maior (15%) e menor (9%) porcentagem de germinação. À $-0,001\text{MPa}$ de tensão, sementes com 9% de umidade tiveram desempenho inferior as demais. À $-0,01\text{MPa}$ de tensão da água, sementes com 12% de umidade apresentaram melhor desempenho que sementes com 15% de umidade e estas superaram as sementes com teor de água de 9%. Sob $-0,2\text{MPa}$ de tensão as sementes com grau de umidade de 12% foram significativamente superiores às demais. Com os potenciais osmóticos reduzidos à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$, sementes com maior teor de água (15% umidade) tiveram melhor desempenho do que sementes com 9% e 12% de umidade.



O desdobramento das interações de lotes X grau de umidade das sementes também demonstra que o comportamento dos materiais foi influenciado pelo teor de água das sementes. Dessa forma, o lote 1 apresentou melhor desempenho quando as sementes estavam com 15% de umidade, pior desempenho quando as sementes apresentavam 9% de umidade e comportamento intermediário não diferindo daquelas com maior (lote 3) e menor (lote 2) porcentagem de germinação, quando o teor de água das sementes era de 12%.

É importante verificar que em cada um dos lotes o efeito do grau de umidade das sementes é variado. Para o lote 2 o grau de umidade das sementes não teve efeito significativo. No lote 1, sementes com 15% e 12% de umidade foram estatisticamente superiores às sementes com 9% de umidade. No lote 3, sementes com 12% de teor de água apresentaram melhores resultados diferindo significativamente das demais.





FIGURA 2. Plântulas anormais de feijão observadas nos testes com solução osmótica à -0.01 MPa .

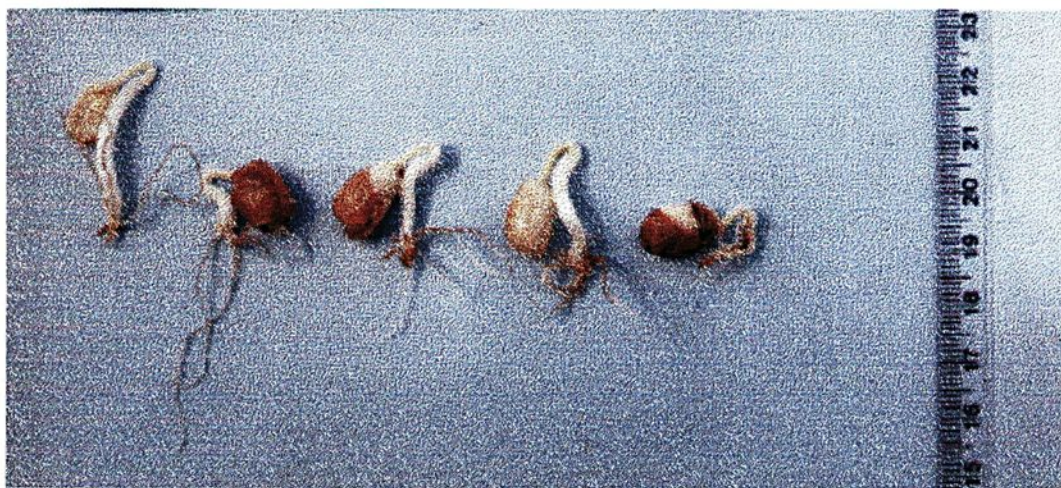


FIGURA 3. Plântulas anormais de feijão observadas nos testes com solução osmótica à -0.4 MPa .

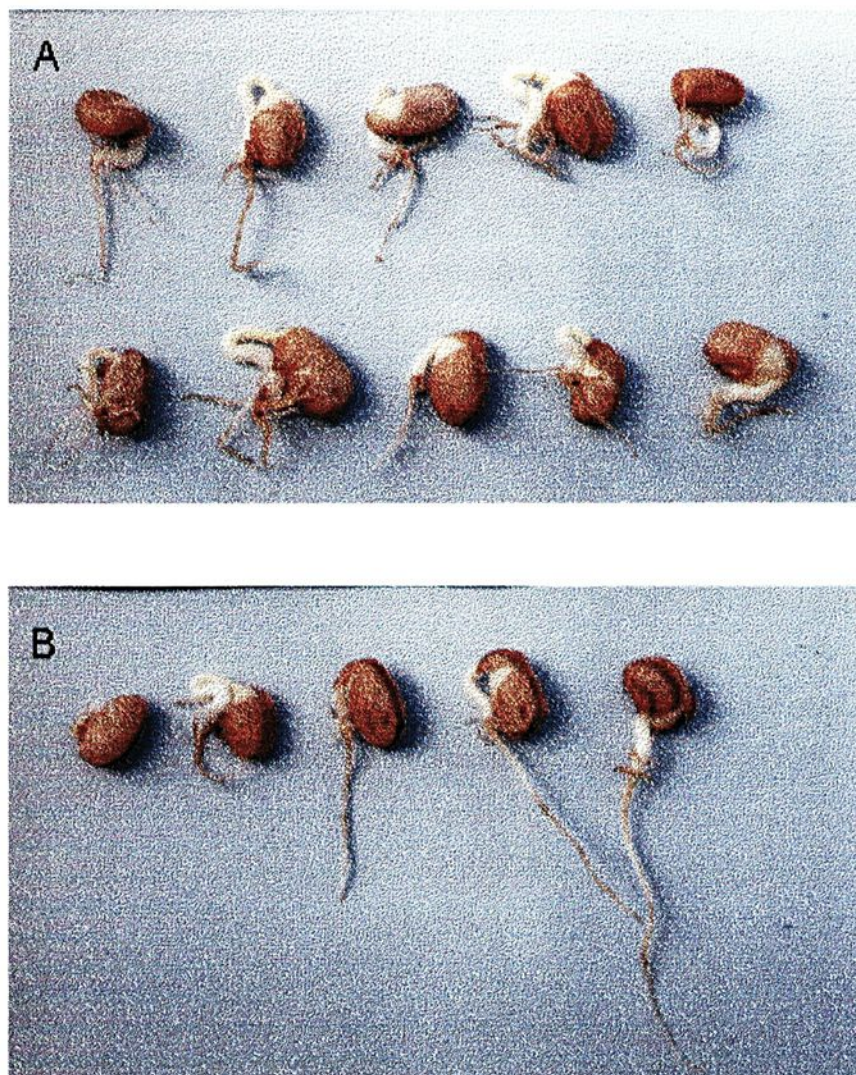


FIGURA 4. Plântulas anormais de feijão, observadas com solução osmótica à $-0,6\text{MPa}$, cujas sementes foram submetidas à hidratação (A) e secagem (B).

4.3.2. Primeira contagem do teste de germinação

Os dados contidos na Tabela 6 mostraram que os potenciais osmóticos afetaram significativamente o desempenho das sementes avaliado através da primeira contagem do teste de germinação.

A testemunha (água) apresentou maior porcentagem de germinação, na primeira contagem, ocorrendo um decréscimo a partir daí. Nas tensões da água à $-0,01\text{MPa}$ e $-0,2\text{MPa}$ as sementes apresentaram o mesmo desempenho. Sob -6MPa de tensão observou-se uma brusca redução na primeira contagem de germinação das sementes.

Observa-se também que a qualidade fisiológica afetou significativamente o desempenho das sementes, com os lotes 3 e 2 apresentando porcentagem de germinação significativamente superior às sementes do lote 1, na primeira contagem de germinação.

Com relação ao grau de umidade das sementes, verifica-se que este parâmetro teve efeito significativo na primeira contagem de germinação das sementes. Observa-se que as sementes mais úmidas (15% umidade) apresentaram melhor desempenho na primeira contagem diferindo significativamente das demais.

Na Tabela 8 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises estatísticas dos dados de porcentagem de germinação na primeira contagem. Observa-se através do desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes que o efeito dos potenciais foi diferenciado em cada lote avaliado. Nos lotes 2 e 3, a testemunha e a tensão da água à $-0,001\text{MPa}$ não diferiram entre si, enquanto para o lote 1 a testemunha apresentou porcentagem de germinação, na primeira contagem, significativamente



superior à todos os potenciais osmóticos. Por outro lado, verifica-se que a qualidade fisiológica dos lotes não teve efeito significativo para a testemunha e nas tensões da água à $-0,2\text{MPa}$ e $-0,6\text{MPa}$. À $-0,001\text{MPa}$ o lote 1 teve desempenho inferior aos demais, enquanto o lote 2 sob $-0,01\text{MPa}$ e $-0,4\text{MPa}$ apresentou desempenho respectivamente, superior e inferior aos outros lotes.

Já o desdobramento das interações entre potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes mostra que a testemunha e a tensão à $-0,001\text{MPa}$ não diferiram entre si, independente do grau de umidade apresentado pelas sementes. Nas outras tensões da água o desempenho das sementes variou de acordo com o grau de umidade que apresentavam. De modo geral, verifica-se que sementes com 15% ou 12% de umidade apresentaram desempenho superior, ora diferindo significativamente entre si (sob $-0,01$; $-0,2$ e $-0,4\text{MPa}$ de tensão) ou não (testemunha, $-0,001\text{MPa}$ e $-0,6\text{MPa}$ de tensão).

No desdobramento das interações de lotes X grau de umidade das sementes verifica-se que as sementes dos lotes 3 e 2 apresentaram porcentagem de germinação significativamente superior às do lote 1, quando as sementes estavam com 9% e 12% de umidade. Não houve diferença significativa entre os lotes com as sementes apresentando 15% de teor de água. Por outro lado, observa-se que o grau de umidade das sementes não teve efeito significativo sobre a primeira contagem de germinação das sementes do lote 2, entretanto, para o lote 1 sementes com 15% de teor de água foram significativamente superiores às demais. No lote 3 não houve diferença estatística entre sementes com 15% e 12% de umidade.



TABELA 8. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, para a primeira contagem de germinação das sementes de *Phaseolus vulgaris* L., nas soluções de diferentes potenciais osmóticos.

Potenciais osmóticos X Lotes			
	Primeira contagem (%)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Testemunha (água)	76,83 aA	81,50 aA	85,17 aA
-0,001 MPa	57,50 bB	84,00 aA	77,17 aA
-0,01 Mpa	47,50 bcB	68,00 bA	55,00 bB
-0,2 Mpa	58,83 bA	53,83 cA	55,83 bA
-0,4 Mpa	42,00 cA	29,00 dB	40,17 cA
-0,6 Mpa	6,00 dA	2,17 eA	9,50 dA
DMS (na coluna) = 12,32	DMS (na linha) = 10,11		
F interação = 7,11**			

Potenciais osmóticos X Grau de umidade			
	Primeira contagem (%)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Testemunha (água)	69,33 aB	84,83 aA	89,33 aA
-0,001 MPa	59,83 abB	75,33 abA	83,50 aA
-0,01 MPa	42,00 cdC	70,83 bcA	57,67 bB
-0,2 MPa	53,17 bcAB	63,00 cA	52,33 bB
-0,4 MPa	34,67 dB	18,50 dC	58,00 bA
-0,6 MPa	7,00 eA	1,00 eA	9,66 cA
DMS (na coluna) = 12,32	DMS (na linha) = 10,11		
F interação = 13,38**			

Lotes X Grau de umidade			
	Primeira contagem (%)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	38,00 bB	45,00 bB	61,17 aA
Lote 2	49,25 aA	53,91 aA	56,08 aA
Lote 3	45,58 aB	57,83 aA	58,00 aA
DMS (na coluna e na linha) = 7,15			
F interação = 5,77**			

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

4.3.3. Velocidade de germinação

Os dados contidos na Tabela 6 mostram os efeitos dos potenciais osmóticos na velocidade de germinação das sementes. Verifica-se que houve efeito significativo dos potenciais osmóticos na velocidade de germinação das sementes, com a velocidade sendo reduzida à medida em que se reduziu a tensão da água. Para a testemunha (água) e no potencial osmótico da solução à $-0,001\text{MPa}$, ocorreram os maiores índices de velocidade de germinação.

Observa-se também que a qualidade fisiológica das sementes não influenciou significativamente na velocidade de germinação das sementes.

Por outro lado, verifica-se que o grau de umidade das sementes teve efeito significativo sobre a velocidade de germinação das sementes. As sementes apresentando 15% e 12% de umidade obtiveram melhor desempenho, diferindo significativamente das sementes com 9% de umidade.

Na Tabela 9 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, das análises dos dados de velocidade de germinação. Observa-se através do desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes que houve dentro de cada lote comportamento diferenciado. No lote 1 a testemunha não diferiu significativamente da tensão à $-0,001\text{MPa}$. Os potenciais osmóticos à $-0,001\text{MPa}$, $-0,2\text{MPa}$ e $-0,01\text{MPa}$ foram iguais estatisticamente. As tensões à $-0,001$ e $-0,4\text{MPa}$ não diferiram entre si.

No lote 2 verificou-se que a velocidade de germinação decresceu à medida em que se reduziu o potencial osmótico. A testemunha e as tensões da água à $-0,001$ e



-0,01MPa obtiveram melhor desempenho e apresentaram velocidade de germinação significativamente superior aos demais potenciais.

Para o lote 3 a testemunha e -0,001MPa de tensão apresentaram os maiores índices de velocidade de germinação. As tensões da água à -0,2MPa, -0,01MPa e -0,4MPa não diferiram significativamente entre si.

Houve desempenho diferenciado dos lotes em cada potencial osmótico. Assim, as sementes dos três lotes não diferiram entre si sob -0,2MPa de tensão e na testemunha. Sob -0,001 e -0,01MPa o lote 2 apresentou melhor desempenho, mas não diferiu significativamente do lote 3 sob o potencial à -0,001MPa. Por outro lado, sob -0,4 e -0,6MPa o lote 2 foi significativamente inferior aos demais lotes, porém não diferiu do lote 1 sob -0,6MPa de tensão.

O desdobramento das interações entre potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes mostra que para sementes com 12% de umidade os efeitos das tensões da água sobre a velocidade de germinação são atenuados, com a testemunha e as tensões à -0,001MPa, 0,01MPa e -0,2MPa sendo iguais estatisticamente. Com as sementes apresentando 15% de umidade verificou-se que a testemunha e a tensão à -0,001MPa superaram os demais potenciais. As tensões da água à 0,01MPa, -0,4MPa e -0,2MPa não diferiram entre si. Para as sementes com 9% de umidade observou-se que a testemunha foi igual estatisticamente à tensão da água de -0,001MPa que, por sua vez, não diferiu significativamente do potencial à -0,2MPa.



TABELA 9. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, para a velocidade de germinação das sementes de *Phaseolus vulgaris* L. nas soluções de diferentes potenciais osmóticos.

Potenciais osmóticos X Lotes			
	Índice de velocidade de germinação		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Testemunha (água)	8,24 aA	8,70 aA	8,62 aA
-0,001 MPa	7,25 abB	8,44 aA	8,13 aAB
-0,01 Mpa	6,21 bcB	7,59 aA	6,66 bB
-0,2 Mpa	7,02 bA	6,44 bA	6,81 bA
-0,4 MPa	5,79 cA	4,60 cB	5,69 bA
-0,6 MPa	1,90 dAB	1,07 dB	2,25 cA
DMS (na coluna) = 1,13	DMS (na linha) = 0,92		
F interação = 4,39**			
Potenciais osmóticos X Grau de umidade			
	Índice de velocidade de germinação		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Testemunha (água)	7,82 aB	8,86 aA	8,87 aA
-0,001 MPa	6,73 abB	8,59 aA	8,50 aA
-0,01 MPa	5,11 cC	8,41 aA	6,93 bB
-0,2 MPa	6,32 bB	7,95 aA	6,00 bB
-0,4 MPa	5,05 cB	4,14 bB	6,90 bA
-0,6 MPa	1,65 dAB	1,24 cB	2,32 cA
DMS (na coluna) = 1,13	DMS (na linha) = 0,92		
F interação = 13,30**			
Lotes X Grau de umidade			
	Índice de velocidade de germinação		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	4,82 bC	6,20 bB	7,18 aA
Lote 2	5,85 aA	6,38 abA	6,19 bA
Lote 3	5,67 aB	7,01 aA	6,40 bA
DMS (na coluna e na linha) = 0,65			
F interação = 8,93**			

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

Observando o efeito do grau de umidade em cada potencial osmótico, verifica-se que, de modo geral, sementes com 12% e 15% de umidade apresentaram velocidade de germinação superior às sementes com 9% de umidade, com valores sendo estatisticamente semelhantes (testemunha e sob $-0,001\text{MPa}$ de tensão) ou não (sob $0,01$; $-0,2$, $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$ de tensão).

Já o desdobramento das interações de lotes X grau de umidade das sementes mostra que o desempenho dos lotes variou conforme o teor de água das sementes. Assim, as sementes do lote 1 com 15% de umidade apresentaram velocidade de germinação significativamente superior às sementes dos lotes 2 e 3 e, por sua vez, estes foram superiores ao lote 1 quando a umidade das sementes era de 9%. Com 12% de umidade o lote 3 superou o lote 1, enquanto o lote 2 não diferiu dos demais.

Verificou-se também que dentro de cada lote o efeito do grau de umidade das sementes foi diferenciado. Assim, o grau de umidade das sementes não influenciou a velocidade de germinação do lote 2. Para o lote 3, verificou-se que sementes com 12% e 15% de umidade apresentaram maior velocidade de germinação, enquanto para o lote 1, sementes com 15% de umidade foram significativamente superiores às demais.

4.3.4. Comprimento do hipocótilo

Os dados contidos na Tabela 10 mostram que os potenciais osmóticos afetaram significativamente o comprimento do hipocótilo das plântulas. À medida em que se reduziu o potencial osmótico, observou-se significativa redução no comprimento do hipocótilo das plântulas, com a testemunha diferindo de todas as tensões da água, havendo acentuada redução sob influência dos potenciais à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$.



Observa-se que a qualidade fisiológica teve efeito significativo no desenvolvimento das plântulas, afetando o comprimento de hipocótilo. As plântulas oriundas das sementes do lote 1 apresentaram comprimento do hipocótilo significativamente superior às das oriundas das sementes dos lotes 2 e 3.

Com relação ao grau de umidade das sementes, verifica-se que este parâmetro também teve efeito significativo no desenvolvimento das plântulas. Observa-se que as sementes com 15% e 9% de umidade proporcionaram maior comprimento do hipocótilo do que as com 12% de umidade.

Na Tabela 11 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises estatísticas dos dados de comprimento do hipocótilo. Observa-se através do desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes que para os lotes 1 e 2 a testemunha foi significativamente superior à todos os potenciais. No lote 3, a testemunha e as tensões da água à $-0,001$ e $-0,01$ MPa não diferiram significativamente entre si.

A qualidade fisiológica das sementes afetou de maneira diferenciada o comprimento das plântulas em cada potencial avaliado. Assim, sob as tensões à $-0,01$ MPa, $-0,4$ MPa e $-0,6$ MPa não houve diferença significativa entre os lotes. À $-0,2$ MPa de tensão da água o lote 1 proporcionou desenvolvimento do hipocótilo significativamente superior aos demais. À $-0,001$ MPa de tensão o lote 3 se destacou, mas não diferiu de lote 1, este por sua vez, apresentou maior comprimento do hipocótilo na testemunha (água) se igualando estatisticamente ao lote 2.

No desdobramento das interações de potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes verifica-se que quando as sementes apresentavam 15% de umidade houve uma significativa redução no comprimento do hipocótilo das plântulas à



medida em que se reduziu o potencial osmótico, com a testemunha diferindo significativamente de todos os potenciais avaliados. Com sementes apresentando 12% de umidade, a testemunha e a tensão da água à $-0,01\text{MPa}$ foram iguais entre si e superaram os demais potenciais osmóticos. Nas sementes com 9% de teor de água verificou-se que as tensões à $-0,001$ e $-0,01\text{MPa}$ não diferiram entre si, mas superaram a testemunha e os outros potenciais.

O grau de umidade das sementes afetou de maneira diferenciada o comprimento das plântulas em cada potencial osmótico. Na testemunha, as sementes com 15% de umidade apresentaram comprimento do hipocótilo significativamente superior às demais, enquanto sob $-0,001$ e $-0,2\text{MPa}$ não diferiram de sementes com 9% de umidade. Sob $-0,01\text{MPa}$ de tensão, sementes com 12% de umidade não diferiram das sementes com 9% de umidade e estas, por sua vez, sob $-0,4\text{MPa}$ de tensão foram significativamente superiores às sementes com 15% e 12% de umidade. Sob $-0,6\text{MPa}$ não houve diferença entre as sementes.

Já o desdobramento das interações de lotes X grau de umidade das sementes mostrou que o lote 3 obteve melhor desempenho que os demais quando as sementes estavam com teor de água de 12%, passando a apresentar o pior desempenho quando as sementes estavam mais secas (9% de umidade). Com 15% de umidade as sementes do lote 1 proporcionaram maior desenvolvimento do hipocótilo que às dos outros lotes.

Para o efeito do grau de umidade em cada lote, observou-se que as sementes com 12% de umidade demonstraram desempenho inferior em todos os lotes. No lote 1, sementes com 15% de umidade apresentaram melhor resultado, diferindo significativamente das demais. No lote 2 as sementes com 9% de umidade se destacaram, enquanto para o lote 3, sementes com 15% e 9% não diferiram entre si.



TABELA 10. Efeito do potencial osmótico, lote e grau de umidade da semente, sobre o comprimento do hipocótilo (cm), comprimento da radícula (cm) e peso de matéria seca das plântulas (mg/plântula) de *Phaseolus vulgaris* L..

Potenciais osmóticos (MPa)	Comprimento do hipocótilo (cm)		Comprimento da radícula (cm)		Peso de matéria seca das plântulas (mg/plântula)	
Testemunha (água)	5,33	a	7,33	a	1,55	a
-0,001	4,35	b	5,63	b	1,40	b
-0,01	4,50	b	6,11	b	1,38	b
-0,2	2,72	c	4,82	c	1,14	c
-0,4	1,39	d	3,12	d	0,80	d
-0,6	0,46	e	1,04	e	0,35	e
DMS	0,36		0,62		0,14	
Lotes	Comprimento do hipocótilo (cm)		Comprimento da radícula (cm)		Peso de matéria seca das plântulas (mg/plântula)	
1	3,33	a	5,09	a	0,87	b
2	2,99	b	4,40	b	1,19	a
3	3,06	b	4,54	b	1,25	a
DMS	0,21		0,36		0,08	
Grau de umidade das sementes (%)	Comprimento do hipocótilo (cm)		Comprimento da radícula (cm)		Peso de matéria seca das plântulas (mg/plântula)	
9	3,32	a	5,13	a	1,19	a
12	2,60	b	4,04	b	1,02	b
15	3,46	a	4,87	a	1,10	b
DMS	0,21		0,36		0,08	
CV (%)	17,25		19,65		18,46	

Médias seguidas por mesmas letras não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade.



TABELA 11. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, para o comprimento do hipocótilo de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L., nas soluções com diferentes potenciais osmóticos.

Potenciais osmóticos X Lotes			
	Comprimento do hipocótilo (cm)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Testemunha (água)	5,56 aA	5,44 aAB	5,01 aB
-0,001 MPa	4,42 bAB	4,01 bB	4,62 aA
-0,01 MPa	4,69 bA	4,23 bA	4,58 aA
-0,2 MPa	3,22 cA	2,38 cB	2,56 bB
-0,4 MPa	1,43 dA	1,49 dA	1,24 cA
-0,6 MPa	0,65 eA	0,40 eA	0,33 dA
DMS (na coluna) = 0,63 F interação = 2,35*	DMS (na linha) = 0,52		

Potenciais osmóticos X Grau de umidade			
	Comprimento do hipocótilo (cm)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Testemunha (água)	4,02 bC	5,14 aB	6,85 aA
-0,001 MPa	4,77 aA	3,71 bB	4,56 bA
-0,01 MPa	4,73 aA	4,85 aA	3,92 cB
-0,2 MPa	3,41 bA	1,21 cB	3,53 cA
-0,4 MPa	2,22 cA	0,28 dC	1,65 dB
-0,6 MPa	0,75 dA	0,40 dA	0,24 eA
DMS (na coluna) = 0,63 F interação = 33,80**	DMS (na linha) = 0,52		

Lotes X Grau de umidade			
	Comprimento do hipocótilo (cm)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	3,40 aB	2,40 bC	4,18 aA
Lote 2	3,60 aA	2,47 bC	2,90 cB
Lote 3	2,95 bAB	2,92 aB	3,29 bA
DMS (na coluna e na linha) = 0,37 F interação = 21,58**			

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

4.3.5. Comprimento da radícula

Na Tabela 10 encontram-se os dados que mostram os efeitos dos potenciais osmóticos sobre o comprimento da radícula das plântulas. Observa-se que à medida em que se diminuíram as tensões da água, ocorreram sensíveis reduções no comprimento de radícula das plântulas. A testemunha (água) superou todos os potenciais osmóticos, apresentando plantas com maior desenvolvimento de radícula. Sob $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$ o comprimento de radícula das plântulas foi bem reduzido.

Com relação a qualidade fisiológica das sementes verifica-se que este parâmetro teve efeito significativo no desenvolvimento da radícula das plântulas, com as plântulas do lote 1 apresentando comprimento de radícula significativamente superior às demais.

Com relação ao grau de umidade das sementes, os valores obtidos evidenciam que as sementes com 9% e 15% de umidade proporcionaram maior desenvolvimento das plântulas em relação aquelas com 12% de teor de água.

Na Tabela 12 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises estatísticas dos dados de comprimento da radícula. Observa-se através do desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes que o maior comprimento da radícula ocorreu para as sementes do lote 1 na testemunha (água), vindo à seguir sementes do lote 3 também na testemunha. No entanto, apesar da obtenção de valores no desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes, o valor F não foi significativo indicando que os efeitos desses parâmetros foram independentes, ou seja, os efeitos dos potenciais não dependeram da qualidade fisiológica dos lotes e vice-versa.



TABELA 12. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, para o comprimento da radícula de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L., nas soluções com diferentes potenciais osmóticos.

Potenciais osmóticos X Lotes			
	Comprimento da radícula (cm)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Testemunha (água)	7,86 aA	7,02 aA	7,12 aA
-0,001 Mpa	5,87 bcA	5,14 bcA	5,88 bcA
-0,01 Mpa	6,70 bA	5,68 bB	5,95 bAB
-0,2 Mpa	5,14 cA	4,48 cA	4,83 cA
-0,4 Mpa	3,40 dA	3,21 dA	2,76 dA
-0,6 Mpa	1,56 eA	0,85 eA	0,72 eA
DMS (na coluna) = 1,08	DMS (na linha) = 0,89		
F interação = 0,83 ^{ns}			

Potenciais osmóticos X Grau de umidade			
	Comprimento da radícula (cm)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Testemunha (água)	5,00 bB	8,35 aA	8,65 aA
-0,001 MPa	6,55 aA	4,91 bB	5,43 bB
-0,01 MPa	6,58 aB	7,47 aA	4,29 cC
-0,2 MPa	6,29 aA	2,02 cB	6,14 bA
-0,4 MPa	4,78 bA	0,93 dB	4,02 cA
-0,6 MPa	1,55 cA	0,56 dAB	0,66 dB
DMS (na coluna) = 1,08	DMS (na linha) = 0,89		
F interação = 47,43 ^{**}			

Lotes X Grau de umidade			
	Comprimento da radícula (cm)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	5,60 aA	3,86 aB	5,81 aA
Lote 2	5,30 aA	3,85 aB	4,05 cB
Lote 3	4,48 bA	4,41 aA	4,73 bA
DMS (na coluna e na linha) = 0,63			
F interação = 11,72 ^{**}			

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

O desdobramento das interações de potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes mostra que os valores de comprimento da radícula em cada potencial foram influenciados pelo grau de umidade das sementes. Assim, com sementes apresentando 12% de umidade observou-se redução progressiva no comprimento da radícula à medida em que se diminuíram os níveis de água, com a testemunha e a tensão à $-0,01\text{MPa}$ apresentando maiores comprimentos da radícula. Ocorreram sensíveis reduções no comprimento da radícula das plântulas sob influência das tensões à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$. Com sementes apresentando 15% de umidade a testemunha (água) obteve comprimento da radícula significativamente superior à todos os potenciais. Quando as sementes estavam com teor de água de 9% não houve diferença significativa entre os potenciais à $-0,01\text{MPa}$, $-0,001\text{MPa}$ e $-0,2\text{MPa}$, que apresentaram maior desenvolvimento das plântulas que a testemunha. Esta, por sua vez, não diferiu da tensão à $-0,4\text{MPa}$.

O efeito do grau de umidade das sementes em cada potencial mostra que para a testemunha as plântulas originárias de sementes com 15% e 12% são iguais estatisticamente e apresentam comprimento da radícula superior às oriundas de sementes com 9% de umidade. Por outro lado, sob $-0,001\text{MPa}$ ocorreu o inverso, ou seja, sementes com 9% superaram as demais. Sob $-0,01\text{MPa}$, as plântulas originárias de sementes com 12% de teor de água apresentaram comprimento da radícula significativamente superior às oriundas de sementes com 9% e 15% de umidade e estas, por sua vez, sob $-0,4\text{MPa}$ apresentaram melhor desempenho, proporcionando às plântulas um maior desenvolvimento da radícula, do que o apresentado por aquelas oriundas de sementes 12% de umidade. Sob $-0,6\text{MPa}$ as sementes com 9% de teor de água se destacaram diferindo das sementes com 15% de umidade.



Observa-se através do desdobramento das interações lotes X grau de umidade das sementes que não houve diferença significativa entre os lotes quando as sementes estavam com 12% de umidade. Com 15% de teor de água as plântulas oriundas de sementes do lote 1 apresentaram comprimento da radícula significativamente superior às oriundas de sementes dos lotes 2 e 3. Com 9% de umidade os lotes 1 e 2 apresentaram melhor desempenho do que o lote 3.

O efeito do grau de umidade das sementes em cada lote mostrou que as plântulas oriundas das sementes do lote 3 com 9%, 12% e 15% de umidade apresentaram comprimento da radícula semelhante, não diferindo significativamente entre si. No lote 1, verificou-se que as sementes com 12% de umidade foram inferiores às sementes com 15% e 9% de umidade, enquanto no lote 2 sementes com teor de água de 9% formaram plântulas com comprimento da radícula significativamente superior às demais.

4.3.6. Peso de matéria seca das plântulas

Os dados contidos na Tabela 10 mostram os efeitos dos potenciais osmóticos na transferência de matéria seca das plântulas. Observa-se que os potenciais osmóticos afetaram significativamente o peso da matéria seca das plântulas, com valores significativamente decrescentes à medida em que se diminuíram os potenciais osmóticos.

Observa-se também que a qualidade fisiológica das sementes teve efeito significativo no acúmulo de matéria seca das plântulas, com as plântulas oriundas de sementes dos lotes 3 e 2 apresentando peso de matéria seca significativamente superior às oriundas de sementes do lote 1.



O grau de umidade das sementes teve efeito significativo sobre o acúmulo de matéria seca das plântulas, de forma que plântulas oriundas de sementes com 9% de umidade apresentaram peso de matéria seca significativamente superior ao de oriundas de sementes com 15% e 12% de umidade.

Na Tabela 13 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes e lotes X grau de umidade das sementes, nas análises estatísticas dos dados de peso da matéria seca das plântulas. Observa-se através do desdobramento das interações de potenciais osmóticos X lotes que o efeito dos níveis de água foi diferenciado em cada lote avaliado. Nos lotes 2 e 3, os melhores resultados foram obtidos na testemunha (água) e sob a tensão à $-0,01\text{MPa}$ e, por sua vez, este potencial apresentou plântulas com peso de matéria seca estatisticamente igual às tensões de $-0,001$ e $-0,2\text{MPa}$.

O efeito da qualidade fisiológica em cada tensão da água mostra que as plântulas oriundas de sementes do lote 1 apresentaram peso de matéria seca significativamente inferior ao dos outros lotes em todos os potenciais (exceto à $-0,6\text{MPa}$, onde não houve diferença significativa entre os lotes).

No desdobramento das interações de potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes também se verifica que o efeito dos níveis de água foi diferenciado conforme o teor de água apresentado pelas sementes. Assim, em sementes com 9% de umidade a testemunha (água) e as tensões da água à $-0,001\text{MPa}$, $-0,01\text{MPa}$, $-0,2\text{MPa}$ e $-0,4\text{MPa}$ os valores de peso de matéria seca foram estatisticamente iguais e diferiram da tensão à $-0,6\text{MPa}$. Com sementes apresentando 15% de umidade a testemunha obteve plântulas com peso de matéria seca significativamente superior ao apresentado pelas plântulas em todos os potenciais osmóticos. Nas sementes com 12%



de umidade a testemunha não diferiu da tensão à $-0,01\text{MPa}$ e esta, por sua vez, se igualou ao potencial de $-0,001\text{MPa}$.

Em cada tensão da água, houve efeito diferenciado do grau de umidade das sementes. Na testemunha observa-se que as sementes com 12% e 15% de umidade tiveram melhor desempenho que as sementes com 9% de umidade e estas, sob $-0,4\text{MPa}$, foram significativamente superiores às demais. À $-0,001\text{MPa}$ de tensão não houve diferença significativa entre as sementes com diferentes graus de umidade. À $-0,01\text{MPa}$ sementes com 12% de teor de água se destacaram, enquanto sob $-0,2\text{MPa}$ de tensão apresentaram o pior desempenho. À $-0,6\text{MPa}$, sementes com 9% e 12% de umidade originaram plântulas com maior peso de matéria seca do que as oriundas de sementes com 15% de umidade.

O desdobramento das interações de lotes X grau de umidade das sementes mostra que os melhores resultados foram obtidos com sementes dos lotes 2 e 3 que não diferiram entre si quando estavam com 9% e 12% de umidade. Por outro lado, dentro de cada lote o grau de umidade das sementes promoveu resultados diferenciados. Para o lote 1, as sementes com 9% de teor de água superaram as sementes com 12%, enquanto sementes com 15% de umidade não diferiram das demais. No lote 2, sementes com 12% de umidade não diferiram significativamente das sementes que originaram plântulas com maior (sementes com 9% de umidade) e menor (sementes com 15% de umidade) peso de matéria seca. No lote 3, as sementes com 15% de umidade superaram as sementes com 12%, enquanto sementes com teor de água de 9% não diferiram das demais.



de umidade a testemunha não diferiu da tensão à $-0,01\text{MPa}$ e esta, por sua vez, se igualou ao potencial de $-0,001\text{MPa}$.

Em cada tensão da água, houve efeito diferenciado do grau de umidade das sementes. Na testemunha observa-se que as sementes com 12% e 15% de umidade tiveram melhor desempenho que as sementes com 9% de umidade e estas, sob $-0,4\text{MPa}$, foram significativamente superiores às demais. À $-0,001\text{MPa}$ de tensão não houve diferença significativa entre as sementes com diferentes graus de umidade. À $-0,01\text{MPa}$ sementes com 12% de teor de água se destacaram, enquanto sob $-0,2\text{MPa}$ de tensão apresentaram o pior desempenho. À $-0,6\text{MPa}$, sementes com 9% e 12% de umidade originaram plântulas com maior peso de matéria seca do que as oriundas de sementes com 15% de umidade.

O desdobramento das interações de lotes X grau de umidade das sementes mostra que os melhores resultados foram obtidos com sementes dos lotes 2 e 3 que não diferiram entre si quando estavam com 9% e 12% de umidade. Por outro lado, dentro de cada lote o grau de umidade das sementes promoveu resultados diferenciados. Para o lote 1, as sementes com 9% de teor de água superaram as sementes com 12%, enquanto sementes com 15% de umidade não diferiram das demais. No lote 2, sementes com 12% de umidade não diferiram significativamente das sementes que originaram plântulas com maior (sementes com 9% de umidade) e menor (sementes com 15% de umidade) peso de matéria seca. No lote 3, as sementes com 15% de umidade superaram as sementes com 12%, enquanto sementes com teor de água de 9% não diferiram das demais.



TABELA 13. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais osmóticos X lotes, potenciais osmóticos X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, sobre o peso da matéria seca de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L., nas soluções com diferentes potenciais osmóticos.

Potenciais osmóticos X Lotes			
	Peso de matéria seca (mg/plântula)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
Testemunha (água)	1,24 aB	1,67 aA	1,74 aA
-0,001 Mpa	0,96 bC	1,49 aB	1,75 aA
-0,01 Mpa	1,10 abB	1,48 aA	1,57 abA
-0,2 Mpa	0,88 bB	1,20 bA	1,35 bA
-0,4 MPa	0,63 cB	0,94 cA	0,82 cAB
-0,6 MPa	0,41 cA	0,37 dA	0,26 dA
DMS (na coluna) = 0,24 F interação = 7,85**	DMS (na linha) = 0,20		

Potenciais osmóticos X Grau de umidade			
	Peso de matéria seca (mg/plântula)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Testemunha (água)	1,21 aB	1,77 aA	1,66 aA
-0,001 MPa	1,38 aA	1,51 bA	1,32 bcA
-0,01 MPa	1,40 aB	1,66 abA	1,09 cdC
-0,2 MPa	1,41 aA	0,62 cB	1,41 bA
-0,4 MPa	1,26 aA	0,19 dB	0,95 dC
-0,6 MPa	0,50 bA	0,37 dA	0,17 eB
DMS (na coluna) = 0,24 F interação = 38,53**	DMS (na linha) = 0,20		

Lotes X Grau de umidade			
	Peso de matéria seca (mg/plântula)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	1,00 bA	0,74 bB	0,87 cAB
Lote 2	1,30 aA	1,17 aAB	1,10 bB
Lote 3	1,28 aAB	1,14 aB	1,32 aA
DMS (na coluna e na linha) = 0,14 F interação = 3,53**			

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

4.4. Experimentos realizados em solo

Durante a realização dos testes em solo com os diversos potenciais matriciais, verificou-se que sob potencial de $-0,001\text{MPa}$ não ocorreu germinação das sementes devido ao excesso de água nas caixas.

4.4.1. Emergência das plântulas em solo

Na Tabela 14 estão contidos os valores médios que mostram os efeitos de potenciais matriciais da água do solo na emergência das plântulas. Verifica-se que os níveis de água afetaram significativamente a emergência das plântulas, com sensível redução na porcentagem de emergência à medida em que se diminuía a água do solo. Com a tensão da água no solo a $-0,01\text{MPa}$ ocorreu a maior porcentagem de emergência, que entretanto não diferiu do potencial matricial à $-0,2\text{MPa}$.

Verifica-se que não houve efeito significativo dos lotes para a emergência das plântulas no solo.

Observa-se também que houve efeito significativo do grau de umidade das sementes na emergência das plântulas no solo. Os resultados mostram que sementes com teor de água em torno de 12% tem melhor desempenho, apresentando uma porcentagem de emergência significativamente superior ao das sementes com menor (9%) ou maior (15%) grau de umidade.



TABELA 14. Efeito do potencial matricial da água do solo, lote e grau de umidade da semente, sobre a emergência (%), primeira contagem de emergência (%) e índice de velocidade de emergência das plântulas de *Phaseolus vulgaris* L..

Potenciais matriciais (MPa)	Emergência (%)	Primeira contagem (%)	Índice de velocidade de emergência
-0,01	66,83 a	60,61 a	5,27 a
-0,2	63,83 a	63,67 a	3,19 b
-0,4	25,22 b	19,67 b	1,50 c
-0,6	12,11 c	7,33 c	0,82 d
DMS	0,59	0,54	0,13

Lotes	Emergência (%)	Primeira contagem (%)	Índice de velocidade de emergência
1	42,17 a	38,04 a	2,82 a
2	41,46 a	38,00 a	2,60 a
3	42,37 a	37,42 a	2,67 a
DMS	0,47	0,43	0,10

Grau de umidade das sementes(%)	Emergência (%)	Primeira contagem (%)	Índice de velocidade de emergência
9	29,62 c	27,17 c	2,14 c
12	57,00 a	49,25 a	3,49 a
15	39,37 b	37,04 b	2,46 b
DMS	0,47	0,43	0,10
CV (%)	17,44	16,97	12,92

Médias seguidas por mesmas letras não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade.

Na Tabela 15 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações de potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade e lotes X grau de umidade, das análises estatísticas dos dados de porcentagem de emergência das plântulas. Observa-se através do desdobramento das interações de potenciais matriciais X lotes que ocorreu sensível redução na porcentagem de emergência à medida em que se diminuía a água do solo, verifica-se também que a combinação: lote 3 e tensão da água de $-0,2\text{MPa}$ apresentou a maior porcentagem de emergência de plântulas, não diferindo significativamente da tensão à $-0,01\text{MPa}$. O desempenho dos lotes foi diferenciado em cada tensão da água. A $-0,01\text{MPa}$ não ocorreu diferença estatística entre eles. A $-0,2\text{MPa}$ o lote 1 apresentou pior desempenho, mas superou os lotes 2 e 3 nos potenciais à $-0,4\text{MPa}$ e $-0,6\text{MPa}$.

Já o desempenho das interações potenciais matriciais X grau de umidade das sementes mostra que a combinação tensão da água à $-0,2\text{MPa}$ e graus de umidade de 12% e 15% promoveram os melhores resultados e não diferiram significativamente da tensão de $-0,01\text{MPa}$. Observa-se que com 12% de umidade o potencial matricial à $-0,4\text{MPa}$ foi igual estatisticamente a $-0,2\text{MPa}$. Verificou-se também que sementes com 9% de umidade apresentaram desempenho inferior, não ocorrendo emergência sob tensão da água à $-0,6\text{MPa}$. O mesmo ocorreu nas sementes com 15% de umidade. Em cada potencial matricial avaliado, as sementes com 12% de umidade sempre apresentaram desempenho superior ao das sementes com grau de umidade de 15% e 9%.



À $-0,2\text{MPa}$ o teor de água das sementes correspondente à 9%, causou redução na velocidade de emergência das plântulas do lote 1 (Figura 5A) que aos seis dias, só apresentavam a alça do hipocótilo e/ou os cotilédones acima do solo, mostrando posteriormente (Figura 6) menor desenvolvimento do hipocótilo e radícula. Muitas plântulas dos três lotes, chegaram a se desenvolver mas não tiveram energia suficiente para emissão do epicótilo, apresentando aos onze dias sinais de falta de água, como estrangulamento próximo aos cotilédones. Nas plântulas normais, no mesmo período, ocorreu murchamento das folhas primárias.

Já as sementes dos três lotes com grau de umidade ajustado para 12% e 15% (à $-0,2\text{MPa}$ de tensão) promoveram uma emergência mais uniforme e rápida (Figuras 7A e 8A), mesmo sob condição de baixa umidade no solo. Estas sementes mais vigorosas apresentaram maior velocidade de emergência e originaram plântulas com maiores comprimentos do epicótilo, do hipocótilo e da radícula, principalmente no lote de Votuporanga, como pode ser observado nas Figuras 7B e 8B.

Sob o potencial matricial à $-0,4\text{MPa}$ foi possível observar melhor as diferenças quanto ao vigor das sementes. As diferenças de comportamento foi verificada entre os lotes, entretanto, o vigor apresentado é resultado principalmente das condições a que as sementes foram submetidas, em especial o grau de umidade que foi ajustado com um ciclo de secagem ou hidratação. Pode-se verificar que as plântulas cujas sementes estavam com teor de água de 9% apresentaram pequeno desenvolvimento, muitas só chegaram a se desenvolver no interior do solo, não chegando a emergir, apresentando pequena raiz primária e pouquíssimas raízes secundárias (Figura 9). No entanto, as sementes do lote 3, de qualidade fisiológica superior, apresentaram maior velocidade de emergência e maiores comprimentos do hipocótilo e da radícula das plântulas (Figura 10).



TABELA 15. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre a emergência de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L..

Potenciais matriciais X Lotes			
	Emergência (%)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
-0,01 MPa	62,83 aA	70,00 aA	67,67 aA
-0,2 MPa	51,67 bB	65,67 aA	74,17 aA
-0,4 Mpa	34,50 cA	19,67 bB	21,50 bB
-0,6 MPa	19,67 dA	10,50 bAB	6,17 cB
DMS (na coluna) = 1,02	DMS (na linha) = 0,93		
F interação = 12,56**			
Potenciais matriciais X Grau de umidade			
	Emergência (%)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
-0,01 MPa	71,83 aA	65,00 aA	63,67 aA
-0,2 MPa	43,17 bB	74,17 abA	74,17 aA
-0,4 Mpa	3,50 cC	52,50 bA	19,67 bB
-0,6 MPa	0,00 cB	36,33 cA	0,00 cB
DMS (na coluna) = 1,02	DMS (na linha) = 0,93		
F interação = 34,11**			
Lotes X Grau de umidade			
	Emergência (%)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	21,75 bC	57,50 aA	47,25 aB
Lote 2	31,00 aB	55,62 aA	37,75 bB
Lote 3	36,12 aB	57,87 aA	33,12 bB
DMS (na coluna e na linha) = 0,81			
F interação = 12,46**			

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



FIGURA 5. Aspecto das plântulas de feijão observadas sob o potencial matricial à $-0,2\text{MPa}$, com 9% de umidade das sementes, aos seis dias após o início do teste. A – Plântulas do lote 1; B – Plântulas dos lotes 2 e 3 (da esquerda para a direita).



FIGURA 6. Aspecto das plântulas de feijão sob o potencial matricial à $-0,2\text{MPa}$, com 9% de umidade das sementes (aos onze dias após o início do teste), dos lotes 1, 2 e 3 (da esquerda para a direita).

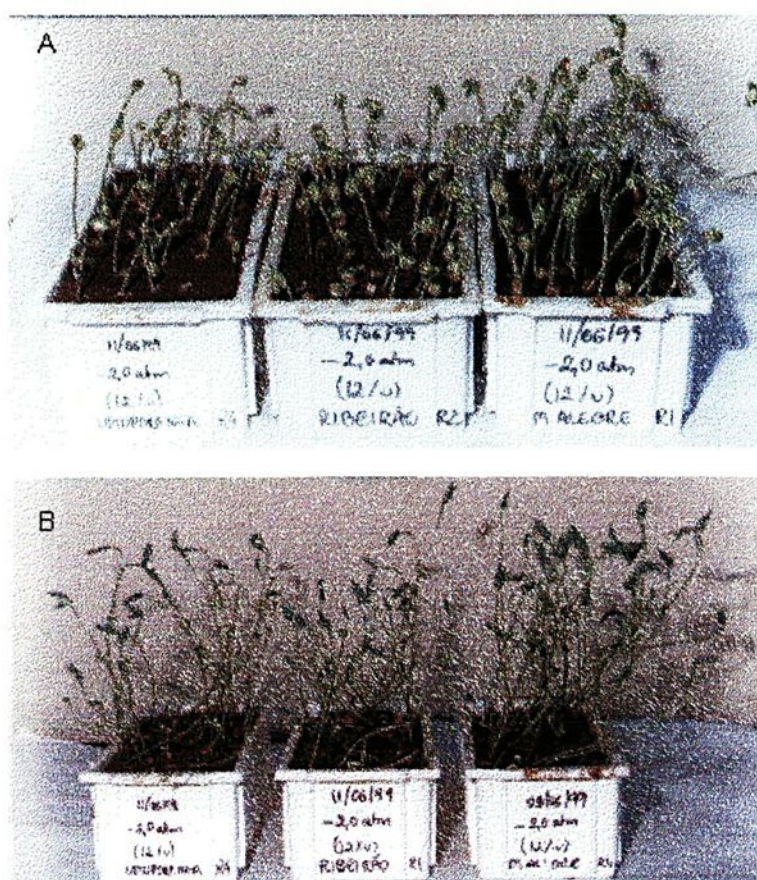


FIGURA 7. Aspecto das plântulas de feijão sob o potencial matricial à $-0,2\text{MPa}$, com 12% de umidade das sementes, dos lotes 1, 2 e 3 (da esquerda para a direita). A – aos seis dias após o início do teste; B – aos onze dias após o início do teste.

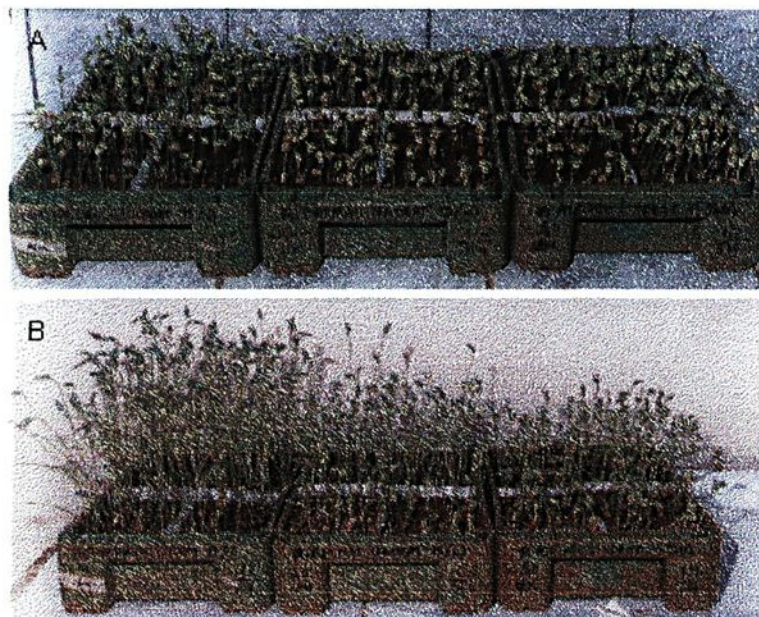


FIGURA 8. Aspecto das plântulas de feijão sob o potencial matricial à $-0,2\text{MPa}$, com 15% de umidade das sementes, dos lotes 1, 2 e 3 (da esquerda para a direita). A – aos seis dias após o início do teste; B – aos onze dias após o início do teste.

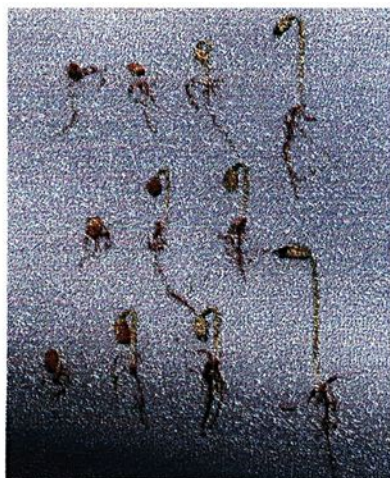


FIGURA 9. Plântulas de feijão oriundas de sementes com 9% de umidade, no potencial matricial à $-0,4\text{MPa}$ dos lotes 1, 2 e 3 (de cima para baixo).



FIGURA 10. Aspecto das plântulas de feijão (aos oito dias após o início do teste) sob o potencial matricial à $-0,4\text{MPa}$, dos lotes 1, 2 e 3 (da esquerda para a direita), cujas sementes tiveram o grau de umidade ajustado para 9%.



FIGURA 11. Aspecto das plântulas de feijão (aos sete dias após o início do teste) sob o potencial matricial à $-0,4\text{MPa}$, dos lotes 1, 2 e 3 (da esquerda para a direita), cujas sementes tiveram o grau de umidade ajustado para 15%.

O teor de água, correspondente à 15% de umidade das sementes, causou um sensível aumento na emergência, velocidade de emergência e comprimento das plântulas do lote 1, comparado aos demais lotes (Figura 11). No entanto o maior alongamento das plântulas (principalmente do epicótilo), parece ser resultado da condição de estresse imposta pelo potencial de água reduzido, já que os valor de peso da matéria seca das plântulas do lote 1 não superou o apresentado pelos outros lotes. Por outro lado, a hidratação das sementes para 12% de umidade, apresentou resultados semelhantes nos três lotes avaliados.

As sementes que foram colocadas para germinar sob o potencial matricial à $-0,6\text{MPa}$ não conseguiram se desenvolver em plântulas normais (exceto as sementes com 12% de umidade), pois a água do solo não foi suficiente para que o processo de germinação ocorresse normalmente quando as sementes possuíam 9% de umidade, e com provável deterioração quando estavam com 15% . Observou-se que entre seis a sete dias após a instalação do teste, somente as sementes do lote 3, de qualidade fisiológica superior, com 9% de umidade ou as sementes com 12% de umidade, dos três lotes, conseguiram energia suficiente para emergir apresentando raiz primária bem desenvolvida e hipocótilo curto, havendo uma emergência desuniforme, com boa parte das plântulas com a alça do hipocótilo e/ou os cotilédones acima do solo. Não foi observado evolução do processo germinativo (aos onze dias após o início do teste) nas sementes que até os seis dias só apresentavam a alça do hipocótilo acima do solo para os lotes 2 e 3.

Aos onze/doze dias observou-se que as sementes dos três lotes com 15% e 9% de umidade chegaram a entumecer, muitas conseguiram emergir colocando os cotilédones rentes ao solo, porém o processo de germinação não teve continuidade. Pelas Figuras 12A e 12B, nota-se que, praticamente todas as sementes dos três lotes já



tinham emitido a raiz primária, no entanto o desenvolvimento das plântulas (comprimento de hipocótilo e raiz) foi reduzido para sementes com menor teor de água inicial, enquanto, sementes com maior umidade originaram plântulas com desenvolvimento mais vigoroso da raiz primária e maior número de raízes secundárias. Assim, pode-se constatar que o fator disponibilidade de água, bem como o teor de água inicial das sementes se tornaram mais importantes que o fator qualidade fisiológica das sementes, para este caso onde os níveis de qualidade não eram muito diferentes.

O desdobramento das interações lotes X grau de umidade mostra que dependendo do grau de umidade das sementes o desempenho dos lotes foi diferenciado, entretanto verificou-se que o lote 1 superou os demais quando apresentava grau de umidade de 15% e 12%, porém não diferiu significativamente dos demais sob umidade de 12%. A 9% de umidade o lote 3 apresentou melhor desempenho mas não diferiu significativamente do lote 2. Por outro lado, verifica-se que houve uma tendência de que dentro de cada lote, sementes com grau de umidade de 12% apresentarem desempenho superior, vindo à seguir sementes com 15% de umidade.



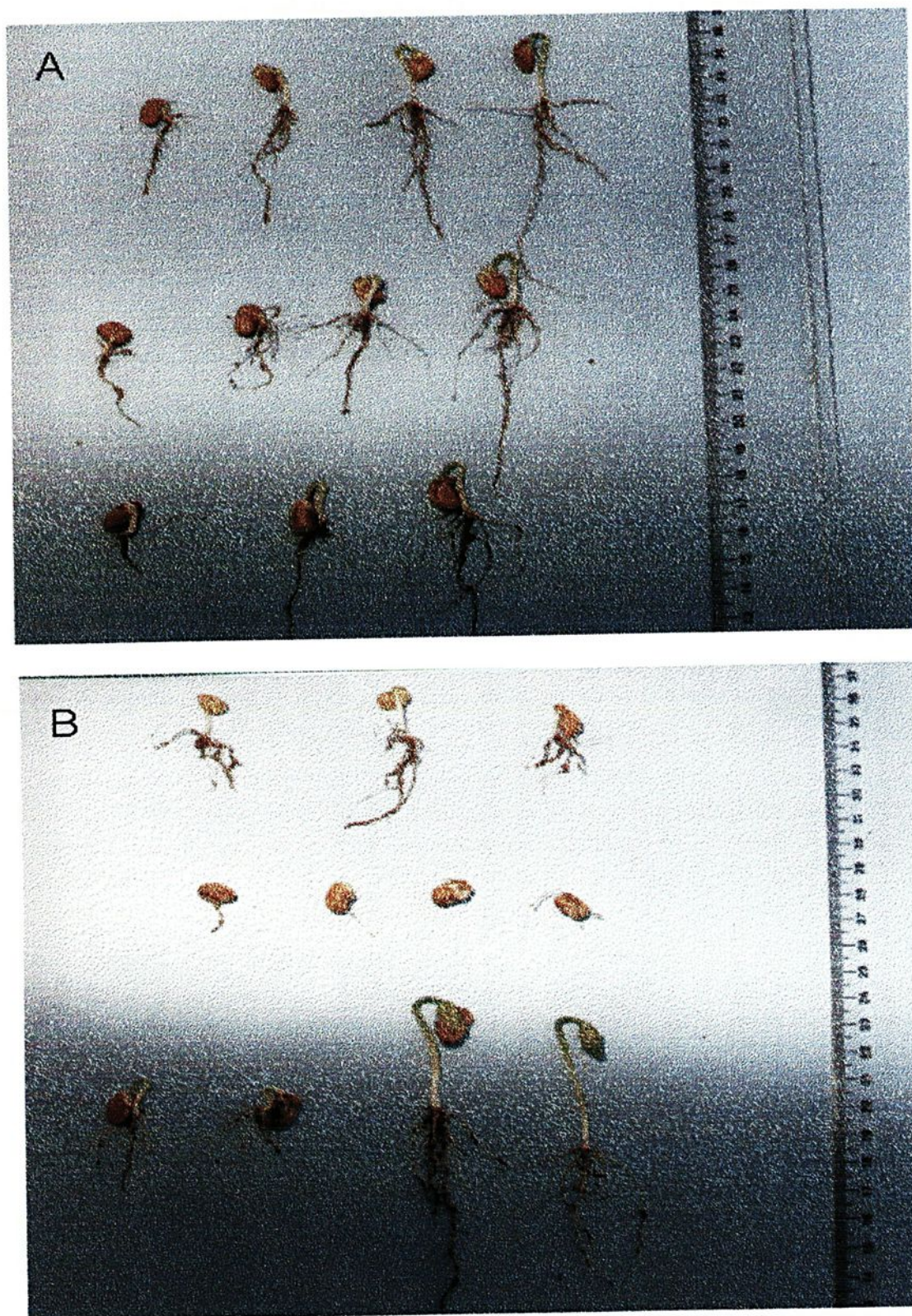


FIGURA 12. Plântulas de feijão sob o potencial matricial à $-0,6\text{MPa}$, dos lotes 1, 2 e 3 (de cima para baixo). A – aos onze dias após o início do teste, sementes com 15% de umidade; B – aos doze dias após o início do teste, sementes com 9% de umidade.

4.4.2. Primeira contagem de emergência

Na Tabela 14 encontram-se os dados que mostram os efeitos dos níveis de água (potenciais matriciais) sobre a primeira contagem de emergência das plântulas. Observa-se que a tensão da água de $-0,2\text{MPa}$ proporcionou pequeno aumento na porcentagem de emergência das plântulas mas não diferiu significativamente da tensão de $-0,01\text{MPa}$, ocorrendo à partir daí sensíveis reduções na porcentagem de emergência à medida em que se diminuíram os níveis de água.

Com relação ao efeito dos lotes e do grau de umidade das sementes na primeira contagem de emergência, constata-se que os resultados são semelhantes à emergência, ou seja, não houve efeito isolado dos lotes e sementes com grau de umidade de 12% apresentaram desempenho superior às demais.

Na Tabela 16 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações de potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade e lotes X grau de umidade, das análises estatísticas dos dados de primeira contagem de emergência das plântulas. Analisando os dados, observa-se que não ocorreram diferenças sensíveis nos resultados da primeira contagem quando comparada à emergência. De modo geral verificou-se maior porcentagem de plântulas sob a tensão da água à $-0,2\text{MPa}$ no lote 3, entretanto, diferiu estatisticamente do potencial matricial à $-0,01\text{MPa}$.

No desempenho das interações potenciais matriciais X grau de umidade observa-se que sementes com teor de água de 12% e 15% sob tensão da água à $-0,2\text{MPa}$ promoveram melhores resultados, entretanto não foi diferente estatisticamente do potencial matricial à $-0,01\text{MPa}$ somente para sementes com 12% de umidade.



TABELA 16. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre a primeira contagem de emergência de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L.

Potenciais matriciais X Lotes			
	Primeira contagem(%)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
-0,01 MPa	60,00 aA	65,00 aA	56,83 aA
-0,2 MPa	51,67 bB	65,17 aA	74,17 bA
-0,4 MPa	27,83 cA	15,00 bB	16,17 cB
-0,6 MPa	12,67 dA	6,83 bAB	2,50 dB
DMS (na coluna) = 0,94	DMS (na linha) = 0,86		
F interação = 13,33**			
Potenciais matriciais X Grau de umidade			
	Primeira contagem(%)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
-0,01 MPa	62,67 aA	61,67 aA	57,50 aA
-0,2 MPa	42,67 bB	74,17 aA	74,17 bA
-0,4 MPa	3,33 cC	39,17 bA	16,50 cB
-0,6 MPa	0,00 cB	22,00 cA	0,00 dB
DMS (na coluna) = 0,94	DMS (na linha) = 0,86		
F interação = 24,12**			
Lotes X Grau de umidade			
	Primeira contagem(%)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	20,87 bC	48,62 aA	44,62 aB
Lote 2	29,75 aB	48,87 aA	35,37 bB
Lote 3	30,87 aB	50,25 aA	31,12 bB
DMS (na coluna e na linha) = 0,74			
F interação = 11,81**			

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

4.4.3. Velocidade de emergência das plântulas

Na Tabela 14 estão contidos os valores médios que mostram os efeitos de potenciais matriciais da água do solo na velocidade de emergência das plântulas. Verifica-se que a tensão da água no solo teve efeito significativo sobre a velocidade de emergência das plântulas, com esta decrescendo à medida em que o potencial matricial se tornou mais negativo.

Observa-se também que a qualidade fisiológica das sementes não teve efeito significativo sobre a velocidade de emergência das plântulas. O lote de 1 apresentou maior velocidade de emergência, porém não diferiu significativamente dos demais lotes.

Com relação ao grau de umidade das sementes verifica-se que o mesmo teve efeito significativo sobre a velocidade de emergência das plântulas, com as sementes com teor de água de 12% apresentando velocidade de emergência significativamente superior às sementes com 15% e 9% de umidade.

Na Tabela 17 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações de potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade e lotes X grau de umidade, das análises estatísticas dos dados de velocidade de emergência das plântulas. Observa-se através do desdobramento potenciais matriciais X lotes que à medida que o potencial matricial se tornava mais negativo a velocidade de emergência das plântulas diminuía. A tensão da água à $-0,01\text{MPa}$ apresentou melhores resultados diferindo significativamente das demais. Os potenciais matriciais à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$ foram iguais estatisticamente somente para o lote 2, enquanto para o lote 1 a tensão da água à $-0,4\text{MPa}$ não diferiu estatisticamente de $-0,2\text{MPa}$ de tensão.

O desempenho dos lotes foi diferenciado em cada potencial matricial. Com maior disponibilidade de água ($-0,01$ e $-0,2\text{MPa}$ de tensão), o lote 3 se destacou dos



demaís, enquanto com potenciais matriciais à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$ o lote 1 proporcionou maior velocidade de emergência.

Já o desdobramento das interações potenciais matriciais X grau de umidade mostra que independente do teor de água das sementes a velocidade de emergência tendeu à decrescer à medida que o potencial se tornou mais negativo. À $-0,6\text{MPa}$, a velocidade de emergência das plântulas foi nula, pois não se observou germinação, quando as sementes apresentavam 9% e 15% de umidade. Os potenciais matriciais à $-0,01$ e $-0,2\text{MPa}$ de tensão só diferiram significativamente entre si quando as sementes utilizadas estavam com teor de água de 9% e 15 %. Para as sementes com 12% de umidade não houve diferença estatística entre as tensões da água à $-0,2$ e $-0,4\text{MPa}$.

De modo geral, verifica-se que sementes com 12% de umidade apresentaram desempenho superior, exceto sob tensão da água à $-0,01\text{MPa}$. Neste potencial sementes com 9% de umidade promoveram maior velocidade de emergência, diferindo significativamente das sementes com 15% e 12% de umidade.

O desdobramento das interações de lotes X grau de umidade mostra que ocorreu diferenças significativas entre os lotes quando as sementes apresentavam 9% e 15% de umidade. Verifica-se que com sementes apresentando 15% de umidade o lote 1 se destacou dos demais, mas com 9% de umidade teve o pior desempenho diferindo significativamente do lote 2. Os resultados mostram que sementes com 12% de umidade proporcionaram melhor desempenho em todos os lotes, ratificando o comportamento observado para as variáveis primeira contagem e emergência de plântulas.



TABELA 17. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre a velocidade de emergência de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L..

Potenciais matriciais X Lotes			
	Índice de velocidade de emergência		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
-0,01 MPa	5,25 aA	5,21 aA	5,35 aA
-0,2 MPa	2,58 bB	3,28 bA	3,71 bA
-0,4 MPa	2,08 bA	1,17 cB	1,26 cB
-0,6 MPa	1,37 cA	0,72 cAB	0,37 dB
DMS (na coluna) = 0,22	DMS (na linha) = 0,20		
F interação = 9,10**			
Potenciais matriciais X Grau de umidade			
	Índice de velocidade de emergência		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
-0,01 MPa	6,18 aA	4,68 aB	4,95 aB
-0,2 MPa	2,16 bB	3,71 abA	3,71 bA
-0,4 MPa	0,20 cC	3,11 bA	1,19 cB
-0,6 MPa	0,00 cB	2,46 cA	0,00 dB
DMS (na coluna) = 0,22	DMS (na linha) = 0,20		
F interação = 33,08**			
Lotes X Grau de umidade			
	Índice de velocidade de emergência		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	2,05 bC	3,64 aA	2,78 aB
Lote 2	1,90 abB	3,38 aA	2,51 bB
Lote 3	2,46 aB	3,46 aA	2,10 bB
DMS (na coluna e na linha) = 0,18			
F interação = 5,88**			

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

4.4.4. Comprimento do epicótilo

Os dados contidos na Tabela 18 mostram que os níveis de água (potenciais matriciais) afetaram significativamente o comprimento do epicótilo das plântulas. À medida em que se reduziu o potencial matricial, observou-se significativa redução no comprimento do epicótilo das plântulas, com o comprimento se mostrando bastante reduzido sob influência das tensões à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$.

Com relação à qualidade fisiológica das sementes verifica-se que este parâmetro teve efeito significativo no desenvolvimento das plântulas, afetando o comprimento do epicótilo, observa-se que o lote 1 apresentou melhor desempenho, diferindo significativamente dos demais.

Por outro lado, verifica-se que os graus de umidade das sementes também afetaram significativamente as sementes. As plântulas oriundas de sementes com 12% de umidade apresentaram comprimento do epicótilo significativamente superior ao das oriundas das sementes com teor de água de 15% e 9%.

Na Tabela 19 encontram-se os valores obtidos no desdobramento das interações de potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade e lotes X grau de umidade nas análises estatísticas dos dados de comprimento do epicótilo. Verifica-se através do desdobramento das interações de potenciais de potenciais matriciais X lotes que a maior média foi obtida com sementes do lote 2 e tensão da água à $-0,01\text{MPa}$, vindo a seguir sementes do lote 3 na mesma tensão. Observa-se que os três lotes avaliados apresentaram resultados semelhantes em todas as tensões da água, ou seja, sob $-0,01\text{MPa}$ ocorreu os maiores valores para o comprimento do epicótilo que foi bastante reduzido sob influência das tensões à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$, que foram iguais estatisticamente.



Verifica-se que os lotes só diferiram significativamente sob as tensões à $-0,2$ e $-0,6\text{MPa}$, com o lote 1 superando os demais à $-0,2\text{MPa}$ de tensão, enquanto sob $-0,6\text{MPa}$ não diferiu significativamente do lote 2.

Já o desdobramento das interações potenciais matriciais X grau de umidade das sementes mostra que dentro de cada umidade de semente ocorreram resultados similares, com o comprimento do epicótilo sendo reduzido à medida que o potencial se tornou mais negativo (exceto para sementes com 12% de umidade) que o comprimento de epicótilo a $-0,6\text{MPa}$ de tensão foi maior que a $-0,4\text{MPa}$, mas não estatisticamente diferente). À $-0,4\text{MPa}$ e $-0,6\text{MPa}$ nas sementes com 9% e 15% de umidade o comprimento do epicótilo foi nulo.

Observando os valores obtidos nestes desdobramentos, verifica-se que o efeito dos graus de umidade dependeram de cada tensão da água. Sob plena disponibilidade hídrica no solo ($-0,01\text{MPa}$) o grau de umidade das sementes não influenciou os resultados. Nos demais potenciais matriciais observou-se diferenças estatísticas entre as sementes, no entanto, as sementes com teor de água de 12% sempre apresentaram resultados superiores, vindo à seguir sementes com 15% de umidade, ora diferindo estatisticamente entre si (sob $-0,2$ e $-0,6\text{MPa}$) ou não (sob $-0,4\text{MPa}$).

Com relação ao desdobramento das interações entre lotes X grau de umidade das sementes, verifica-se que só ocorreu diferenças significativas entre os lotes quando as sementes apresentaram 15% de umidade, com o lote 1 sendo estatisticamente superior aos demais. Os resultados mostram que para os lotes 2 e 3 sementes com 12% de umidade proporcionaram maior comprimento de epicótilo diferindo significativamente de sementes com 15% e 9%, para o lote 1 as sementes com 15% de umidade apresentaram pequena superioridade as sementes com 12% de umidade, que não significou diferença estatística entre elas.



TABELA 18. Efeito do potencial matricial da água do solo, lote e grau de umidade da semente, sobre o comprimento do epicótilo (cm), comprimento do hipocótilo (cm), comprimento da radícula (cm) e peso de matéria seca (mg/plântula) das plântulas de *Phaseolus vulgaris* L..

Potenciais matriciais ... (MPa)	Comprimento do epicótilo (cm)	Comprimento do hipocótilo (cm)	Comprimento da radícula (cm)	Peso de matéria seca das plântulas (mg/plântula)
-0,01 MPa	5,13 a	8,99 a	8,26 a	1,07 a
-0,2 MPa	2,88 b	8,36 a	8,35 a	1,05 a
-0,4 MPa	0,29 c	2,32 b	2,98 b	0,42 b
-0,6 MPa	0,26 c	1,15 c	1,65 c	0,18 c
DMS	0,12	0,21	0,23	0,09
Lotes	Comprimento do epicótilo (cm)	Comprimento do hipocótilo (cm)	Comprimento da radícula (cm)	Peso de matéria seca das plântulas (mg/plântula)
1	2,46 a	5,28 a	5,30 a	0,51 b
2	1,99 b	5,12 a	5,26 a	0,76 a
3	1,97 b	5,22 a	5,37 a	0,78 a
DMS	0,09	0,16	0,18	0,07
Grau de umidade das sementes .. (%)	Comprimento do epicótilo (cm)	Comprimento do hipocótilo (cm)	Comprimento da radícula (cm)	Peso de matéria seca das plântulas (mg/plântula)
9	1,45 c	3,47 c	7,25 a	0,47 c
12	2,83 a	7,23 a	3,64 c	0,94 a
15	2,13 b	4,93 b	5,03 b	0,63 b
DMS	0,09	0,16	0,18	0,07
CV (%)	13,76	16,05	17,90	1,87

Médias seguidas por mesmas letras não diferem significativamente entre si a 5% de probabilidade.



TABELA 19. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre o comprimento do epicótilo de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L..

Potenciais matriciais X Lotes

	Comprimento do epicótilo (cm)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
-0,01 MPa	4,93 aA	5,29 aA	5,16 aA
-0,2 MPa	3,91 bA	2,22 bB	2,50 bB
-0,4 MPa	0,41 cA	0,28 cA	0,18 cA
-0,6 MPa	0,58 cA	0,15 cAB	0,06 cB
DMS (na coluna) = 0,21	DMS (na linha) = 0,19		
F interação = 2,33*			

Potenciais matriciais X Grau de umidade

	Comprimento do epicótilo (cm)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
-0,01 MPa	5,04 aA	5,60 aA	4,74 aA
-0,2 MPa	0,75 bC	4,35 bA	3,53 bB
-0,4 MPa	0,02 cB	0,59 cA	0,26 cAB
-0,6 MPa	0,00 cB	0,79 cA	0,00 cB
DMS (na coluna) = 0,21	DMS (na linha) = 0,19		
F interação = 17,68**			

Lotes X Grau de umidade

	Comprimento do epicótilo (cm)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	1,32 aB	2,81 aA	3,24 aA
Lote 2	1,71 aB	2,54 aA	1,71 bB
Lote 3	1,33 aB	3,14 aA	1,45 bB
DMS (na coluna e na linha) = 0,17			
F interação = 12,39**			

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



4.4.5. Comprimento do hipocótilo

Na Tabela 18, estão contidos os valores obtidos para efeitos de potenciais matriciais, lotes e grau de umidade das sementes no comprimento do hipocótilo das plântulas. Observa-se que à medida em que se diminuíram os níveis de água o comprimento do hipocótilo das plântulas foi diminuindo, com os valores ficando bastante reduzidos sob influências das tensões à $-0,4$ e $-0,6$ MPa. Os potenciais à $-0,01$ e $-0,2$ MPa não diferiram estatisticamente entre si.

Com relação à qualidade fisiológica dos lotes de sementes, verifica-se que este parâmetro não teve efeito significativo no desenvolvimento das plântulas, não afetando o comprimento do hipocótilo.

Por outro lado, verifica-se que o grau de umidade das sementes afetou o comprimento do hipocótilo das plântulas, ocorrendo diferenças significativas entre as sementes. As plântulas oriundas das sementes com graus de 12% apresentaram comprimento do hipocótilo significativamente superior às das oriundas das sementes com 15% de umidade enquanto que estas apresentaram comprimento do hipocótilo significativamente superior ao das oriundas de sementes com 9% de umidade.

Na Tabela 20 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade e lotes X grau de umidade nas análises estatísticas dos dados de comprimento do hipocótilo. Observa-se através do desdobramento das interações potenciais matriciais X lotes que a melhor combinação foi obtida com sementes do lote 3 e tensão da água à $-0,01$ MPa, vindo a seguir o lote 2 na mesma tensão. Observa-se que em cada potencial matricial a qualidade fisiológica das sementes teve efeito diferenciado. Sob $-0,01$ MPa de tensão da



água os lotes foram iguais estatisticamente. À $-0,2\text{MPa}$ de tensão o lote 1 foi significativamente inferior aos demais, enquanto sob $-0,4\text{MPa}$ apresentou o melhor desempenho. À $-0,6\text{MPa}$ os lotes 1 e 2, foram iguais estatisticamente, este último por sua vez não diferiu significativamente do lote 3.

Já o desdobramento das interações potenciais matriciais X grau de umidade mostra que para sementes com 9% e 12% de umidade ocorreu redução no comprimento do hipocótilo das plântulas, havendo diferença significativa entre as tensões da água à $-0,01$ e $-0,2\text{MPa}$, enquanto os potenciais à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$ foram iguais estatisticamente. Para sementes com 15% de umidade não houve diferença significativa entre os potenciais matriciais à $-0,01$ e $-0,2\text{MPa}$, enquanto as tensões da água à $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$ diferiram entre si. Para as sementes com 9% e 15% de teor de água, o comprimento do hipocótilo foi nulo, sob tensão da água à $-0,6\text{MPa}$.

Com relação ao grau de umidade das sementes, verifica-se que sementes com teor de água de 12% proporcionaram maior comprimento do hipocótilo em cada potencial matricial, exceto sob tensão da água à $-0,01\text{MPa}$, em que sementes com 9% de umidade apresentaram pequeno aumento, não diferindo dos demais).

Por outro lado, o desdobramento das interações lotes X grau de umidade mostra que o efeito dos lotes nos diferentes graus de umidade de sementes foi diferenciado para as sementes com 9% e 15% de umidade, com o lote 1 apresentando resultado superior aos lotes 2 e 3 para sementes com 15% de umidade; e inferior aos demais lotes para sementes com 9% de umidade. O grau de umidade das sementes evidenciam que com 12% de umidade ocorreram maiores comprimentos do hipocótilo, nos três lotes avaliados.



TABELA 20. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre o comprimento do hipocótilo de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L..

Potenciais matriciais X Lotes			
	Comprimento do hipocótilo (cm)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
-0,01 MPa	8,32 aA	9,17 aA	9,49 aA
-0,2 MPa	7,51 aB	8,45 aA	9,13 aA
-0,4 MPa	3,28 bA	1,91 bB	1,77 bB
-0,6 MPa	2,02 cA	0,96 bAB	0,48 cB
DMS (na coluna) = 0,36	DMS (na linha) = 0,33		
F interação = 6,32**			
Potenciais matriciais X Grau de umidade			
	Comprimento do hipocótilo (cm)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
-0,01 MPa	9,39 aA	8,96 aA	8,63 aA
-0,2 MPa	4,26 bC	11,84 bA	8,99 aB
-0,4 MPa	0,24 cC	4,64 cA	2,08 bB
-0,6 MPa	0,00 cB	3,46 cA	0,00 cB
DMS (na coluna) = 0,36	DMS (na linha) = 0,33		
F interação = 18,63**			
Lotes X Grau de umidade			
	Comprimento do hipocótilo (cm)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	2,79 bC	6,97 aA	6,09 aB
Lote 2	3,69 aB	6,91 aA	4,78 bB
Lote 3	3,93 aB	7,80 aA	3,91 bB
DMS (na coluna e na linha) = 0,28			
F interação = 8,20**			

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

4.4.6. Comprimento da radícula

Na Tabela 18 encontram-se os dados que mostram os efeitos dos níveis de água (potenciais matriciais) sobre o comprimento da radícula das plântulas. Observa-se que à medida em que se diminuíram os níveis de água, ocorreram sensíveis reduções no comprimento da radícula das plântulas. Com maior disponibilidade de água ($-0,01$ e $-0,2$ MPa de tensão de água), observaram-se plantas com maior desenvolvimento de radícula, enquanto que com potenciais matriciais à $-0,4$ e $-0,6$ MPa, as plântulas se apresentaram com radículas de comprimento bastante reduzido.

Observa-se também que a qualidade fisiológica das sementes não teve efeito significativo no desenvolvimento da radícula das plântulas com as sementes dos três lotes sendo iguais estatisticamente.

Com relação ao grau de umidade das sementes os valores evidenciam que sementes com 12% de umidade proporcionaram um maior desenvolvimento das plântulas, que apresentaram comprimento da radícula significativamente superior ao de sementes com teor de água de 15% e 9%.

Na Tabela 21 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade e lotes X grau de umidade das análises estatística dos dados de comprimento da radícula das plântulas. Observa-se através do desdobramento das interações potenciais matriciais X lotes que o desempenho foi diferenciado em cada lote. Para os lotes 2 e 3, a tensão da água à $-0,2$ MPa proporcionou maior comprimento da radícula, mas não diferiu significativamente da tensão $-0,01$ MPa. Os potenciais à $-0,4$ e $-0,6$ MPa apresentaram drástica redução nos valores de comprimento da radícula, sendo iguais estatisticamente



no lote 2 e diferentes nos lotes de 1 e 3. No lote 1 ocorreu uma redução progressiva no comprimento da radícula à medida em que se diminuíram os níveis de água. O potencial à $-0,01\text{MPa}$ diferiu significativamente de $-0,2\text{MPa}$, enquanto a tensão da água à $-0,2\text{MPa}$ foi igual estatisticamente à $-0,4\text{MPa}$ de tensão.

Observa-se que em cada potencial matricial a qualidade fisiológica dos lotes de sementes teve efeito diferenciado. Sob $-0,01\text{MPa}$ de tensão da água os lotes foram iguais estatisticamente. À $-0,2\text{MPa}$ de tensão o lote 1 foi significativamente inferior aos demais lotes, enquanto que sob $-0,4\text{MPa}$ e $-0,6\text{MPa}$ apresentou o melhor resultado.

O desdobramento das interações potencial matricial X grau de umidade mostra que o teor de água das sementes influenciou nos resultados. Com 9% de umidade a tensão da água à $-0,01\text{MPa}$ foi significativamente superior às demais. Nas sementes com 15% de umidade a tensão da água à $-0,2\text{MPa}$ proporcionou maior desenvolvimento da radícula, mas não diferiu significativamente de $-0,01\text{MPa}$ de tensão. Com o potencial matricial à $-0,6\text{MPa}$ de tensão o comprimento da radícula foi nulo, pois não se observou germinação quando as sementes apresentavam 9% e 15% de umidade. Para as sementes com teor de água de 12% a tensão da água à $-0,2\text{MPa}$ apresentou maior comprimento da radícula diferindo significativamente da tensão à $-0,01\text{MPa}$ e, por sua vez, este potencial não diferiu da tensão à $-0,4\text{MPa}$.

Verifica-se que de modo geral sementes com 12% de umidade apresentaram comprimento da radícula significativamente superior à das sementes com 15% e 9%, entretanto, sob plena disponibilidade hídrica ($-0,01\text{MPa}$ de tensão) o grau de umidade das sementes não teve efeito significativo.



TABELA 21. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre o comprimento da radícula de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L..

Potenciais matriciais X Lotes			
	Comprimento da radícula (cm)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
-0,01 MPa	7,80 aA	8,59 aA	8,38 aA
-0,2 MPa	6,13 bB	8,95 aA	9,96 aA
-0,4 MPa	4,28 bA	2,33 bB	2,33 bB
-0,6 MPa	2,98 cA	1,16 bB	0,82 cB
DMS (na coluna) = 0,41	DMS (na linha) = 0,37		
F interação = 10,80**			
Potenciais matriciais X Grau de umidade			
	Comprimento da radícula (cm)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
-0,01 MPa	9,19 aA	7,52 aA	8,05 aA
-0,2 MPa	5,18 bB	10,16 bA	9,69 aA
-0,4 MPa	0,19 cC	6,37 bA	2,38 bB
-0,6 MPa	0,00 cB	4,96 cA	0,00 cB
DMS (na coluna) = 0,41	DMS (na linha) = 0,37		
F interação = 23,94**			
Lotes X Grau de umidade			
	Comprimento da radícula (cm)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	2,85 bC	7,31 aA	5,73 aB
Lote 2	3,81 aB	6,82 aA	5,14 abB
Lote 3	4,26 aB	7,63 aA	4,23 bB
DMS (na coluna e na linha) = 0,32			
F interação = 5,77**			

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

O desdobramento das interações lotes X grau de umidade mostra que em cada grau de umidade das sementes a qualidade fisiológica dos lotes teve efeito diferenciado. Com 12% de umidade não houve diferença significativa entre os lotes. Para sementes com 9% de teor de água o lote 1 apresentou desempenho inferior aos demais, enquanto, para sementes com 15% de umidade obteve melhor desempenho, diferindo significativamente do lote 3. O efeito do grau de umidade em cada lote avaliado mostra que sementes com 12% de umidade apresentaram comprimentos da radícula significativamente superiores aos demais.

4.4.7. Peso da matéria seca das plântulas

Os dados contidos na Tabela 18 mostram os efeitos dos níveis de água (potenciais matriciais) na transferência de matéria seca das plântulas. Observa-se que os potenciais matriciais afetaram significativamente o peso de matéria seca das plântulas, com valores decrescentes à medida em que se diminuíram os níveis de água, mas não ocorrendo diferença estatística entre tensões da água à $-0,01$ e $-0,2\text{MPa}$. Observa-se também que a qualidade fisiológica das sementes teve efeito significativo no acúmulo de matéria seca das plântulas com os lotes 2 e 3 apresentando peso de matéria seca significativamente superior ao lote 1.

Já o grau de umidade das sementes, teve efeito significativo sobre o acúmulo de matéria seca das plântulas, de forma que plântulas oriundas de sementes com 12% de umidade apresentaram peso da matéria seca significativamente superior ao de oriundas de sementes com 15% e 9% de teor de água.



Na Tabela 22 estão detalhados os valores obtidos no desdobramento das interações potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade e lotes X grau de umidade, das análises estatísticas dos dados de peso da matéria seca das plântulas. Observa-se através do desdobramento das interações potenciais matriciais X lotes que o maior acúmulo de matéria seca foi obtido através da combinação: sementes do lote 3 e tensão da água à $-0,2\text{MPa}$, que não diferiu significativamente da tensão à $-0,01\text{MPa}$, vindo à seguir o lote 2 e tensão da água à $-0,2\text{MPa}$, que também não diferiu significativamente de $-0,01\text{MPa}$ de tensão.

Só ocorreu efeito significativo dos lotes nos potenciais matriciais à $-0,01\text{MPa}$ e $-0,2\text{MPa}$, com os lotes 2 e 3 apresentando os melhores resultados.

Já o desdobramento das interações potenciais matriciais X grau de umidade mostra que para sementes com 9% ou 15% de umidade o peso da matéria seca das plântulas foi nulo à $-0,6\text{MPa}$ de tensão de água no solo. Para as sementes mais secas (9% umidade) existiu diferença significativa entre os potenciais matriciais à $-0,01\text{MPa}$ e $-0,2\text{MPa}$, enquanto que para sementes com 15% e 12% estes potenciais não diferiram entre si. O efeito do grau de umidade nos diversos potenciais matriciais mostrou que sementes com 12% de umidade proporcionam melhores resultados, ora se igualando ou diferindo significativamente das sementes com 15% de umidade (exceto sob a tensão da água à $-0,01\text{MPa}$, onde não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos).

O desdobramento das interações lotes X grau de umidade mostra que para sementes mais úmidas (15% de teor de água) não ocorreu efeito dos lotes, enquanto para sementes com 9% e 12% nos lotes 2 e 3, ocorreu maior acúmulo de matéria seca nas plântulas.



TABELA 22. Valores obtidos no desdobramento das interações: potenciais matriciais X lotes, potenciais matriciais X grau de umidade das sementes, lotes X grau de umidade das sementes, nas análises de efeitos de potenciais matriciais da água do solo, lotes e grau de umidade das sementes sobre o peso da matéria seca de plântulas de *Phaseolus vulgaris* L..

Potenciais matriciais X Lotes			
	Peso da matéria seca (mg/plântula)		
	Lote 1	Lote 2	Lote 3
-0,01 MPa	0,75 aB	1,18 aA	1,27 aA
-0,2 MPa	0,61 abB	1,27 aA	1,29 aA
-0,4 MPa	0,44 bcA	0,38 bA	0,43 bA
-0,6 MPa	0,24 cA	0,19 bA	0,12 cA
DMS (na coluna) = 0,15	DMS (na linha) = 0,14		
F interação = 12,57**			
Potenciais matriciais X Grau de umidade			
	Peso da matéria seca (mg/plântula)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
-0,01 MPa	1,11 aA	1,04 abA	1,04 aA
-0,2 MPa	0,69 bB	1,24 aA	1,23 aA
-0,4 MPa	0,06 cB	0,93 bA	0,25 bB
-0,6 MPa	0,00 cB	0,55 cA	0,00 cB
DMS (na coluna) = 0,15	DMS (na linha) = 0,14		
F interação = 16,20**			
Lotes X Grau de umidade			
	Peso da matéria seca (mg/plântula)		
	9% umidade	12% umidade	15% umidade
Lote 1	0,27 bB	0,69 bA	0,56 aA
Lote 2	0,53 aC	1,00 aA	0,74 aB
Lote 3	0,59 aB	1,15 aA	0,59 aB
DMS (na coluna e na linha) = 0,12			
F interação = 4,31**			

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

4.5. Comparação entre germinação em soluções osmóticas e emergência em solo

Os valores médios de porcentagem de germinação nas soluções osmóticas de diferentes potenciais e emergência no solo são mostrados nas Figuras 13, 14 e 15. Com relação à Figura 13, observa-se o comportamento das sementes do 1, onde se verifica que nos três teores de água das sementes, a germinação em soluções osmóticas mostrou-se superior a emergência em solo à medida em que foram diminuídos os potenciais da água, exceto para as sementes com 9% de umidade sob 0,01MPa onde a emergência em solo apresentou melhor resultado que a germinação com solução osmótica, devido à alta porcentagem (52%) de plântulas anormais e algumas sementes mortas.

No entanto, à 0,6MPa só ocorreu emergência (plântulas normais) em solo para as sementes com 12% de umidade (59%), enquanto a germinação em solução osmótica ocorreu para os três teores de água das sementes. Nas sementes com 9% e 15% de umidade, apesar de terem iniciado a emergência através da protusão da radícula, o subsequente desenvolvimento do processo não ocorreu, resultando na ausência de plântulas normais. As sementes com 12% de umidade apresentaram porcentagem de germinação em manitol inferior à emergência em solo, repetindo-se o observado anteriormente, ou seja, alta porcentagem de plântulas anormais (76,5%) durante os testes com manitol comparado ao apresentado nos testes em solo (12,5%). Esse aumento na emergência em solo pode ser relacionado à melhora na qualidade das sementes utilizadas nos testes em solo, que foram submetidas à hidratação para atingir grau de umidade de 12%, superando o vigor apresentado por sementes com mesmo teor de água inicial (teste em manitol), mas que não sofreram hidratação.



Com relação à Figura 14, observa-se o comportamento das sementes do lote 2, onde pode se verificar que de modo geral a germinação nas soluções osmóticas foi superior à emergência em solo, à medida em que se diminuíram os potenciais de água, tornando-se mais negativos. Porém, sob $-0,01$ e $-0,2$ MPa, sementes com 15% de umidade apresentaram germinação nas soluções osmóticas inferior à emergência em solo, devido à grande incidência de plântulas anormais e mortas (49% e 26,5%, respectivamente para os testes em manitol e solo) ou devido à algum dano nas sementes ocorrido durante a hidratação. Sob as tensões à $-0,4$ MPa e $-0,6$ MPa, só ocorreu emergência (plântulas normais) em solo para sementes com 12% de umidade (59% à $-0,4$ MPa e 31,5% à $-0,6$ MPa). Nas soluções osmóticas houve germinação nos três teores de água estudados. Sementes com 12% de umidade sob as tensões da água à $-0,4$ e $-0,6$ MPa apresentaram porcentagem de germinação em manitol inferior à emergência em solo. Observou-se que nos testes em manitol ocorreu um grande número de plântulas anormais e mortas (56% e 88% respectivamente para os potenciais à $-0,4$ e $-0,6$ MPa), enquanto nos testes em solo os valores apesar de elevados (41% à $-0,4$ MPa e 68,5% à $-0,6$ MPa) foram inferiores aos obtidos nos testes em rolo de papel, demonstrando o efeito benéfico da hidratação das sementes (12% de umidade) na melhoria da qualidade fisiológica das sementes.

Na Figura 15, verifica-se o comportamento das sementes do lote 3, onde se observa que nos três teores de água das sementes, a germinação utilizando solução de manitol mostrou-se superior à emergência em solo, à medida em que foram diminuídos os potenciais da água tornando-os mais negativos, exceto para as sementes com 15% de umidade, na tensão à $-0,2$ MPa onde verificou-se pequeno acréscimo na emergência em solo em relação à germinação em solução osmótica.



Repetindo-se o observado anteriormente para os lotes de 1 e 2 não ocorreu emergência (plântulas normais) em solo sob o potencial matricial à $-0,6\text{MPa}$ para as sementes com 9% e 15% de umidade, que apresentaram respectivamente 91% e 79,5 de plântulas anormais. Também não foi verificado emergência sob o potencial à $-0,4\text{MPa}$ quando as sementes estavam com 15% de umidade (ocorrendo 89% de plântulas anormais).



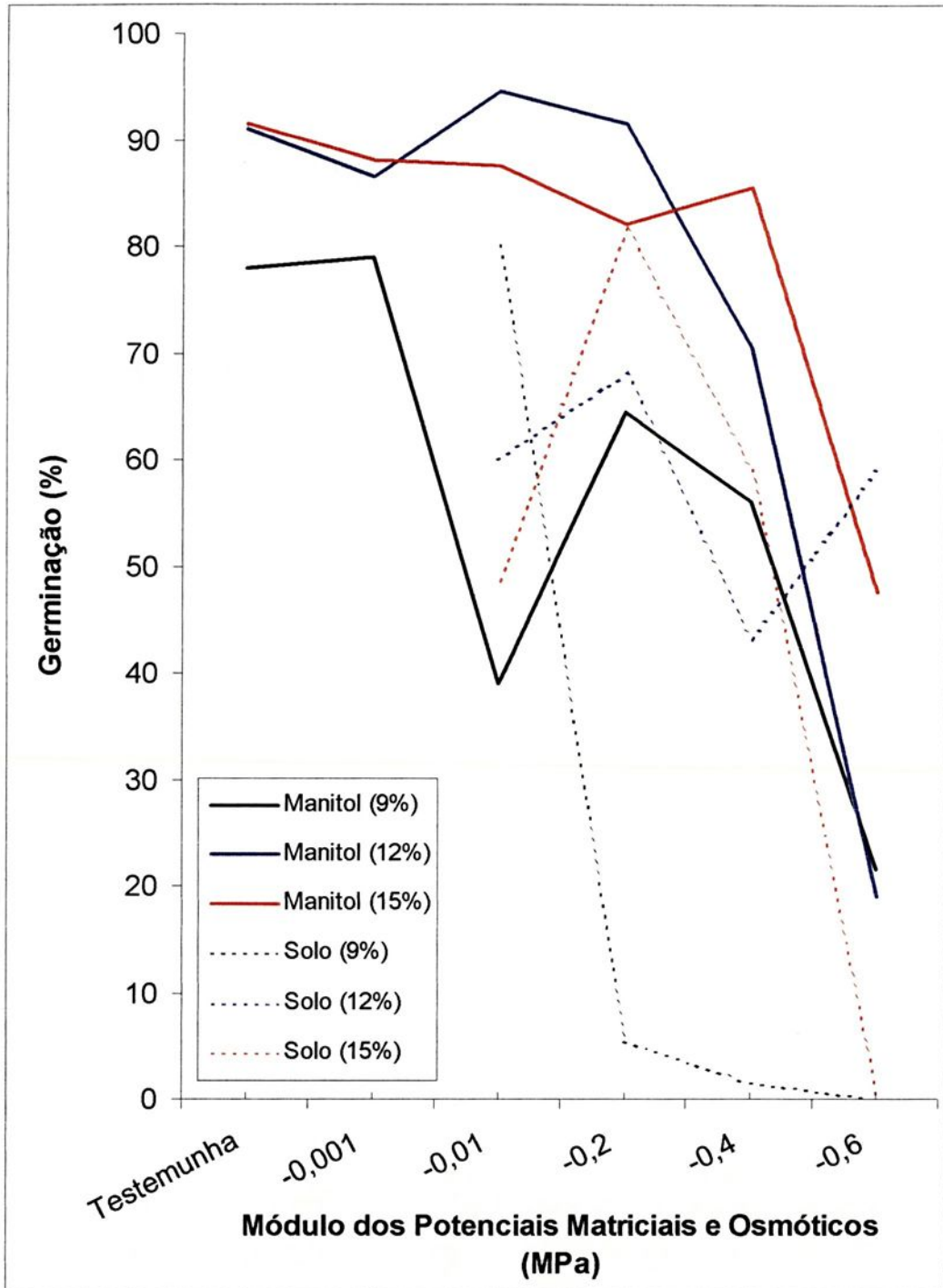


FIGURA 13. Comparação entre porcentagens de germinação de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do lote 1, com 9%, 12% e 15% de umidade, em soluções de manitol e emergência no solo em diferentes potenciais da água.

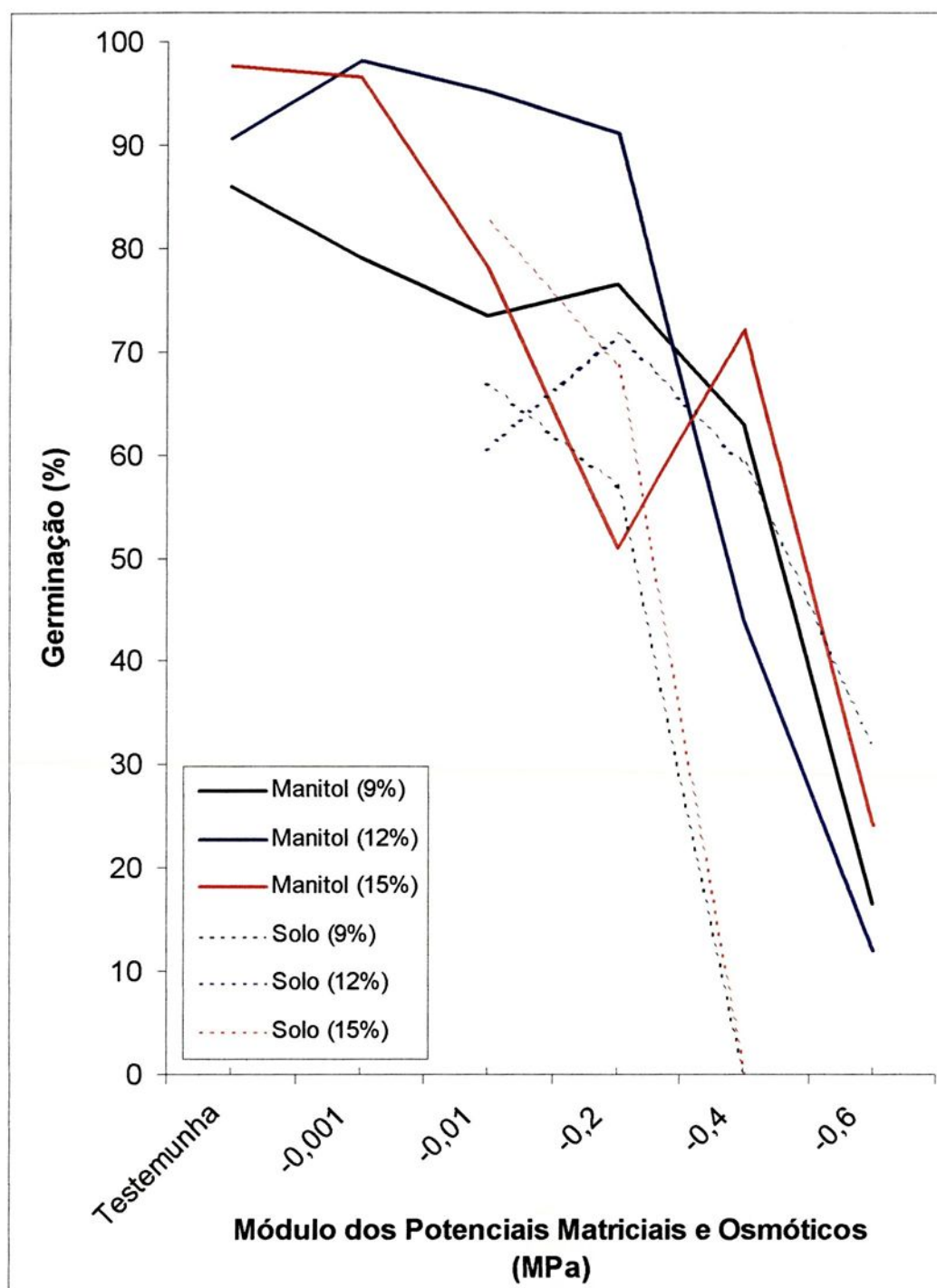


FIGURA 14. Comparação entre porcentagens de germinação de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do lote 2, com 9%, 12% e 15% de umidade, em soluções de manitol e emergência no solo em diferentes potenciais da água.

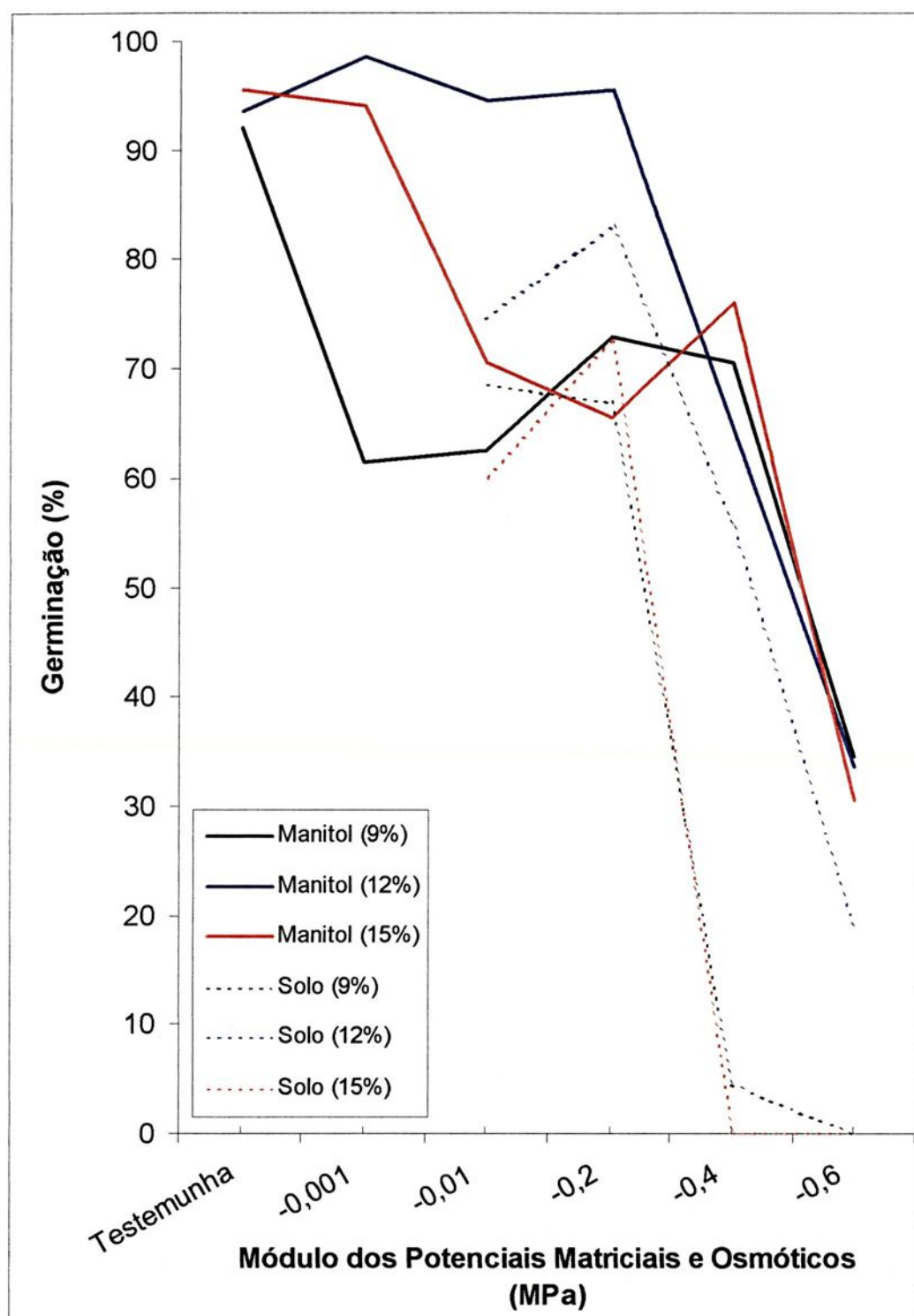


FIGURA 15. Comparação entre porcentagens de germinação de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do lote 3, com 9%, 12% e 15% de umidade, em soluções de manitol e emergência no solo em diferentes potenciais da água.

5. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas determinações de porcentagem de germinação, condutividade elétrica e envelhecimento acelerado forneceram informações sobre o comportamento dos lotes de acordo com o teor de água apresentado pelas sementes.

Com relação à germinação, confirmou-se a superioridade do lote 3 em relação aos demais. Teores de água das sementes mais elevados (15% e 12% favoreceram o processo germinativo de sementes de baixo vigor (lote 1), entretanto, não diferiram das sementes mais secas (9% umidade) no lote 3 (alto vigor). Por outro lado, para o lote 2 (médio vigor) sementes com 12% de umidade apresentaram comportamento intermediário não diferindo das mais úmidas (15%) e mais secas (9%). Assim, o período de embebição prolongado (9-11 horas, atingindo 15% de umidade das sementes) provavelmente provocou a ativação do sistema enzimático nas sementes de baixa qualidade. Deste modo, um lote de pior qualidade pode originar bom desempenho sob condições favoráveis, sendo indiscutível que lotes vigorosos apresentam potencial



fisiológico superior e maior probabilidade de sucesso sob ampla diversidade de condições.

O teste de envelhecimento acelerado baseia-se no fato de que lotes de sementes de alto vigor manterão sua viabilidade quando submetidos, durante curtos períodos de tempo, a condições severas de temperatura e umidade relativa, enquanto as de baixo vigor terão sua viabilidade reduzida sob as mesmas condições (MARCOS-FILHO et al., 1987). Entretanto, não foi verificado efeito dos lotes para este parâmetro. Sabe-se que sementes mais úmidas apresentam atividade metabólica intensificada sob temperaturas elevadas do ambiente, verificou-se portanto que os efeitos do envelhecimento acelerado foram “atenuados” em sementes com baixos graus de umidade, porém melhores resultados (% de germinação) foram alcançados com sementes que não sofreram ajuste no grau de umidade (12% de teor de água) com a secagem ou hidratação, demonstrando que durante a secagem, em consequência da perda de água, as membranas celulares provavelmente, desorganizaram-se estruturalmente e após terem sido submetidas à condição de altas temperaturas e umidade do envelhecimento acelerado, apresentaram valores baixos de vigor, como foi observado por LIN (1990) para sementes de feijão.

Informações existentes na literatura mostram que a organização do sistema de membranas celulares caracteriza o estágio final do processo de maturação e, por outro lado, é a primeira estrutura a mostrar as alterações degenerativas que ocorrem com a redução da umidade das sementes seja por processo natural ou artificial. Segundo DELOUCHE (1968) as transformações degenerativas ocorrem na seguinte ordem: a) Degeneração das membranas celulares, com perda do controle da permeabilidade com danificação dos mecanismos de produção de energia e biossíntese; b) Redução das atividades respiratórias e de biossíntese, tendo como consequência os seguintes eventos:



germinação e crescimento mais lentos; menor uniformidade no crescimento e desenvolvimento da planta; maior suscetibilidade às condições ambientais; maiores porcentagens de plântulas anormais e perda do poder germinativo.

ANDERSON (1970), trabalhando com sementes de cevada, constatou que o envelhecimento artificial acelera a queima das reservas das sementes, sendo neste caso, maior a velocidade da reação do que nas sementes não expostas às condições de estresse.

Em trabalho envolvendo observações citológicas, durante a embebição de sementes envelhecidas artificialmente, VILLERS (1972), observou que durante as primeiras 24 horas as membranas vacuolares pareciam romper-se, seguidas pela desintegração da mitocôndria. SAMSHERY & BANERJI (1979) observaram a redução de ácidos nucleicos em sementes de *Pisum sativum*, *Citrus reticulata* e *C. volkameriana* durante a embebição e concluíram que a perda da viabilidade esteve associada com a lixiviação de metabólitos devido ao declínio de integridade de membrana.

Quando se considera os resultados da condutividade elétrica em cada lote, com relação ao teor de água das sementes, verificou-se que somente os níveis de vigor influenciaram os valores de condutividade elétrica, porém apesar de os teores de água não terem influenciado significativamente, observou-se redução da condutividade elétrica à medida que o teor de água das sementes aumentou de 9% para 15%, concordando com os resultados obtidos por PENARIOL (1997) que observou redução da condutividade elétrica quando o teor de água aumentou de 7% para 17%.

Em sementes com 9% e 12% de umidade, lotes com médio e alto vigor (lotes 2 e 3) proporcionaram redução significativa nos resultados da condutividade elétrica, contudo a elevação do teor de água inicial das sementes para 15% parece ter



possibilitado algum reparo no sistema de membranas das sementes, melhorando o desempenho das sementes do lote 1.

Portanto, tem sido aceito que a integridade das membranas não é completa durante no mínimo, alguns minutos após a embebição. Contudo, com o decorrer do tempo, essa situação se altera, com a retomada natural de sua configuração mais estável ou através de algum mecanismo de restauração. Em sementes mais deterioradas ou não viáveis, esses mecanismos de reparo estariam ausentes, ou seriam ineficientes; ou ainda, as membranas estariam tão danificadas que não há possibilidade de reparo (BEWLEY & BLACK, 1985).

No caso da germinação nas soluções com diferentes potenciais osmóticos, observou-se que apesar de ter sido influenciada significativamente pelo grau de umidade e qualidade fisiológica das sementes, a redução dos níveis de água afetou a porcentagem de plântulas normais, a velocidade de germinação, o comprimento do hipocótilo e da radícula e o acúmulo de matéria seca, favorecendo o aumento da porcentagem de plântulas anormais à medida que a restrição hídrica foi mais severa ($-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$).

A disponibilidade de água para as sementes é diretamente relacionada com a germinação e emergência (COLLIS-GEORGE & HECTOR, 1966 e PESKE & DELOUCHE, 1985), uma vez que a hidratação é fator limitante dos processos metabólicos que ocorrem na semente (KRAMER et al., 1966). À medida em que se reduz progressivamente o potencial hídrico, ocorrem tendências de redução na velocidade e porcentagem de germinação (HUNTER & ERICKSON, 1952; COLLIS-GEORGE & HECTOR, 1966; PARMER & MOORE, 1968; MAGALHÃES & CARELLI, 1972; MACHADO et al., 1983; BEWLEY & BLACK, 1985; PESKE & DELOUCHE, 1985; BRADFORD, 1986), assim como no desenvolvimento inicial de



plântulas (PRISCO & O'LEARY, 1970; MAGALHÃES & CARELLI, 1972; MACHADO et al., 1976; SÁ, 1987; SILVA, 1989).

A diminuição no metabolismo das sementes em função da menor disponibilidade de água para digestão das reservas e translocação dos produtos metabolizados são caracterizados por BEWLEY & BLACK (1978) por um padrão trifásico da germinação. Assim, a primeira etapa, designada por embebição (SALISBURY & ROSS, 1985) é realizada com grande velocidade e dependente de forças mátricas (MAYER & POLJAKOFF-MAYBER, 1963; PRISCO & O'LEARY, 1970; BEWLEY & BLACK, 1985; SALISBURY & ROSS, 1985). Atingindo valores de teor de água entre 35% a 45%, as sementes que armazenam reservas nos cotilédones completam a etapa I em uma ou duas horas e dão início à etapa II (CARVALHO & NAKAGAWA, 1983). Contudo, PAULILO (1980), estudando sementes de feijão, observou a embebição durante um prazo inicial de 4 horas anteriormente à passagem para a etapa II. A fase II se caracteriza por pequenos acréscimos no teor de água das sementes, é neste período que ocorrem os eventos metabólicos na semente em preparação para emissão da raiz primária. A etapa II, 8 a 10 vezes mais longa do que a etapa I (CARVALHO & NAKAGAWA, 1983) é situada, para sementes de feijão, entre 4 e 28 horas após o início da hidratação (PAULILO, 1980), é finalizada quando as sementes (com reservas cotiledonares) se encontram com teores de água na faixa entre 50% e 60% (CARVALHO & NAKAGAWA, 1983). A etapa III, associada com a germinação visível, é de absorção ativa de água, acontece somente nas sementes vivas (PAULILO, 1980 e BEWLEY & BLACK, 1985). Nesse estágio o eixo embrionário já iniciou seu crescimento, de maneira que as novas células em formação e crescimento exigem água e é por isso que o conjunto semente-plântula volta a absorver grandes volumes de água.



A duração de cada fase depende de certas características (nível de hidratação do substrato, permeabilidade do tegumento, tamanho, absorção de oxigênio) e das condições durante a hidratação.

A medida em que decresce o potencial hídrico externamente, a velocidade de absorção pelas sementes diminui, aumentando o período necessário para atingir o teor mínimo de água exigido para emergência do eixo embrionário (raiz primária ou epicótilo) (KOLLER & HADAS, 1982; BRADFORD, 1986). PAULILO (1980) verificou que ao redor de 20 horas após o início da etapa II, quando os níveis de citocinina e giberelina são altos, as condições já permitem um aumento no peso seco do eixo embrionário de sementes de feijão, indicando o início da incorporação do material de reserva cotiledonar. SHIOGA (1990), observou que o teor mínimo de água exigido para emergência da raiz primária, indicadora do início da germinação visível, situa-se no intervalo entre 48 e 50%.

Dessa forma, pode-se observar que para os três lotes, independente do teor de água, no quinto dia de germinação as sementes já haviam atingido a fase III, emitindo a radícula e apresentando desenvolvimento do hipocótilo. Entretanto, sob os potenciais hídricos mais severos ($-0,4$ e $-0,6$ MPa) as plântulas tiveram menor desenvolvimento (comprimento do hipocótilo e da radícula) e menor acúmulo de matéria seca, tendo as sementes com maior grau de umidade (15%) apresentado maior germinação e vigor (primeira contagem, IVG e menor porcentagem de plântulas anormais) que as sementes com 12% ou 9% de umidade inicial, concordando com ROSSETO et al. (1997) que observaram que a germinação das sementes de soja com menor teor de água (90g/kg) foi mais prejudicada que a das sementes com 110 e 130g de água/kg, sob diferentes potenciais hídricos.



Este fato pode ser explicado pelo período de hidratação das sementes (9 a 11 horas) para ajuste no grau de umidade em 15%, que permitiu as sementes que possuíam condições físicas, a reorganização do sistema de membranas e a transferência de nutrientes solúveis dos locais de reserva para os locais de crescimento (etapa I), dando início à etapa II, onde ocorrem os eventos metabólicos (transporte ativo das substâncias degradadas na fase anterior) preparando a emergência da radícula. Assim, as sementes mais úmidas puderam “suportar” melhor potenciais mais negativos, pois provavelmente já haviam realizado a digestão das reservas e translocação dos produtos metabolizados, conforme descrito por BEWLEY & BLACK (1978).

A emergência em solo, no potencial matricial à $-0,6\text{MPa}$, não ocorreu quando as sementes apresentavam 9% e 15% de umidade, enquanto sementes que possuíam 12% de teor de água conseguiram emergir. Sob $-0,4\text{MPa}$, verificou-se o mesmo comportamento para as sementes do lote 2 (com 9% e 15% de umidade). No lote 3 também não ocorreu emergência para sementes com 15% de teor de água. Sob estes potenciais muitas sementes apresentaram germinação; no entanto não conseguiram emergir, emitindo a radícula e hipocótilo, mas não apresentando os avanços mostrados nas outras tensões. Nestas condições ($-0,4\text{MPa}$), sementes que apresentavam menor teor de água (9%) só chegaram a se desenvolver no interior do solo, não chegando a emergir, enquanto o teor de água de 15% pareceu “atenuar” os efeitos da baixa qualidade fisiológica das sementes do lote 1.

Desta forma, comparando as condições de germinação em solução osmótica e a emergência em solo obteve-se respostas semelhantes entre os fatores estudados, ou seja, pequeno desenvolvimento das plântulas (hipocótilo e radícula) e menor velocidade germinativa foram observadas em ambos os casos, porém sob condições de laboratório as respostas ao estresse hídrico não foram tão drásticas quando comparada a situação



similar em solo, de tal maneira que as diferenças no grau de umidade bem como o vigor apresentado pelas sementes prejudicou sensivelmente a emergência em campo.

Apesar disso, os valores obtidos para germinação em soluções de diferentes potenciais osmóticos, nem sempre foram menos acentuados em relação aos diferentes potenciais matriciais da água no solo, não concordando com as observações da literatura onde foi observado que a simulação de deficiências hídricas, impostas pela utilização de soluções com pressões osmóticas elevadas, produz efeitos menos drásticos sobre as plantas, quando comparados com uma situação correspondente à mesma tensão de água no solo (COLLIS-GEORGE & SANDS, 1962; KAUFMAN, 1969; MANOHAR & HEYDECKER, 1964; THILL et al., 1979; SÁ, 1987).

A diferença de comportamento mostrada pelas sementes em relação ao tipo de substrato (papel toalha e solo) também deve ser considerada, já que a literatura aponta diferenças de comportamento das sementes em relação ao tipo de solo (HEATHERLY & RUSSEL, 1979; PESKE & DELOUCHE, 1985). Assim, Sá (1987) observou a germinação (apesar de baixa) para as sementes do cultivar IAC-8 de soja sob potencial osmótico de $-8,0\text{atm}$, enquanto PESKE & DELOUCHE (1985) observaram boa germinação para sementes do cv. Davis à potencial matricial de $-7,0\text{atm}$. Já ROSSETO et al. (1997) verificaram redução na germinação de sementes de soja sob os potenciais osmóticos do substrato de $-0,20$ e $-0,40\text{MPa}$, enquanto a emergência das plântulas foi reduzida em potencial matricial de $-0,40\text{MPa}$.

A qualidade fisiológica bem como o teor de água das sementes afetaram significativamente a germinação das sementes, ocorrendo maiores porcentagens de germinação para as sementes de maior vigor e com maiores teores de água (12% e 15%). Para a emergência em solo não verificou-se efeito isolado da qualidade fisiológica dos lotes, assim as diferenças no grau de umidade das sementes se tornaram



mais importantes. Dessa forma, as sementes mais úmidas melhoraram a emergência do lote de baixo vigor (lote 1), enquanto as mais secas prejudicaram lotes de maior vigor. Resultados semelhantes foram encontrados em soja por ROSSETO et al. (1997), que justificaram afirmando que tal fato ocorreu provavelmente em função de que sementes de lotes de qualidade superior, com menor teor de água (90g/kg), quando colocadas para hidratar, liberam maior quantidade de exsudatos, o que não foi verificado neste trabalho.

Vários autores (BARROS, 1975; EDJE & BURRIS, 1971; LIN, 1981; ROUSSEAU, 1977; SOUZA & MINOR, 1974; TEKRONY & EGLI, 1977; SÁ, 1987) já constataram o desempenho superior de sementes mais vigorosas em relação às menos vigorosas, principalmente quando expostas à condição de estresse hídrico. Por outro lado, são poucas as pesquisas que buscam avaliar o efeito do teor de água das sementes sobre a germinação e emergência sob tais condições.

Como se sabe, a utilização de sementes de boa qualidade é um fator importantíssimo para o sucesso de culturas de interesse econômico, pois possibilita a obtenção de uma boa emergência no campo e de plantas vigorosas e uniformes, com reflexos diretos na produtividade, sendo que o teor de água exerce grande influência sobre o comportamento da semente quando submetida a diferentes situações (MARCOS-FILHO et al., 1987). Este fator se torna importante, pois nem sempre as condições de umidade do solo são ideais no momento da semeadura. Assim, a utilização de sementes com qualidade superior e com teores de água adequados podem promover uma melhor germinação e emergência no campo.

A presença de patógenos nas sementes pode ter influenciado alguns resultados obtidos na germinação com soluções osmóticas e na emergência em solo,



pois as sementes não foram previamente tratadas com fungicidas. Desta maneira, alguns tratamentos devido à baixa germinação tiveram de ser repetidos.

Foram observados nas sementes os fungos *Rhizopus ssp.*, *Fusarium ssp.*, *Penicillium ssp.* e *Aspergillus ssp.*, patógenos estes que podem causar danos às sementes, conforme observações de PEREIRA (1982), PESKE & DELOUCHE (1985), ROSSETO et al. (1997).

SÁ (1987) alertou para o problema de se utilizar sementes que apresentam tais patógenos, na semeadura em solo que não apresenta teor de água adequado, pois a semente ao ser colocada para germinar nestas condições poderá ter um período de germinação muito longo, ficando exposta ao ataque dos fungos aderidos a ela e de outros patógenos do solo, que crescem devido à exudação de açúcares, ácidos orgânicos e íons pela semente. Outro fato que pode ocorrer é que a água não seja suficiente para que se complete uma das fases da germinação, e portanto a mesma ficará paralizada por período tal que possa ocorrer a morte da semente.

No caso das observações com soluções de diferentes potenciais osmóticos, a deficiência de água afetou o desenvolvimento das plântulas (comprimento do hipocótilo e da radícula), o peso da matéria seca, reduzindo a porcentagem de germinação e a velocidade do processo, com efeitos mais acentuados sob os menores potenciais hídricos.

Nos experimentos em solo, além da redução na porcentagem e velocidade de emergência das plântulas, ocorreu também ausência de germinação sob às tensões à $-0,4$ e $-0,6$ MPa em sementes com 9% e 15% de umidade, de alguns lotes utilizados.

Muitas sementes foram atacadas por patógenos logo no início da emissão da radícula ou durante o posterior processo germinativo, nos testes em solução osmótica,



causando deterioração das sementes e apodrecimento do papel toalha. No solo as sementes ficaram em condição mais desfavorável, ocorrendo a morte das sementes.

Analisando o que ocorreu em germinador e em solo, verifica-se que enquanto as sementes em rolo papel, sob $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$ germinaram, chegando a emitir hipocótilo e radícula, no solo isto não ocorreu, sob $-0,4\text{MPa}$, para sementes do lote 2 com 9% e 15% de umidade e para sementes do lote 3 com 15% de umidade. Sob $-0,6\text{MPa}$, em todos os lotes não houve emergência para sementes com 9% e 15% de teor de água. Isto demonstra que as sementes menores (lote 1) puderam suportar condições desfavoráveis, como baixo teor de água no solo ($-0,4\text{MPa}$) pois necessitam de menor quantidade de água para iniciar o processo germinativo, sendo neste caso, favorecidas quando possuem maior teor de água inicial (12% e 15%), com melhores resultados ocorrendo com grau de umidade intermediário (12%).

Sabe-se que aumentando-se o teor de umidade da semente, aumenta a sua velocidade respiratória, e que a primeira evidência da aceleração dos processos metabólicos é o aumento da velocidade respiratória da semente, poucas horas após o início da reidratação. Dessa forma, supõem-se que a hidratação por período mais longo, como o utilizado para atingir 15% de umidade (9-11 horas), possa ter acelerado a atividade metabólica das sementes, a tal ponto que expostas a potenciais mais negativos, sofreram maiores danos.

Ching (1972) citada por POPINIGIS (1977) explica porque as sementes com reidratação relativamente incipiente apresentam já elevada atividade metabólica. Baseando-se no fato de que as proteínas de reserva, os grãos de amido e os lípidos são insolúveis na água, a autora sugere que, durante a embebição, a água é primeiramente absorvida pelas organelas de função metabólica, pelo citosol, e pelas membranas externas das organelas contendo reservas, ou seja, das partículas proteicas, dos



proplastídeos e dos esférissomas. Assim, a quantidade de água embebida pela semente nos primeiros minutos ou horas, embora pequena em relação à semente, poderia prover um grau de hidratação adequado ao início de atividades metabólicas, desde que concentrada em regiões específicas das células, ou seja, naquelas estruturas de função metabólica. Todavia, afirma a mesma autora que a simples hidratação das organelas pré-existentes na semente (mitocôndrio, ribossomos, núcleos, membranas, glioxissomos, entre outras), e das macromoléculas desidratadas (enzimas, tRNA, mRNA, e outras), pode não ser suficiente para reativar prontamente suas funções. Outros requisitos podem estar envolvidos nesta reativação.

Assim, os resultados obtidos realçaram a importância da qualidade fisiológica e do teor de água das sementes sobre o comportamento das mesmas, principalmente sob condições de deficiência hídrica no solo.



6. CONCLUSÕES

Após a análise e interpretação dos dados obtidos, pode-se concluir que:

– Existe relação entre a qualidade fisiológica dos lotes e do grau de umidade das sementes sobre o seu desempenho nos diversos potenciais hídricos. Nesse aspecto, sementes mais vigorosas e com maior teor inicial de água, mostraram-se mais resistentes às condições de deficiência hídrica do substrato.

– A deficiência hídrica prejudicou a germinação e a emergência e retardou o desenvolvimento das plântulas de feijão.

– Potenciais hídricos do substrato de $-0,4$ e $-0,6\text{MPa}$ reduziram sensivelmente a germinação, mas não impediram o processo, quando simulado com soluções de manitol. Porém, em solo, sob as mesmas tensões de água, a emergência praticamente não ocorreu, sofrendo influência do grau de umidade e da qualidade fisiológica das sementes.



– A relação de interdependência entre grau de umidade e qualidade fisiológica das sementes com as condições de umidade do substrato, demonstra que o processo de germinação pode ser melhor sucedido quando garantidos o teor de água e a qualidade fisiológica adequados às sementes, de maneira que a utilização de sementes de alto vigor com grau de umidade entre 12 e 15% é eficiente no sentido de elevar a porcentagem de germinação de sementes de feijão.



6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDUL-BAKI, A.A. Biochemical aspects of seed vigor. **Hort Sci.**, Alexandria, v. 15, n. 6, p. 765-71, 1980.
- ABDUL-BAKI, A.A., ANDERSON, J.D. Relationship between decarboxylation of glutamic acid and vigor in soybean seed. **Crop Science**, v. 13, p. 227-232, 1973.
- ANDERSON, J.D. Physiological and biochemical differences in deteriorating barley seed. **Crop Science**, v.10, p.36-39, 1970.
- AKALEHIYWOT, T., BEWLEY, J.D. Promotion and synchronization of cereal grain germination by osmotic pretreatment with polyethylene glycol. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.89, p.503-506, 1977.
- BARROS, A.C.S.A. **Effects of treflan rates, planting depths, and quality on Emergence and desenvolvimento of soybeans (*Glycine max* L. Merrill) and Cotton (*Gossypium hirsutum* L.).** Mississippi, 1975, 83p. (M.S. Mississippi State University).
- BERJAK, A., VILER, T.A. Ageing in plant embryos II. Ago-induced damage and its repair during early germination, **New Phytologist**, v. 71, p. 135-144, 1972.
- BEWLEY, J.D. Membrane changes in seeds as related to germination and the perturbations resulting from deterioration in storage. In: McDONALD JR., M.B.,

- NELSON, C.J. (Eds.). **Physiology of seed deterioration**. Madison: Crop Sci. Soc. Amer., 1986. p. 1-25.
- BEWLEY, J.D., BLACK, M. **Physiology and Biochemistry of Seeds**, v. 1, Springer-Verlag, New York, 1978, 307 p.
- BEWLEY, J.D., BLACK, M. **Seeds, physiology of development and germination**. New York, Plenum Press, 1985. 367p.
- BIDINGER, F.R. Water stress effects on crop environment interactions. In: INTERNATIONAL CROP RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS, Hyderabad, India. **Proceedings of the International workshop on the research needs of semi-ari tropics**. Hyderabad, India, 1978. p. 147-153.
- 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 Botany**, Ottawa, n. 59, p. 672-676, 1981.
- BRADFORD, K.J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **Hortscience**, Alexandria, v.21, n.5, p.1105-1112, 1986.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: SNAD/ DNPV/CLAV, 1992. 365p.
- CARVALHO, M.V. **Determinação do fator de correção para condutividade elétrica em função do teor de água de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. Jaboticabal, 1994. 36p. (Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Câmpus de Jaboticabal, para graduação em Agronomia).
- CARVALHO, N.M., NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1983, 429p.
- CARVALHO, N.M., NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988, 424p.
- CAVALCANTE, A.M.B., PEREZ, S.C.J.G.A. Efeitos dos estresses hídrico e salino sobre a germinação de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 281-289, 1995.
- CHING, T.M., SCHOOLCRAFT, I. Physiological and chemical differences in aged seeds. **Crop Sci.**, Madison, v. 8, p. 407-409, 1968.



- COLLIS-GEORGE, N., HECTOR, J.B. Germination of seeds as influenced by matric potencial and by area of contact between seed and soil water. **Australian Journal of Soil Research.**, Melbourne, v. 4, p. 145-165, 1966.
- COLLIS-GEORGE, N., SANDS, J.E. Comparison of the effects of the physical and chemical components of soil water energy on seed germination. **Aust. J. Agr. Res.**, Melbourne, v. 13, p. 575-584, 1962.
- COPELAND, L.O. **Principles of Seed Science and Technology**. Minneapolis, Burges Publishing Company, 1976, 369 p.
- COSTA, R.C.L., LOPES, N.F., OLIVA, M.A., BARROS, N.F. de Efeito da água e do nitrogênio sobre a fotossíntese, respiração e resistência estomática em *Phaseolus vulgaris*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 12, p. 1371-1379, 1988.
- DAVIDSON, D., EASTMAN, M.A., THOMAS, J.E. Water uptake during germination of barley. **Plant Science Letters**, Limerick, n. 6, p. 223-230, 1976.
- DELACHIAVE, M.E.A., RODRIGUES, J.D., MORAES, J.A.P.V., PEDRAS, J.F., RODRIGUES, S.D., BOARO, C.S.F. Germinação de sementes de *Stylosanthes guianensis*. IV - Potencial água e embebição. **Revista Brasileira de Sementes**, v.8, n.3, p. 55-61, 1986.
- DELOUCHE, J.C. **Seed vigor in soybeans**. Proc. 3rd Soybean Res. Conf. (ASTA), n.23, p.83-90, 1968.
- DIAS, D.C.F.S., MARCOS FILHO, J. Electrical conductivity tests for vigour evaluation in soybean seeds. In: INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION CONGRESS, 24, 1995, Copenhagen. **Abstracts...** Zurich: ISTA, 1995. p. 89.
- DIAS, M.C.L.L., BARROS, A.S.R. **Avaliação da qualidade de sementes de milho**. Londrina: IAPAR, 1995. 43 p. (Circular 88).
- EDJE, O.T., BURRIS, J.S. Effects of soybean seed vigour on field performance. **Agronomy Journal**, Madison, v.63, p.536-538, 1971.
- EDWARDS, C.J., HARTWIG, E.E. Effect of seed size upon rate of germination of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, p. 429-430, 1971.
- EMMERICH, W.E., HARDEGREE, S.P. Polyethylene glycol solution contact effects on seed germination. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 1103-1107, 1990.
- EVANS, C.W., STICKLER, F.C. Grains sorghum seed germination under moisture and temperature stresses. **Agronomy Journal**, Madison, v. 53, p. 369-372, 1961.

- FICK, G.L., HIBBARD, R.P. A method for determining seed viability by electrical conductivity measurements. **Mich. Acad.**, Ann Arbor, v. 5, p. 95-103, 1925.
- FRATIN, P. Comparação entre métodos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1987. 191p. (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo.
- GERMU, M., NAYLOR, R.E.L. Effects of low water availability on germination of two sorghum cultivars. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 19, p. 373-383, 1991.
- GUIMARÃES, C.M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M.J. de, ROCHA, M., YAMADA, T. **Cultura do Feijoeiro - Fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988, p. 157-174.
- HAMPTON, J.G. Conductivity test. In: SEED VIGOUR TESTING SEMINAR, 1995, Copenhagen, Denmark. **Abstracts...** Zurich: ISTA, 1995. p.10-28.
- HAMPTON, J.G., JOHNSTONE, K.A., EUA-UMPON, V. Bulk conductivity test variables for mungbean, soybean and french bean seed lots. **Seed Sci. Technol.**, Zurich, v. 20, n. 3, p. 677-686, 1992.
- HAMPTON, J.G., TEKRONY, B.M. Conductivity test. In: HAMPTON, J.G., TEKRONY, B.M. (Ed.). **Handbook of vigour test methods**. 3.ed. Zurich: ISTA, 1995. p. 22-34.
- HEATHERLY, G.L., RUSSEL, W.J. Effects of soil water potencial of two soil on soybean emergence. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, p.980-982, 1979.
- HEGARTY, T.W. The physiology of seed hydration and dehydration and relation between water stress and control of germination: a review. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 1, n. 1, p. 101-119, 1978.
- HIBBARD, R.P., MILLER, E.V. Biochemical studies on seed viability. I. Measurements of conductance and reductions. **Plant Physiol.**, Bethesda, v. 3, p. 335-352, 1928.
- HILLEL, D. **Soil and Water. Physical principles and processes**. New York: Academic Press, 1971. 288p.
- HUNTER, J.R., ERICKSON, A.E. Relation of seed germination to soil moisture tension. **Agronomy Journal**, Madison, n. 44, p.107-109, 1952.
- KAKEFUDA, C., DUKE, S.H. Imbibitional leakage and seed death during germination in soybean cultivars with defective testal. **Plant Physiology**, v. 67, p. 449-456, 1982.

- KAUFMANN, M R. Effects of water potencial on germination of lettuce, sunflower and citrus seeds. **Can. J. Bot.**, Ottawa, v. 47, p. 1761-1764, 1969.
- KEELING, B.L. Soybean seed rot and the relation of seed exudate to host susceptibility. **Phytopathology**. New York, v. 64, n. 11, p. 1445-1447, 1974.
- KOLLER, D., HADAS, A Water relations in the germination of seeds. In: LANGE, D.L., NOBEL, P.S., OSMOND, C.B., ZIEGLER, H. ed. **Encyclopedia of plant physiology**. Berlin, Springer-Verlag, 1982. p. 401-431. (New Series, 12b).
- KOOGHOMOV, B.K., SAPRA, V.T., BEYL, C.A. Screening for drought tolerance: soybean germination and its relationship to seedling responses. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlim, v. 164, n. 3, p. 153-159, 1990.
- KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489 p.
- KRAMER, P.J., KNIPLING, E.B., MILLER, L.N. Terminoly of cell-water relations. **Science**, New York, v.155, p.889-90, 1966.
- KRZYZANOWSKI, F.C., FRANÇA NETO, J.B., HENNING, A.A. Relato dos testes de vigor disponíveis para as grandes culturas. **Inf. ABRATES**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 15-50, 1991.
- KRZYZANOWSKY, F.C., MIRANDA, Z.F.S. Relatório do comitê de vigor da ABRATES. **Inf. ABRATES**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 7-25, 1990.
- LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes**. Washington, OEA, 1983. 174 p. (OEA. Coleção de Monografias Científicas Biológica, 24).
- LARSON, L.A. The effect of soaking pea seeds with or without seedcoats has on seedling growth. **Plant Physiol.**, Bethesda, v. 43, n. 2, p. 255-259, 1968.
- LIN, S.S. Efeito do vigor da semente no desempenho da planta de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no campo. In: Seminário Nacional de Pesquisa de Soja, II: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Anais**, vol. I, p. 610-621, 1981.
- LIN, S.S. Alterações na lixiviação eletrolítica, germinação e vigor de semente de feijão envelhecida sob alta umidade relativa do ar e alta temperatura. **Rev. Bras. Fisiol. Veg.**, v. 2, n. 2, p. 1-6, 1990.
- LOEFFLER, T.M. **The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality**. Lexington, 1981. 181 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - University of Kentucky.
- LOEFFLER, T.M., TEKRONY, D.M., EGLI, D.B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality. **J. Seed Technol.**, Boise, v. 12, n. 1, p. 37-53, 1988.



- MACHADO, R.C.R., RENA, A.B., VIEIRA, C. Efeito da desidratação osmótica na germinação de sementes de vinte cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) Revista Ceres, Viçosa, v.23, n.128, p.310-320, 1976.
- MAGALHÃES, A.C. CARELLI, M.L. Germinação de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) sob condições variadas de pressão osmótica. **Bragantia**, Campinas, v. 31, p. 19-21, 1972.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination and in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, Madison, v.2, n.2, p. 176-177, 1962.
- MANOHAR, M.S. Effects of "osmotic" systems on germination of peas (*Pisum sativum* L.). **Planta**, v. 71, p. 81-86, 1966.
- MANOHAR, M.S., HEYDECKER, W. Effects of water potencial on germination of pea seeds. **Nature**, London, v.202, p.22-24, 1964.
- MARCOS FILHO, J. **Qualidade fisiológica e maturação de sementes de soja** (*Glycine max* (L.) Merrill). Piracicaba, 1979, 180 p. (Livre-Docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- MARCOS FILHO, J. Qualidade fisiológica e maturação de sementes de soja cultivares BRAGG e UFV-1 e comportamento das plantas no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 16, n. 3, p. 405-415, 1981.
- MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: VIEIRA, R.D., CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 133-149.
- MARCOS FILHO, J., AMORIM, H.V., SILVA ROLLA, M.B., PESCARIN, H.M.C. Relações entre germinação, vigor e permeabilidade das membranas celulares durante a maturação de sementes de soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2, Brasília, D.F.. 1981. **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPSO. 1982. v. 1, p. 676-88.
- MARCOS FILHO, J., CARVALHO, R.V., CICERO, S.M., DEMÉTRIO, C.G.B. Qualidade fisiológica e comportamento de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no armazenamento e no campo. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 42, p. 195-249, 1985.
- MARCOS FILHO, J., CÍCERO, S.M., SILVA, W.R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230p.
- MATHEWS, S., POWELL, A.A. Environmental and physiological constraints on field performance of seeds. **Hortscience**, Alexandria, n. v. 21, n. 5, p. 1125-1128, 1986.



- MAYER, A.M., POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. London, Pergamon Press, 1963. 236p.
- MAYER, A.M., POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. 2 ed. Oxford: Pergamon Press, 1978. 191 p.
- McCOY, E.L., BOERSMA, L., EKASINGH, M. Net carbon allocation in soybean seedlings as influenced by soil water stress at two soil temperatures. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 151, n. 4, p. 497-505, 1990.
- McDONALD JR., M.B., WILSON, D.O. An assessment of the standarization and ability of the ASA-610 to rapidly predict potential soybean germination. **J. Seed Technol.**, Springfield, v. 4, n. 2, p. 1-11, 1979.
- McDONALD JR., M.B., WILSON, D.O. ASA-610 ability to detect changes in soybean seed quality. **J. Seed Technol.**, Springfield, v. 5, n. 1, p. 56-66, 1980.
- McDONALD, M.B., VERTUCCI, C.W., ROOS, E.E. Soybean seed imbibition: water absorption by seed parts. **Crop Science**, Madison, v. 28, n. 6, p. 993-997, 1988.
- McKERSIE, B.D., STINSON, R.H. Effect of dehydration on leakage and membrane structure in *Lotus corniculatus* L. seeds. **Plant Physiol.**, Bethesda, v. 66, n. 2, p. 316-320, 1980.
- MEYER, R.F., BOYER, J.S. Sensivity of cell division and cell elongation to low water potenciales in soybean hypocotyls. **Planta**, Berlim, v. 108, n. 1, p. 77-87, 1972.
- 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.
- NOMANI, H., BOYER, J.S. Turgor and growth at low water potentials. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 89, n. 3, p. 798-894, 1989.
- OLIVEIRA, D. de, FARIA, R.T. de Produção do feijoeiro submetido á supressão hídrica em diferentes fases do ciclo. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 5., 1996, Goiânia. **Anais**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF-APA, 1996. v. 1, p. 429-430. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 69).
- PAIVA AGUERO, J.A. **Correlação de condutividade elétrica e outros testes de vigor com emergência de plântulas de soja em campo**. Jaboticabal, 1995. 92 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.

- PARMAR, M.T., MOORE, R.P. Carbowax 6000, Mannitol and Sodium Chloride for simulating drought conditions in germination studies of corn (*Zea mays* L.) of strong and weak vigour. **Agronomy Journal**, Madison, v.60, n.1, p.192-195, 1968.
- PARRISH, D.J., LEOPOLD, A.C. On the mechanism of ageing in soybean seeds. **Plant Physiology**, v. 61, p. 365-368, 1978.
- PAULILO, M.T.S. Efeito do ácido giberélico e 6-benziladenina na utilização das reservas da semente de *Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca, 1980. 105p. (Mestrado – Universidade Estadual de Campinas).
- PENARIOL, A.L. **Efeito do teor de água de sementes de soja sobre os resultados do teste de condutividade elétrica**. Jaboticabal, 1997. 73p. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias.
- PEREIRA, L.A.G. Umidade de compactação do solo: efeitos na germinação da soja. **Tecnologia de Sementes**. Pelotas, v. 5, n. 1/2, p. 17-26, 1982.
- PEREZ, S.C.J.G.A., MORAES, J.A.P.V. de Influência do estresse hídrico e do pH no processo germinativo da algarobeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 26, n. 7, p. 981-988, 1991.
- PESKE, S.T. **Germination and emergence of soybean seeds as related to moisture stress**. Mississippi: Mississippi State University, 1983. 81 p. Tese (PhD in the Department of Agronomy).
- PESKE, S.T., DELOUCHE, J.C. Semeadura de soja em condições de baixa umidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.20, n.1, p.69-85, 1985.
- PHILLIPS, R.E. Water diffusivity of germinating soybean, corn and cotton seed. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, n. 5, p. 568-571, 1968.
- POLLOCK, B.M., ROOS, E.R., MANOLO, J.R. Vigor of garden bean seeds and seedlings influence by initial seed moisture, substrate oxygen and imbibition temperature. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 94, n.5, p. 577-584, 1969.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da Semente**. Brasília, Ministério da Agricultura, AGIPLAN, 1977.
- POWELL, A.A. Cell membranes and seed leachate conductivity in relation to the quality of seed for sowing. **J. Seed Technol.**, Springfield, v. 10, n. 2, p. 81-100, 1986.
- POWELL, A.A., MATTHEWS, S. The damaging effect of water on dry pea embryos during imbibition. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 19, n. 112, p. 1215-1229, 1978.



- POWELL, A.A., MATTHEWS, S. The influence of testa condition on the imbibition and vigor of pea seeds. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 30, n. 114, p. 193-197, 1979.
- POWELL, A.A., MATTHEWS, S. Association of phospholipid changes with early stages of seed ageing. **Ann. Bot.**, London, v. 47, n. 5, p. 709-712, 1981.
- PRESLEY, J.T. Relation of protoplast permeability to cotton seed viability and predisposition to seedling disease. **Pl. Dis. Rept.**, v. 42, n. 7, p. 852, 1958.
- PRISCO, J.T., O'LEARY, J.W. Osmotic and "toxic" effects of salinity on germination of *Phaseolu vulgaris* L. seeds. **Turrialba**, San José, v.20, n.2, p.177-184, 1970.
- QUEIROZ, L.R., GIÚDICE, M.P.D., RUIZ, H.A. Efeito da umidade do solo sobre a emergência de plântulas de soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 9, 1992, Jaboticabal. **Resumos...** p. 119.
- ROBERTS, E.H. Citological, genetical and metabolic changes associated with loss of viability. In: ROBERTS, E.H. (Ed.). **Viability of seeds**. London: Chapman & Hall, 1972. p. 253-306.
- ROSSETTO, C.A.V., NOVENBRE, A.D. da L.C., MARCOS FILHO, J., SILVA, W.R., NAKAGAWA, J. Efeito da disponibilidade hídrica do substrato, da qualidade fisiológica e do teor de água inicial das sementes de soja no processo de germinação. **Sci. Agric.** Piracicaba, v.54, n.1/2, p.89-96, 1997.
- ROUSSEAU, J.D. Efeito do tratamento de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com fungicidas em relação a sua qualidade fisiológica. **Tecnologia de Sementes**, Pelotas, v.3, n.1, p.49-50, 1977.
- SÁ, M.E. de **Relações entre qualidade fisiológica e disponibilidade hídrica e desempenho de sementes de soja** (*Glycine max* (L.) Merrill). Piracicaba: ESALQ-USP. 1987. 147 p. Tese (Doutorado em Agronomia).
- SALISBURY, F.B, ROSS, C.W. Plant physiology. 3.ed. Belmonte, Wadsworth, 1985. 540p.
- SAMSHERY, R., BANERJI, D. Some Biochemical changes accompanying loss of seed viability. In: Seed abstracts, v.6, n.3, p.202, 1979.
- SANTOS, V.L.M., CALIL, A.C., RUIZ, H.A., ALVARENGA, E.M., SANTOS, C.M.. Efeito do estresse salino e hídrico na germinação e vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.14, n.2, p. 189-194, 1992.

- SEONG, R.C., CHUNG, H.J., HONG, E.H. Varietal responses of soybean germination and seedling elongation to temperature and polyethylene glycol solution. **Korean Journal of Crop Science**, Seoul, v. 33, n. 1, p. 31-37, 1988.
- SHARMA, M.L. Simulation of drought and its effect on germination of five pasture species. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 982-987, 1973.
- SHIOGA, P.S. **Controle da hidratação e desempenho das sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1990. 106p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia).
- SILVA, W.R. da **Relações entre disponibilidade de água, tratamento fungicida e germinação de sementes de milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1989. 113 p. Tese. (Doutorado em Agronomia).
- SIMON, E.W. Phospholipids and plant membrane permeability. **New Phytol.**, Oxford, v. 73, n. 3, p. 377-420, 1974.
- SIMON, E.W., MATHAVAN, S. The time-course of leakage from imbibing seeds of different species. **Seed Sci. & Technol.**, Zurich, v. 14, n. 1, p. 9-13, 1986.
- SIMON, E.W., RAJA HARUN, R.M., Leakage during seed imbibition. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 23, n. 77, p. 1076-1085, 1972.
- SIMON, E.W., WIEBE, H.H. Leakage during imbibition resistance to damage at low temperature and the water content of peas. **New Phytol.**, Oxford, v. 74, n.3, p. 407-11, 1975.
- SMITH, A.R., NASH, A.M. Water absorption of soybean. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v. 38, n. 3, p. 120-123, 1961.
- SOUZA, B.H., MINOR, H.C. Relação entre poder germinativo de sementes de soja e sua produtividade. In: ATA da 2a. Reunião Conjunta de Pesquisa de Soja RS/SC. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Agronômicas, p.122, 1974.
- STOECKENIUS, M. Some electromicroscopical observations on liquid-cristalline phases in lipid-water systems. **J. Cell Biol.**, New York, v. 12, n. 2, p. 221-229, 1962.
- TAO, J.K. Factor causing variations in the conductivity test for soybean seeds. **J. Seed Technol.**, Springfield, v. 3, n. 1, p. 10-18, 1978.
- TAO, J.K. The 1978 referee test for soybean and corn. **AOSA Newsletter**, v.32, n.4, p.43-66, 1978.
- TAO, J.K. The 1980 referee test for soybean and corn. **AOSA Newsletter**, v.54, n.3, p.53-68, 1980.

- TEKRONY, D.M., EGLI, D.B. Relationship between laboratory indices of soybean seed vigour and field emergence. **Crop Science**, Madison, v.17, p.573-577, 1977.
- THILL, D.C., SCHIMMAN, R.D., APPLEBY, A.P. Osmotic stability of mannitol and polyethylene glycol 2000 solutions used as seed germination media. **Agronomy Journal**, Madison, v. 71, p. 105-108, 1979.
- TOLEDO, F.F., MARCOS FILHO, J. **Manual das Sementes. Tecnologia da Produção**. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 1977, 224 p.
- TORRES, S.B. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo através do teste de estresse hídrico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 31-35, 1997.
- WATT, L.A. Germination characteristics of several grass species as affected by limiting water potencial imposed through a cracking black clay soil. **Aust. J. Agric. Res.**, Melbourne, n. 33, p. 223-31, 1982.
- WOODSTOCK, L.W., TAYLORSON, K.L.J. Prevention of imbibitional injury in low vigor soybean embrionic axes by osmotic control of water uptake. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 51, n. 1, p. 133-139, 1981.
- WYATT, J.E. Seed coat and water absorption properties of seed of near-isogenic snap bean lines differing in seedcoat color. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, St. Joseph, v. 102, n.4, p. 478-480, 1977.
- VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica. In: VIEIRA, R.D., CARVALHO, N.M. (Ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 103-132.
- VILLERS, T.A. Ageing and the longevity of seeds in field conditions. In: HEYDECHER, W. (Ed.) **Seed Ecology**. [S.l.]: Pensilvania State University, 1972. p.256-288.
- YAKLICH, R.W., KULIK, M.M., ANDERSON, J.D. Evaluation of vigor tests in soybean seeds: Relationship of ATP, conductivity, and radioactive tracer multiple criteria laboratory tests to field performance. **Crop Sci.**, Madison, v. 19, n. 6, p. 806-810, 1979.
- YOUNG, J.A., EVANS, R.A., ROUNDY, B. GREG, C. **Moisture stress and seed germination**. Washington, USDA, 1983. 40 p. (Agricultural Research Service, 36).



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AV. BRASIL, 56 - CAIXA POSTAL 31
15385-000 - ILHA SOLTEIRA - SP

