

[REDACTED]

EFEITOS DE DIFERENTES POTENCIAIS OSMÓTICOS NA GERMINAÇÃO E  
CRESCIMENTO DO ARROZ (Oryza sativa, L.)

[REDACTED]

IVANDIR SOARES CAMPOS

[REDACTED]

---

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO  
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO  
FITOTECNIA, COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

[REDACTED]

FORTALEZA -- 1986

Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Agronomia com Área de Concentração em Fitotecnia, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

---

Ivandir Soares Campos

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 21/03/86

---

Prof. Marcos Vinícius Assunção. Ph.D.  
Orientador

---

Prof. Luiz Gonzaga R. Ferreira, Ph.D.  
Conselheiro

---

Prof. Francisco Ivaldo O. Melo, M.S.  
Conselheiro

---

Prof. Fanuel Pereira da Silva, Ph.D.  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

À minha esposa e filhos pelo apoio,  
incentivo, compreensão e confiança  
na minha capacidade.

Aos meus pais e irmãos pela minha  
formação moral e incentivo.

DEDICO.



## AGRADECIMENTOS

À DEUS, que em momento algum deixou de me conceder forças e serenidade para concluir este trabalho.

À EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA e UNIDADE DE EXPERIMENTAÇÃO E PESQUISA DE ÂMBITO ESTADUAL - UEPAE, de Rio Branco, Acre, pela oportunidade de participar deste curso e pelo apoio financeiro.

À COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR - CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia com Área de Concentração em Fitotecnia e aos professores do Departamento de Fitotecnia pelos ensinamentos e elevado espírito de cooperação.

Ao Professor MARCOS VINÍCIUS ASSUNÇÃO pela segura e sábia orientação, amizade e apoio, indispensáveis à realização desta dissertação.

Ao Professor LUIZ GONZAGA REBOUÇAS FERREIRA, pela participação e orientação neste trabalho.

Ao Professor FRANCISCO IVALDO OLIVEIRA MELO, pela colaboração, orientação e amizade.

À EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO CEARÁ - EPACE, nas pessoas do seu Presidente Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> EDGAR M. CAVALCANTE, Diretor Técnico Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> FRANCISCO HÉLIO F. MACHADO e Pesquisadores: PAULO CESAR E. FROTA, FERNANDO GEORGE SILVEIRA FRANCO, ALEXANDRE REINALDO DA SILVA C. LIMA, SIMÃO MARTINS DE S. TORRES, RAIMUNDO NONATO DE LIMA, FRANCISCO FÁBIO DE A. PAIVA; bibliotecárias e funcionários do Setor Gráfico, pela colaboração.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação pelo companheirismo, amizade e saudável convivência.

Aos técnicos do Laboratório de Tecnologia de Semen-



tes e do Laboratório de Solo-Água-Planta pela valiosa colabo  
ração.

À todos aqueles que direta ou indiretamente contri-  
buiram para a concretização deste trabalho, especialmente,  
FRANCISCO DAS CHAGAS A. PAZ, ANALÚCIA SOARES DE SÁ LEITÃO A.  
PAZ, KENARD TORRES SOARES, ANTONIO N. MAGALHÃES, FRANCISCO  
DE A. CASTRO, JOSÉ EYMARD DE L. MESQUITA, PAULO HIDEO N.  
RANGEL, PAULO MOREIRA, WALMIKE FRANCISCO DA SILVA, ABELARDO  
RIBEIRO DE AZEVEDO, DIVONE RAMOS DE SOUZA, MARIA ELMA DE CAR-  
VALHO e FCA WILLA DE SOUSA DA SILVA:

## SUMÁRIO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u> .....	x
<u>LISTA DE FIGURAS</u> .....	xiv
<u>ABREVIATURAS E DEFINIÇÕES</u> .....	xv
<u>RESUMO</u> .....	xvi
<u>ABSTRACT</u> .....	xvii
1 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	01
2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u> .....	03
2.1 - <u>Considerações Gerais Sobre Salinidade</u> .....	03
2.1.1 - Mecanismos dos Efeitos Salinos .....	04
2.1.1.1 - Efeitos Osmóticos .....	04
2.1.1.2 - Efeitos de Íons Específicos .....	05
2.1.1.3 - Efeitos Tóxicos .....	06
2.1.1.3.1 - Cloro .....	06
2.1.1.3.2 - Sódio .....	07
2.1.2 - Mecanismo de Tolerância de Plantas à Salinida- dade .....	07
2.2 - <u>Efeitos do NaCl e Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> na Germinação e Vigor de Plântulas</u> .....	09
2.3 - <u>Efeitos de Substâncias não Eletrolíticas na Ger- minação e Vigor de Plântulas</u> .....	14
2.4 - <u>Alterações Fisiológicas Induzidas pela Salinida- de</u> .....	16
2.4.1 - Efeitos Salinos no Crescimento e Desenvolvi-	

mento das Plantas .....	16
2.4.2 - Modificações Metabólicas Resultantes da Ação dos Sais .....	20
2.4.3 - Alterações na Composição Mineral Induzidas pela Salinidade .....	22
3 - <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u> .....	25
3.1 - <u>Experimento I</u> .....	25
3.1.1 - Procedimento Experimental .....	25
3.1.2 - Avaliações e Metodologia .....	26
3.1.2.1 - Teste de Germinação .....	26
3.1.2.2 - Teste de Vigor .....	27
3.1.3 - Procedimento Estatístico .....	27
3.2 - <u>Experimento II</u> .....	28
3.2.1 - Procedimento Experimental .....	28
3.2.2 - Avaliações e Metodologia .....	29
3.2.2.1 - Germinação .....	29
3.2.2.2 - Vigor .....	29
3.2.2.3 - Relação Raiz/Parte Aérea .....	30
3.2.3 - Procedimento Estatístico .....	30
3.3 - <u>Experimento III</u> .....	30
3.3.1 - Procedimento Experimental .....	30
3.3.2 - Avaliações e Metodologia .....	32
3.3.2.1 - Peso da Matéria Seca .....	32
3.3.2.2 - Volume da Raiz .....	32
3.3.2.3 - Comprimento Total das Raízes .....	32
3.3.2.4 - Numero Total de Perfilhos .....	33
3.3.2.5 - Transpiração .....	33
3.3.2.6 - Potencial Hídrico .....	33
3.3.2.7 - Teor de Proteínas .....	34
3.3.2.8 - Teor de Lipídios .....	34
3.3.2.9 - Teor Total de Clorofila .....	34
3.3.2.10 - Composição Mineral .....	35
3.3.3 - Procedimento Estatístico .....	35
4 - <u>RESULTADOS</u> .....	36
4.1 - <u>Experimento I</u> .....	36



4.1.1 - Germinação .....	36
4.1.2 - Plântulas Anormais .....	40
4.1.3 - Sementes Não Germinadas .....	42
4.1.4 - Comprimento Médio da Parte Aérea .....	42
4.1.5 - Comprimento Médio da Raiz .....	45
4.1.6 - Peso Médio da Matéria Seca da Parte Aérea ..	45
4.1.7 - Peso Médio da Matéria Seca da Raiz .....	48
4.1.8 - Relação Raiz/Parte Aérea .....	50
4.2 - <u>Experimento II</u> .....	50
4.2.1 - Germinação .....	54
4.2.2 - Plântulas Anormais e Sementes não Germinadas .....	54
4.2.3 - Comprimento da Parte Aérea .....	57
4.2.4 - Comprimento da Raiz .....	57
4.2.5 - Peso da Matéria Seca da Parte Aérea .....	59
4.2.6 - Peso da Matéria Seca da Raiz .....	59
4.2.7 - Relação Raiz/Parte Aérea (Matéria Seca) ....	60
4.3 - <u>Experimento III</u> .....	62
4.3.1 - Peso da Matéria Seca da Lâmina Foliar .....	66
4.3.2 - Peso da Matéria Seca da Parte Aérea .....	66
4.3.3 - Peso da Matéria Seca das Raízes .....	68
4.3.4 - Peso da Matéria Seca Total .....	71
4.3.5 - Relação Entre a Matéria Seca da Raiz/Parte Aérea .....	71
4.3.6 - Volume da Raiz .....	73
4.3.7 - Comprimento da Raiz .....	76
4.3.8 - Número de Perfilhos Por Planta .....	76
4.3.9 - Transpiração .....	78
4.3.10 - Composição Mineral .....	80
4.3.10.1 - Nitrogênio .....	80
4.3.10.2 - Fósforo .....	80
4.3.10.3 - Potássio .....	83
4.3.10.4 - Cálcio .....	84
4.3.10.5 - Sódio .....	84
4.3.11 - Determinação do Potencial Hídrico e dos Teores de Clorofila, Lipídios e Proteínas ....	85

5 - <u>DISCUSSÃO</u> .....	87
5.1 - <u>Germinação e Crescimento das Plântulas Sob Es-</u> <u>tresse Salino e Hídrico</u> .....	87
5.2 - <u>Efeitos do NaCl Sobre o Crescimento da Culti-</u> <u>var IAC 25</u> .....	93
6 - <u>CONCLUSÕES</u> .....	100
7 - <u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	104

## LISTA DE TABELAS

### TABELA

### Página

- |   |                                                                                                                                                                                                                       |    |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Análises de variâncias para efeitos de diferentes potenciais osmóticos sobre a porcentagem de germinação, plântulas anormais e sementes não germinadas de sete cultivares de arroz .....                              | 37 |
| 2 | Análises de variâncias para efeitos de diferentes potenciais osmóticos sobre o comprimento da parte aérea e da raiz, peso da matéria seca da parte aérea e da raiz e relação raiz/parte aérea de cultivares de arroz. | 38 |
| 3 | Porcentagem média de germinação de cultivares de arroz sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada .....                                                                                             | 39 |
| 4 | Porcentagem média de plântulas anormais de cultivares de arroz após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada .....                                                                     | 41 |
| 5 | Porcentagem média de sementes não germinadas de cultivares de arroz após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada .....                                                                | 43 |
| 6 | Comprimento médio (cm) da parte aérea de cultivares de arroz após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada .....                                                                       | 44 |
| 7 | Comprimento médio (cm) da raiz de cultivares de arroz após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada...                                                                                 | 46 |



## TABELA

## Página

8	Peso médio (mg) da matéria seca da parte aérea de cultivares de arroz após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada .....	47
9	Peso médio (mg) da matéria seca da raiz de cultivares de arroz após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada .....	49
10	Relação entre o peso médio da matéria seca da raiz/parte aérea, de cultivares de arroz após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada .....	51
11	Análise de variância para efeitos do NaCl, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ e PEG 6000 sobre o valor médio da porcentagem de germinação, de plântulas anormais, de sementes não germinadas, comprimento da parte aérea e da raiz da cultivar de arroz IAC 25 .....	52
12	Análises de variância para efeitos do NaCl, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ e PEG 6000 sobre as médias do peso da matéria seca da parte aérea, da raiz e da relação raiz/parte aérea da cultivar de arroz IAC 25 .....	53
13	Efeitos do NaCl, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ e PEG 6000 na germinação (porcentagem de plântulas anormais) de sementes da cultivar de arroz IAC 25 .....	55
14	Efeitos do NaCl, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ e PEG 6000 na porcentagem de plântulas anormais e de sementes não germinados da cultivar de arroz IAC 25 .	56
15	Efeitos do NaCl, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ e PEG 6000 no comprimento da parte aérea e da raiz de plântulas da cultivar de arroz IAC 25 .....	58

## TABELA

## Página

16	Efeitos do NaCl, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> e PEG 6000 no peso da matéria seca da parte aérea, da raiz e na relação raiz/parte aérea de plântulas da cultivar de arroz IAC 25 .....	61
17	Análises de variâncias para efeitos de diferentes concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre o peso da matéria seca da lâmina foliar, da parte aérea, da raiz, o peso seco total e a relação raiz/parte aérea da cultivar de arroz IAC 25 .....	63
18	Análises de variâncias para efeitos de diferentes concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre o volume da raiz, o comprimento total da raiz, número de perfilhos por planta e transpiração da cultivar de arroz IAC 25 .....	64
19	Efeitos de diferentes níveis de NaCl em solução nutritiva sobre o peso da matéria seca da lâmina foliar, da parte aérea, da raiz, peso seco total e relação raiz/parte aérea, volume da raiz, comprimento da raiz, número de perfilhos por planta e transpiração da cultivar de arroz IAC 25. Dados médios de 5 plantas durante a fase vegetativa (43 dias de idade) .....	65
20	Efeitos de níveis de NaCl sobre a composição mineral (%) da parte aérea de plantas da cultivar de arroz IAC 25 .....	82
21	Efeitos de níveis de NaCl sobre a composição mineral (%) da raiz de plantas da cultivar de arroz IAC 25 .....	82

## TABELA

## Página

22	Efeitos dos níveis de NaCl sobre os valores do potencial hídrico e os teores de <u>clorofila</u> , <u>lipídios</u> , <u>proteínas</u> de folhas da <u>cultivar</u> de arroz IAC 25 .....	86
----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a matéria seca da lâmina foliar .....	67
2	Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a matéria seca da parte aérea .....	69
3	Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a matéria seca da raiz ....	70
4	Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a matéria seca total .....	72
5	Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a relação raiz/parte aérea.	74
6	Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre o volume da raiz .....	75
7	Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre o comprimento da raiz .....	77
8	Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre o número de perfilhos por planta .....	78
9	Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a transpiração .....	81

## ABREVIATURAS E DEFINIÇÕES

atm	-	atmosfera
Ca	-	cálcio
cm	-	centímetro
Cl	-	cloro
C.V.	-	coeficiente de variação
g	-	grama
K	-	potássio
ml	-	milímetro
mmhos/cm	-	milimhos/centímetro; unidade de condutividade elétrica
MPa	-	megapascal (1 MPa = 10 bar = 9,87 atm $\approx$ 2,9mmhos/cm)
N	-	nitrogênio
Na	-	sódio
NaCl	-	cloreto de sódio
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	sulfato de sódio
NH <sub>4</sub>	-	amonium
P	-	fósforo
PEG	-	polietileno glicol
s.d	-	sem data
vs	-	versus
Ψs	-	potencial osmótico

## RESUMO

Três experimentos foram conduzidos para estudar os efeitos deletérios da salinidade sobre a germinação, vigor e crescimento de diferentes cultivares de arroz. Nos dois primeiros experimentos, NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e polietileno glicol 6000 (PEG 6000) foram usados como substratos osmóticos para preparar soluções com -0,4, -0,8 e -1,2 MPa de potencial osmótico, no estudo da germinação e vigor de cultivares de arroz. As cultivares IAC 25, IAC 47 e CNA 796019 foram as mais tolerantes enquanto a IAC 165 foi a mais sensível à salinidade durante a germinação e primeira fase de crescimento. A germinação foi mais afetada pelos sais enquanto o PEG 6000 induziu grande redução na parte aérea. Para todas as cultivares, o NaCl foi mais efetivo na redução do crescimento da parte aérea do que o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. No terceiro experimento foi estudado o crescimento vegetativo, composição mineral e respostas fisiológicas da cultivar IAC 25 em solução nutritiva com diferentes níveis de salinidade induzidos pelo NaCl (-0,4, -0,8 e -1,2 MPa) sob condições de casa de vegetação. As amostras foram coletadas quando as plantas tinham 43 dias de idade. Aumento no nível de salinidade na solução nutritiva induziu redução significativa no crescimento. O peso da matéria seca, relação raiz/parte aérea, volume e comprimento da raiz, transpiração e número de perfilhos por planta decresceram com o aumento da concentração salina. O potencial hídrico e os teores de clorofila, proteína e lipídios foram também reduzidos. Entretanto, as análises dos elementos minerais indicaram pequenas reduções nos teores de nitrogênio, fósforo e potássio. O conteúdo de sódio mostrou um grande acréscimo quando o nível salino aumentou na solução nutritiva.



## ABSTRACT

Three experiments were conducted to study the deleterious effects of salinity on germination, vigor and growth of different rice cultivars. In the first two experiments NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and polyethylene glycol 6000 (PEG 6000) were used as osmotic substrates to prepare aqueous solutions having -0,4, -0,8 and -1,2 MPa of osmotic potential in the study of responses on rice cultivars. Cultivars IAC 25, IAC 47 and CNA 796019 were the most tolerant while IAC 165 was the most sensitive to salinity during germination and early phases of growth. Germination was more affected by salts while PEG 6000 induced greater reduction on shoot growth. For all rice cultivars NaCl was more effective in reducing shoot growth than Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. In the third experiment was studied the vegetative growth, mineral composition and physiological responses of rice cultivar IAC 25 on nutrient solution with different levels of induced salinity by NaCl (-0,4, -0,8 and -1,2 MPa) under greenhouse conditions. Samples were collected when plants were 43 days old. Increase in the level of salinity on nutrient solution induced significant reduction on growth. Dry weight, root/shoot ratio, root volume and root length, transpiration and number of tillers/plant decreased as level of salinity increased. Water potential and the amounts of chlorophyll, protein and lipids were also heavily reduced. However, analysis of mineral elements indicated small reduction on the amount of nitrogen, phosphorus and potassium. The amount of sodium showed a great increase when the level of salinity was raised in the nutrient solution.

## 1 - INTRODUÇÃO

O arroz é um componente básico da alimentação do povo brasileiro. Este cereal é cultivado em todos os Estados do Brasil sob diferentes condições de clima, solo e técnicas de manejo, com níveis de produtividade que variam de aproximadamente, 600 a 4000 kg/ha, de acordo com o nível tecnológico e sistema de cultivo utilizado (Anuário Estatístico do Brasil, 1983, 1984). É considerada a segunda cultura de maior risco do Brasil, segundo constatação do Banco Central, uma vez que a estrutura de produção existente no País, se apoia predominantemente no cultivo de sequeiro, passível de estiagens prolongadas, comprometedoras das produções (CAMPOS, 1981).

O cultivo do arroz quando realizado com o emprego de irrigação controlada e utilização de elevada tecnologia, induz maiores rendimentos por unidade de área, um produto de melhor qualidade e riscos mínimos de perdas. Todavia, a ocorrência de salinização dos solos sob sistemas irrigados, podem tornar impraticável a continuação do cultivo em muitas áreas, principalmente na Região Nordeste, onde segundo GOES (1978) cerca de 20 a 25% das áreas irrigadas se encontram salinizadas.

Na Califórnia, por exemplo, onde a irrigação foi introduzida por volta da segunda metade do século vinte, problemas de salinidade têm também prejudicado a agricultura naquela região (KELLEY & NYE, 1984). Em 1982, os prejuízos atribuídos à salinidade nos Estados Unidos, principalmente na Califórnia, foram avaliados em 113 milhões de dólares anuais estando previsto para o ano 2000, valores superiores à 250 milhões de dólares por ano (HOLBURT, 1981). Para os técnicos em irrigação, altas concentrações de sais diminuem as produções, altera os padrões das culturas, aumenta a lixiviação e necessidade de drenagem aumentando, conse-



sequentemente, os custos de manejo de água.

Solos salinos e sódicos ocorrem naturalmente em regiões áridas e semi-áridas onde, com o aumento das reservas hídricas, mais terras são incorporadas aos cultivos irrigados expandindo-se também o problema da salinidade (BACKLUND & HOPPEs, 1984).

Nas zonas semi-áridas do Nordeste do Brasil devido a irregularidade no seu regime pluviométrico, se faz necessário o emprego do cultivo irrigado, principalmente da cultura do arroz, com as devidas precauções para evitar o agravamento dos problemas de salinidade ora existentes.

Para STROGONOV (1964), a recuperação dos solos salinos é uma prática muito dispendiosa, cuja viabilidade econômica, em muitos casos, torna impraticável sua realização. No entanto, ALPHEN (1983), efetuando trabalho com arroz em solo salinizado, obteve rendimento de 4.800 e 5.800 kg/ha, utilizando a cultivar "Naylamp" tolerante à salinidade, o que demonstrou a viabilidade econômica de utilização destes solos, uma vez que, produtividade desta ordem, a partir do segundo ano de cultivo, inevitavelmente serão rentáveis, mesmo com os gastos para diminuição do nível de salinidade.

Considerando a expansão da problemática da salinização dos solos das regiões semi-áridas do Brasil, de seu aproveitamento na orizicultura e a hipótese de que as cultivares selecionadas para este estudo apresentem diferentes graus de tolerância à salinidade é que este trabalho foi executado. Ele objetivou estudar o grau de tolerância de diversas cultivares de arroz ao NaCl e  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  na fase de germinação, comparar os efeitos salinos do NaCl e  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  com as condições de estresse hídrico, simuladas com Polietileno Glicol 6000, na germinação e vigor de plântulas de arroz. Ele visou também analisar os efeitos do NaCl na fase vegetativa da cultivar de arroz IAC 25 com o intuito de fornecer subsídios para programas de melhoramento.



## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - Considerações Gerais Sobre Salinidade

Salinidade é uma condição de solo que ocorre, principalmente, em regiões semi-áridas onde a deficiente precipitação pluviométrica não lixivia o excesso de sais da camada de solo explorada pelas culturas. Esse acúmulo de sais na zona de concentração radicular, pelo processo evaporativo, é comum em cultivos irrigados de drenagem deficiente (BERNSTEIN, 1975; MORA, 1975).

Segundo PIZARRO (1978), o cloreto de sódio juntamente com os sulfatos de sódio e magnésio são os sais mais frequentemente encontrados em solos salinos. Apresenta uma toxicidade bastante elevada para as plantas, bem como é de grande solubilidade (318 g/l). A toxicidade do NaCl é tão elevada, que uma concentração de 2-5% torna o solo improdutivo.

O termo salino, segundo VELÁSQUEZ (1981), se aplica a solos cuja condutividade elétrica do extrato de saturação é maior do que 4 mmhos/cm, a 25°C, com uma porcentagem de sódio intercambiável menor do que 15.

Plantas adversamente afetadas pela salinidade crescem mais lentamente e são, por essa razão, atrofiadas. As folhas são menores, mas podem ser mais espessas do que de plantas normais, tendo o cloro a capacidade de aumentar o comprimento das células palissádicas, proporcionando suculência (STROGO NOV, 1964). Segundo BERNSTEIN & HAYWARD (1958) a coloração das folhas das plantas afetadas, muitas vezes, apresenta-se de um verde mais escuro do que em plantas normais. Ocorre também o atrofiamento dos frutos, das folhas e dos caules. Estes sintomas são característicos de culturas anuais.

### 2.1.1 - Mecanismos dos Efeitos Salinos

Há duas escolas que procuram explicar a relativa importância dos efeitos osmóticos e de íons específicos. A "escala osmótica" alega que a maior parte dos efeitos salinos são ocasionados pela diminuição do potencial osmótico do meio salino da raiz (BERNSTEIN & HAYWARD, 1958), enquanto que, a outra escola considera que, os efeitos da salinidade são mais em razão da ação específica de íons específicos ou individuais (STROGO NOV, 1964).

#### 2.1.1.1 - Efeitos Osmóticos

Segundo BERNSTEIN (1975), efeitos osmóticos podem ser ditos predominar, quando o crescimento está relacionado com o potencial osmótico do meio da raiz contendo diferentes sais ou combinações de sais. Quando concentrações isosmóticas de sais simples são adicionados a uma solução nutritiva, o crescimento pode ser afetado de maneiras completamente diferentes. Por isto, cloreto de cálcio é mais danoso para o feijão (Phaseolus vulgaris, L.) do que concentrações isosmóticas de cloreto de sódio. Plantas de feijão absorvem  $\text{Ca}^{++}$  a custa da absorção de  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{++}$ , resultando em desequilíbrio. Contrariamente, cloreto de cálcio é mais tolerado pelo milho (Zea mays, L.) do que concentrações isosmóticas de outros sais clorados. O milho pode não absorver quantidade nutricionalmente adequada de cálcio de uma solução nutritiva, exceto se os sais de cálcio adicionados contribuírem para o aumento da salinidade do meio. Salinidade nos campos geralmente é causada mais pela mistura de sais do que por um único sal.



### 2.1.1.2 - Efeitos de Íons Específicos

Em geral, há predominância dos cátions,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  e dos ânions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ , em proporções variáveis. Excessiva fertilização pode favorecer aumento na variedade de espécies iônicas presentes em excesso. O aumento de um dado íon, em dez vezes ou mais sobre sua concentração normal, em um solo não salino, pode provocar um ocasional de sequilíbrio nutricional. Em estudo de salinidade, especialmente com germinação, onde foram usadas soluções de um único sal, algum efeito específico provocado desapareceu quando se empregou uma solução salina mais balanceada (BERNSTEIN & HAYWARD, 1958).

BERNSTEIN & AYERS (1951, 1953) citados por BERNSTEIN & HAYWARD (1958) estudando tolerância ao sal em cenoura, observaram baixos rendimentos, a uma dada salinidade, para aquelas cultivares que tenderam acumular mais cálcio e menos potássio. Salinidade provocada pela adição de  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{NaCl}$  na água de irrigação, aumentou a absorção de  $\text{Ca}^{++}$  e prejudicou a absorção de  $\text{K}^+$ . Aquelas cultivares que, em solo não salino acumularam menos  $\text{K}^+$ , foram menos resistentes ao desequilíbrio nutricional induzido por estes tratamentos salinos.

Sob condições não salinas apenas traços de cloreto podem estã presentes e sua absorção pela planta será relativamente baixa. Em condições salinas, a presença de cloreto na solução do solo pode atingir 100 meq/l ou mais e sua acumulação nas folhas pode alcançar até 150 mg/100 g ou mais. No entanto, este grande aumento de cloreto na concentração externa e na quantidade absorvida não exerce efeito marcante sobre a absorção dos ânions essenciais, fosfato, nitrato e sulfato. (BERNSTEIN & HAYWARD, 1958).

GAUCH & WADLEIGH (1955), citados por BERNSTEIN & HAYWARD (1958), observaram uma depressão na concentração de N total, em plantas de soja, quando elevadas concentrações de  $\text{NaCl}$  ou  $\text{CaCl}_2$  foram adicionadas ao cultivo em solução nutri-



tiva. Uma pequena queda na absorção de N, pode não ser refletida nos tratamentos se a taxa de crescimento é reduzida por alta pressão osmótica.

#### 2.1.1.3 - Efeitos Tóxicos

Toxicidade aqui registrada se refere a inibição no crescimento ou função metabólica que esteja relacionada com o excessivo acúmulo de um íon específico. Às vezes torna-se difícil distinguir os efeitos tóxicos de efeitos de íons específicos. Alguns autores consideram todos efeitos de íon específico, como toxicidade. Absorção excessiva de Mg, associada à baixo suprimento de cálcio e potássio, pode inibir o crescimento devido à toxicidade de magnésio, a deficiência de cálcio ou potássio, o desequilíbrio catiônico ou uma combinação destes fatores. Parece melhor, considerar o efeito de magnésio e efeitos semelhantes de excesso de cálcio e potássio, como distúrbio nutricional do que toxicidade (BERNSTEIN & HAYWARD, 1958).

##### 2.1.1.3.1 - Cloro

Excessivo acúmulo de cloro causa sintomas característicos nas folhas e diminuição no número de frutos por planta (BERNSTEIN & HAYWARD, 1958). Entretanto, folhas não injuriadas podem algumas vezes, ter um acúmulo de cloro maior do que folhas não danificadas de algumas espécies (HARPER, 1946; COOPER, 1951 e BROWN et alii, 1953), citados por BERNSTEIN, 1958). O mecanismo de toxicidade do cloro permanece desconhecido. A similaridade de acúmulo de cloro em que ocorrem injúrias em espécies sensíveis ao cloro, sugere que há um mecanismo comum e que estas espécies diferem qualitativamente das espécies não sensíveis (BERNSTEIN, 1958).

#### 2.1.1.3.2 - Sódio

São muitos os fatores envolvidos na resposta de plantas ao excesso de sódio: deterioração estrutural do solo sódico (fator indireto), efeitos tóxicos diretos sobre espécies sensíveis e efeitos nutricionais (BERNSTEIN & HAYWARD, 1958). Citações feitas por estes autores, reportam que o crescimento de plantas tolerantes ao sódio, pode ser inibido por condição física do solo sódico, que restringe a condutividade hidráulica, aeração e pode impedir fisicamente o alongamento da raiz e emergência da plântula. Culturas moderadamente tolerantes, como alfafa, cravo, capim dallis e grande parte das outras culturas podem exibir uma redução na capacidade de absorção bem como no crescimento total. Aumento nos níveis de sódio trocável no solo, resulta em decréscimo na absorção de cálcio, no conteúdo de outros elementos e atua na inibição do crescimento. Plantas que são mais sensíveis a sódio e exibem sintoma característico de queima, quando o acúmulo de sódio nas folhas torna-se excessivo, podem ser injuriadas em baixas concentrações de sódio trocável quando as condições físicas do solo tornam-se desfavoráveis.

#### 2.1.2 - Mecanismo de Tolerância de Plantas à Salinidade

As plantas são agrupadas em halófilas e glicófilas, de acordo com seus comportamentos com relação à salinidade. Esta distinção não é absoluta, visto que, espécies mudam de altamente tolerantes para muito sensíveis. LAUCHI & EPSTEIN (1984), descrevem estes tipos de plantas da seguinte maneira:

Halófitas - são plantas tolerantes ao sal, nativas de habitat salino. A maior parte das monocotiledôneas halófitas não é estimulada por baixo ou médio nível salino e o crescimento é lento a concentrações superiores a cerca de



10.000 mg/l (170 mM) de cloreto de sódio. Enquanto que, em algumas dicotiledôneas halófitas o crescimento é estimulado com o aumento de salinidade para cerca de 150.000 mg/l (250 mM) de cloreto de sódio. Níveis superiores a este reduzem o crescimento mesmo em plantas tolerantes. Plantas da família Chenopodiaceae usam o sal acumulado para ajustamento osmótico estabelecendo um gradiente favorável à absorção de água, mesmo com um baixo valor de potencial hídrico no solo. Neste tipo de ajustamento osmótico o sal acumulado é isolado no vacúolo das células da folha, conservando a concentração do sal no citoplasma e organelas a um nível baixo que não interfere nas funções de suas enzimas e complexos metabólicos. Esta compartimentalização é de suma importância para o desenvolvimento da planta em meio salino.

No citoplasma, o ajustamento osmótico é realizado, principalmente, por meio de substâncias dissolvidas, compatíveis com as enzimas e atividades metabólicas. Estes "solutos compatíveis" são compostos orgânicos, principalmente, compostos nitrogenados e em algumas plantas, alcôois de açúcar. Em adição, o K é mantido no citoplasma a uma concentração da ordem de 4.000 mg/l (100 mM). Para o ajustamento osmótico ser funcional, os potenciais osmóticos do citoplasma e vacúolo têm que ser iguais, mesmo que, os maiores solutos sejam distribuídos assimetricamente entre estes dois compartimentos da célula. Por isto, o tonoplasto (membrana que envolve o vacúolo) deve ter notável mecanismo de transporte para manter os gradientes de difusão de solutos. O ajustamento osmótico induzido pelo acúmulo de sais em halófitas mantém a turgescência necessária para ocorrência do crescimento.

Glicófitas - a este grupo pertencem a maioria das espécies cultivadas, as quais apresentam respostas que variam de muito sensíveis a moderadamente sensíveis à salinidade. Algumas glicófitas respondem a concentrações de sais relativamente baixas (inferiores a 6.000 mg/l ou 100 mM) por exclusão do sal, particularmente através do transporte líquido do sódio, do cloro ou ambos, da raiz para a parte aérea. Grande parte deste sal não pode ser excluído das glicófitas ocor



rendo diminuição na síntese de ácidos orgânicos e, consequentemente, ocasionando um decréscimo na turgescência. O tonoplasto das glicófitas sensíveis não tem mecanismo de transporte suficientemente ativo e, por esta razão não é capaz de manter os gradientes de soluto necessários para o ajustamento osmótico.

## 2.2 - Efeitos do NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> na Germinação e Vigor de Plântulas

Pesquisas desenvolvidas por HARRIS (1915) já identificavam, naquela época, os efeitos salinos no comportamento do trigo, milho, beterraba, alfafa, aveia e cevada. O autor observou que:

a) o período de germinação foi consideravelmente aumentado pela presença de sais solúveis no solo;

b) a toxicidade de sais solúveis no solo apresentou a seguinte ordem: cloreto de sódio, cloreto de cálcio, cloreto de potássio, nitrato de sódio, cloreto de magnésio, nitrato de potássio, nitrato de magnésio, carbonato de sódio, carbonato de potássio, sulfato de sódio, sulfato de potássio e sulfato de magnésio;

c) sais adicionados à solos no estado seco, não tiveram um efeito tão marcante como em culturas em soluções nutritivas.

Estudos realizados por UHVITS (1946) mostraram a possibilidade de que, em áreas de elevada ou moderada salinidade, os efeitos do sal sobre a germinação e crescimento de plântulas poderiam ser igual ou maior do que sobre o desenvolvimento das plantas (estádio de crescimento mais avançado). O seu trabalho sobre germinação de alfafa, em solução de NaCl e Manitol demonstrou que, quanto maior a concentração destes produtos, mais baixa era a porcentagem de germinação. Entretanto, na solução de NaCl houve um retardamento e mais



baixo percentual de germinação do que no Manitol, sob o mesmo potencial osmótico. Em solução com  $\Psi_s$  de 12 a 15 atm a germinação da alfafa foi praticamente inibida, havendo um aumento na mortalidade das plântulas de acordo com a elevação da concentração de NaCl.

Segundo AYRES (1952), a salinidade pode afetar a germinação tanto dificultando a absorção de água pelas sementes, como facilitando a entrada de íon  $\text{Na}^+$  a níveis tóxicos. Saliência ainda AYRES (1953), que uma boa germinação e emergência em meio salino, não é, necessariamente, um indicativo de que a cultivar também terá uma boa tolerância durante todo seu ciclo de vida. Da mesma forma, BERNSTEIN et alii (1955), comentam que a níveis salinos muito elevados as plântulas podem emergir normalmente. No entanto, seu crescimento subsequente pode ser prejudicado devido ao efeito residual do sal na zona do sistema radicular. Do mesmo modo, WIGGANS & GARDNER (1959) mostraram que solução salina de NaCl com uma concentração de 5 atm inibiu completamente a germinação e o crescimento da radícula. Por outro lado, GEORGE & WILLIAMS (1964) desenvolvendo trabalho em solução salina observaram redução de 50% na germinação de sementes de cevada (cultivar Mariout), Trifolium fragiferum (cultivar salina) e trevo ladino, com a redução dos potenciais osmóticos das soluções, ao nível de -8,5 atm na cevada, de -4,3 atm no Trifolium fragiferum e de -3,3 atm para o trevo. A maior tolerância da cevada à salinidade durante a germinação estava relacionada com a baixa taxa de respiração e uma maior capacidade de reserva de substrato respiratório. Estudando o comportamento germinativo de arroz, cultivares SR - 26B (tolerante ao sal) e Dular, sob diferentes potenciais osmóticos, GHILDYAL & JANAL (1966) observaram que soluções de potencial osmótico acima de 1000 milibares, praticamente não afetaram a germinação com o crescimento da plúmula e da radícula sendo normal, embora o aumento de potencial osmótico tenha implicado na diminuição da porcentagem de germinação e no retardamento da emergência.

Resultados de pesquisas realizadas por PEARSON



et alii (1966) indicaram que o crescimento do arroz tem relação com o estágio de desenvolvimento no qual a condição salina lhe é imposta e que a salinidade retarda a germinação, mas não reduz consideravelmente a porcentagem final de germinação. Observaram também que o arroz é menos tolerante a salinidade durante a fase inicial de crescimento, sendo que esta tolerância parece aumentar com a idade da planta e que há diferença entre o comportamento das cultivares em meio salino. As 14 variedades testadas apresentaram uma queda de 50% na germinação, medida uma semana após o plantio, em meio cuja condutividade elétrica da solução salina estava entre 21,2 a 30,5 mmhos/cm. O peso da matéria seca das plântulas foi também reduzido em 50% em média, mas para uma condutividade elétrica de 6,4 mmhos/cm. Por outro lado, VARADINOV (1967) observou que sementes de cultivares de sorgo ao germinarem em soluções salinas de NaCl e Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tiveram a sua germinação reduzida. A 1% esta redução foi maior do que a 0,5% e as soluções de NaCl reduziram mais do que Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Entretanto, TAILAKOV (1967) verificou que sementes de sorgo foram menos afetadas por vários tipos de sais, do que sementes de milho exceto com relação ao Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Solução de NaCl 0,4 M reduziu a germinação do sorgo de 79,1% com relação ao controle e 29,5% do milho. Concentrações mais baixas produziram poucos efeitos. Cultivares tiveram comportamento diferentes com relação aos sais e estas diferenças foram maiores para o milho do que para o sorgo.

Pesquisa desenvolvida por CHOUDHURI (1967), em casa de vegetação, envolvendo sementes de Agropyron spicatum, Artemisa tridentata, Typha latifolia, Elymus sinereus e Lepidium perfoliatum, de habitat salino e não salino, mostrou que uma redução na salinidade do solo foi um pré-requisito para a germinação de todas as espécies. A tolerância ao sal foi determinada mais pela osmoregulação durante o crescimento do que pela adaptabilidade à germinação. Um gradual aumento na salinidade do solo foi menos prejudicial a sobrevivência das plantas, do que um aumento abrupto da salinidade.



Trabalho desenvolvido por PETRASOVITS (1968) mostrou que em sementes de 16 espécies diferentes de milho, a porcentagem e velocidade de germinação decresceu com o aumento da concentração salina, e que a quantidade de água absorvida pelas sementes foi igualmente reduzida. O referido autor observou ainda que sementes provenientes de lotes demais baixo vigor, sentiram mais o efeito do aumento do potencial osmótico, e que este efeito afetou mais o alongamento da parte aérea do que da raiz. Entretanto, BHUMBLA et alii (1968) constatou que sementes de arroz postas para germinar em solução salina de condutividade elétrica igual a 8 mmhos/cm, após dez dias, apresentaram uma diminuição na germinação superior a 50%. No entanto, em contagem feita após vinte dias, a queda na germinação em 50% só foi observada sob condutividade elétrica de 12 mmhos/cm, o que demonstrou ser o arroz suficientemente tolerante à salinidade. Por outro lado, NARALE et alii (1969) realizando pesquisa sobre germinação de arroz em meio salino observou que a germinação pode ser uma função de efeitos osmóticos e ou efeitos tóxicos específicos. Este autor encontrou como valores críticos para germinação e crescimento vegetativo do arroz (cultivar Dular), 15,8 e 9,8 mmhos/cm, respectivamente.

PRISCO & O'LEARY (1970) trabalhando com feijão (Phaseolus vulgaris, L.) observaram que uma diminuição no potencial hídrico dos substratos provocava um decréscimo na absorção de água pelas sementes, que só foi estatisticamente significativa, de doze horas de embebição em diante, sob potencial de -8 bar ou inferior a este. Do mesmo modo, BARI et alii (1973), em pesquisa sobre germinação de arroz em meio salino, enfocaram os efeitos da concentração salina do meio sobre a absorção de água pela semente e seu consequente retardamento na germinação. Os resultados obtidos por estes pesquisadores, mostraram que o efeito do sal foi essencialmente osmótico, uma vez que, as sementes da solução 1,5% de uma mistura de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  e  $\text{NaHCO}_3$  na proporção 8:6:2:2:1 foram capazes de germinar quando transferidas para água destilada. Caso as sementes não germinassem, o efei



to seria tóxico. No entanto, CLARCK & WEST (1971), citados por BARI et alii (1973), comentaram que na ausência de uma outra razão plausível para explicar a diferença de comportamento de cultivares em meio salino, podia ser atribuída a diferenças genéticas. Por outro lado, pesquisa desenvolvida por SARIN & NARAYANAN (1968), citados por PRISCO et alii (1975), mostrou aparente inibição pelos sais da síntese e/ou atividade de enzimas hidrolíticas necessárias à germinação. Todavia, PRISCO et alii (1975) observaram que tanto o NaCl como o  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  inibiram o crescimento radicular em Sorghum bicolor e que esta inibição foi aumentada quando as sementes foram pré-embebidas com ácido giberélico (GA) ou benziladenina (BA). Segundo os autores, o crescimento das radículas aumentou quando foi elevado o nível destes hormônios na zona das raízes, visto que a translocação estava sendo inibida pelos sais. A inibição da translocação de hormônios pelos sais foi mais evidente sobre o crescimento da parte aérea. Neste caso, houve uma reversão parcial da inibição do crescimento com aplicação de GA.

Trabalho desenvolvido por DINIZ (1979) com germinação de sementes de algodão em meio salino mostrou que o número de plântulas anormais foi maior nos tratamentos com  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , do que naqueles com NaCl. Por outro lado, testes realizados por CLEMENS et alii (1983), com espécies de Casuarina (E. cristata Miq., C. cunninghamiana Miq., C. distyla Vent., C. inophloia F. Muell. & Bailey) mostraram completa inibição da germinação a 400 mM de NaCl. Entretanto, em baixa concentração salina houve grande variação nas respostas entre espécies.

Analisando os efeitos salinos do NaCl e  $\text{CaCl}_2$  sobre a germinação de cultivares de "Fescue", HORST & BEADLE (1984) observaram que a taxa média de germinação, com relação à porcentagem do tratamento controle, apresentou resultados decrescentes de acordo com aumento do nível salino. Por outro lado, SOARES (1985) trabalhando com sementes de algodão em meio salino observou inibição na germinação, tanto em solução de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  como de NaCl. Houve uma tendência generalizada



para aumento na ocorrência de plântulas anormais, com o aumento da concentração salina. O aparecimento de plântulas anormais foi maior nos tratamentos sob efeito do  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , sugerindo maior toxicidade deste sal. O efeito salino foi evidente também no crescimento de plântulas e peso da matéria seca.

### 2.3 - Efeitos de Substâncias não Eletrolíticas na Germinação e Vigor de Plântulas

Pesquisa realizada por UHVITS (1946) mostrou que a taxa de absorção de água por sementes de alfafa diminuiu com o aumento na concentração de manitol no substrato, resultando no retardamento da germinação. O autor comparando os efeitos produzidos pelas soluções de manitol e NaCl observou que uma maior porcentagem de germinação e um número mais baixo de plântulas anormais ocorreu no substrato contendo manitol em alta concentração do que em concentrações isosmóticas de NaCl. Do mesmo modo que o manitol, KHUDAIRI (1958) observou que soluções de açúcar de concentrações superiores a 1,5%, causaram inibição em sementes de Data-Palm (Phoenix dactylifera, L.). Soluções de NaCl e açúcar, com idênticos potenciais osmóticos causaram inibição na germinação, sendo que para a solução de açúcar a inibição foi maior. Domesmo modo, PETERFI & BRAUGOVITZKY (1965) estudando o efeito de polioximetileno glicol observaram que tremço branco e feijão fava, apresentaram boa germinação em concentrações inferiores a 0,3%, inclusive. A mostarda branca e o rabanete tiveram a germinação inibida a níveis acima de 0,01% e quase impedida a 0,3% ou mais. A cultivar Cluj 650 de trigo de inverno não germinou a 0,7% de polioximetileno glicol, enquanto a cultivar Cenad 117 apresentou baixa porcentagem de germinação em concentração de 1%.

Trabalho desenvolvido por PAINTER (1965), mantendo o solo em equilíbrio com solução de polietileno-glicol, ob-



servou que a taxa de crescimento no milho nestas condições foi inversamente proporcional ao estresse hídrico do solo, apresentando completa inibição a 8 atm de tensão. Utilizando também solução de polietileno glicol 6000 como substrato para germinação do milho, PARMAR & MOORE (1968) observaram um decréscimo na germinação com o aumento do potencial osmótico da solução, o qual foi também influenciado pelo vigor dos lotes de sementes. A redução da germinação foi maior em sementes com baixo vigor e o crescimento inicial das plântulas, caracterizado pelo desenvolvimento da raiz primária e parte aérea, diminuiu com o aumento do potencial osmótico da solução, variando proporcionalmente com o vigor do lote de sementes. Os efeitos do polietileno glicol 6000, manitol e NaCl sobre sementes de milho, estudadas por PARMAR & MOORE (1968), indicaram retardamento e redução de germinação e redução na quantidade de água absorvida, à medida que houve aumento no potencial osmótico. Neste caso, também foi observada a influência do vigor das sementes.

Comparando os efeitos do NaCl e polietileno glicol 1540, sobre a germinação de Phaseolus vulgaris, L., PRISCO & O'LEARY (1970) mostraram que o polietileno glicol a -8 bar inibiu mais a absorção de água do que o NaCl na mesma concentração e que a taxa de germinação foi reduzida igualmente, quando o potencial hídrico foi de -4 bar ou menos, tanto para substrato com NaCl como com polietileno glicol. No entanto, os efeitos comparativos entre o NaCl e o polietileno glicol, só foram mais significantes quando o potencial do substrato foi de -12 bar. Os autores encontraram igualmente, diferenças estatisticamente significantes para o crescimento da raiz e hipocótilo em substrato sob diferentes potenciais hídricos, com inibição do crescimento da raiz em solução de NaCl a -4 bar, sendo que, o polietileno glicol apresentou efeito inibitório para todos potenciais observados (de -2 a -16 bar).



## 2.4 - Alterações Fisiológicas Induzidas pela Salinidade

### 2.4.1 - Efeitos salinos no crescimento e desenvolvimento das plantas

Pesquisa desenvolvida por KAPP (1947) envolvendo aplicação de NaCl no arroz apresentou efeitos prejudiciais sobre a germinação, desenvolvimento vegetativo e produção de grãos. DESAI et alii (1957) observaram que o perfilhamento e o número de panículas de arroz declinaram progressivamente quando a concentração aumentou de 0,2% para 0,5%, provocando uma redução linear da produção. Eles afirmaram que o arroz pode tolerar um nível de até 0,2% de NaCl na água de irrigação. Entretanto, a concentração de 1% é fatal em época chuvosa, sendo que em época de verão, níveis superiores a 0,3% mostraram ser altamente tóxicos para a cultura.

Dados obtidos por PEARSON (1959), em casa de vegetação, indicaram que o desenvolvimento do arroz foi menos prejudicado pela salinidade na fase vegetativa do que na fase reprodutiva. Com relação ao desenvolvimento máximo obtido no controle, as plantas submetidas ao mais alto nível salino (16 mmhos/cm) apresentaram as seguintes reduções: 20% na altura das plantas, 45% no número de perfilhos férteis, 55% no peso da folha, 60% no número total de perfilhos, 70% no número de panículas, 75% no peso seco total, inclusive grãos e 95% no peso dos grãos trilhados. Para os dois tipos de solos onde foi desenvolvido o experimento ("China clay" e "Diablo clay leam") o período entre o semeio e emergência da panícula (fase vegetativa) aumentou progressivamente de 82 para 111 dias com o incremento do nível salino. O autor concluiu ainda que a evapotranspiração foi diretamente proporcional à quantidade de matéria seca produzida e que as plântulas mostraram-se muito sensíveis à salinidade na fase inicial do seu desenvolvimento e progressivamente menos sensíveis a partir da 3ª e 6ª semana. PEARSON (1959) também comprovou que as



plântulas de arroz são bastante sensíveis a salinidade no início do seu desenvolvimento, tornando-se progressivamente menos sensíveis com a evolução da planta, comprovando o resultado encontrado por BERNSTEIN (1961). De modo semelhante, PEARSON & BERNSTEIN (1959) desenvolvendo trabalho com arroz (cultivar caloro), em meio salino, obtiveram dados que comprovaram, mais uma vez, que a salinidade prejudicou mais o crescimento na sua fase inicial. Em igual condutividade elétrica, a salinidade, na fase de perfilhamento, inibiu duas vezes mais o crescimento do que no período de iniciação da panícula. Segundo HAYWARD & BERNSTEIN (1960) o arroz pode ser considerado moderadamente resistente à salinidade, com sensibilidade variando em função das cultivares e do estágio de desenvolvimento da planta.

Trabalhos desenvolvidos por DATA (1972) no qual foi observado o comportamento de vinte cultivares de arroz sob estresse salino, com níveis de 4,5; 12,5 e 15,5 mmhos/cm, mostrou que, independente da cultivar, o aumento da concentração salina provocou uma diminuição progressiva no crescimento das plantas. A 15,5 e 12,5 mmhos/cm foram observadas marcantes reduções no crescimento e produção, as quais foram diminuindo com o decréscimo do nível salino para 9,5 e 4,5 mmhos/cm. O autor não observou grande diferença na altura de plantas e número de perfilhos férteis, entre o nível salino mais baixo e o controle. No entanto, os resultados mostraram evidente diferença na capacidade de tolerância a oscilações na salinidade entre as diversas cultivares observadas.

Resultados obtidos por BARI et alii (1973) indicaram que a parte aérea foi mais tolerante a salinidade do que a raiz, contrariando os resultados encontrados por CHATTERTON & MCKELL (1969), citados por BARI et alii (1973), quando concluíram que o aumento da salinidade restringiu mais o crescimento da parte aérea do que da raiz. BARI et alii (1973), argumentaram que, o contato direto das raízes com a solução salina as tornam mais passíveis de serem afetadas. Por outro lado, AKBAR & YABUNO (1974) pesqui-



sando a tolerância salina de quatro cultivares de arroz (Bluebonnet, IR 8, Jhona 349 e Magnolia) observaram que o crescimento das quatro cultivares foi adversamente afetado com o aumento da concentração salina, com reduções significativas, no peso da matéria seca, comprimento de plântulas e raiz, ao nível salino de 3.000 ppm, indicando que plântulas de arroz são muito sensíveis à salinidade durante os primeiros estádios de crescimento. Experiências desenvolvidas com várias espécies indicam, igualmente, que pouca ou nenhuma relação existe entre habilidade para germinar sob alta condição salina e tolerância a salinidade nas fases posteriores à germinação (AYERS & HAYWARD, 1948; HAYWARD & WADLEIGH, 1949; MILLINGTON et alii, 1960; citados por AKBAR & YABUNO, 1974).

Resultados obtidos por HOFFMAN et alii (1971) mostraram que o peso das partes da planta em crescimento, área foliar e altura são essencialmente os mesmos para umidades relativas de 25%, 40% e 65% mas, são aproximadamente, 40% maiores a umidade relativa de 90%, indiferente da concentração salina. A umidade relativa afetou o crescimento da planta, principalmente, pela sua influência sobre o gradiente da pressão de vapor da superfície da folha, causando mudança na transpiração por unidade de área. Um aumento da transpiração pode induzir perda de turgescência, resultando no fechamento dos estômatos. Estes pesquisadores não observaram interação entre salinidade e umidade, sugerindo independência no mecanismo pelo qual cada um afeta o crescimento da planta. O aumento na resistência difusiva na folha com a diminuição acentuada da umidade relativa sugere que o maior efeito da umidade relativa sobre o crescimento da planta resultou das mudanças induzidas na abertura dos estômatos. Isto pode retardar a absorção de dióxido de carbono, resultando na diminuição de produção. Há possibilidade de que o precoce fechamento dos estômatos, induzido pelo estresse salino, tenha afetado o crescimento. No entanto, a resistência difusiva da folha não foi posteriormente significativamente aumentada pela salinidade. Por outro lado, FAGÉRIA et alii



(1981) estudando o desenvolvimento de cultivares de arroz em condições de salinização do meio, observaram uma redução no crescimento e no perfilhamento, uma coloração verde-escura nas folhas, com consequente aparecimento de áreas necrosadas e um secamento iniciado no ápice da folha, continuando pelas margens, com alguns casos de enrolamento da lâmina foliar. Houve diferença varietal na redução do peso da matéria seca, atribuída a fatores como o decréscimo do potencial osmótico da solução do solo, acúmulo de íons específicos em nível tóxico e alteração nutricional da planta. SAXENA & PANDEY (1981) também observaram redução significativa no perfilhamento em cultivares de arroz em meio salino, constituído pela mistura de NaCl e  $\text{CaCl}_2$  na proporção de 2:1 e com condutividade elétrica de 10 mmhos/cm, chegando até 38,9% do perfilhamento e a 58,3% na formação da panícula (perfilhos férteis).

Estudos sobre efeitos do NaCl em variedades de arroz mostraram que há uma interdependência entre concentração salina, tempo de duração do tratamento e idade das plantas (FLOWERS & YEO, 1981). Com aplicação do sal ( $100 \text{ mol/m}^3$  de NaCl) aos 14 dias, tanto em cultivares moderadamente sensíveis, como em resistentes, o peso da matéria seca sofreu acentuada redução (20 e 30% em relação às plantas apenas em solução nutritiva). A duração do tratamento foi de dez dias. A  $50 \text{ mol/m}^3$ , a diferença varietal foi apenas aparente. Plantas jovens foram mais sensíveis à salinidade.

Pesquisa realizada por SINHA & BANDYOPADHYAY (1983), onde foi avaliada a sobrevivência de cultivares de arroz em condições de salinidade variando de 6,3 a 16,9 mmhos/cm, em diferentes estádios do ciclo da planta, evidenciaram que há três níveis de tolerância à salinidade: tolerância durante todos os estádios de crescimento; tolerância na fase vegetativa; e tolerância apenas na maturação.

Vários pesquisadores observaram que a salinidade tem influenciado no crescimento e produção de outras espécies.



STROGONOV et alii (1953) citado por HAYWARD & BERNSTEIN (1960), alegaram que o crescimento do algodão foi mais prejudicado com os efeitos salinos dos cloretos do que com a predominância dos sulfatos. KLING (1959), igualmente citado por HAYWARD & BERNSTEIN (1960), observou que plantas de tomate em solo salinizado a níveis de 0,05; 0,15 e 0,3 M, sofreram progressivo atrofiamento e redução na massa vegetal da parte aérea com o aumento da concentração salina. Do mesmo modo, GATES et alii (1966) observaram que o potencial de crescimento do sorgo foi influenciado pela salinidade, o que não pode ser confundido com propriedades de resistência fisiológica à salinidade. Estes autores relataram que a verdadeira causa das diferenças em crescimento entre as espécies de sorgo, no trabalho por eles desenvolvido, não ficou esclarecida. PRISCO (1978) sugeriu que a inibição do crescimento das plantas depende tanto da espécie cultivada, como do tipo de sal existente no solo e que as folhas das plantas cultivadas em meio salino, envelhecem precocemente, talvez, devido a um desequilíbrio no balanço hormonal que altera o metabolismo do sistema radicular e prejudica a biossíntese e transporte de citocininas para a parte aérea.

#### 2.4.2 - Modificações Metabólicas Resultantes da Ação de Sais

Relatos feitos por STROGONOV & IVANITSKAIA (1953), citados por HAYWARD & BERNSTEIN (1960) reportaram que a estabilidade do complexo proteína-clorofila em folhas de algodão aumentou com aplicação de NaCl, exceto para as folhas danificadas pelo sal, onde um decréscimo de proteína na folha implicou numa baixa instabilidade do complexo de proteína-clorofila. Por outro lado, resultados do trabalho realizado por YEO & FLOWERS (1983) mostraram que, dependendo da variedade, do 3º ao 100º dia após a imposição do estresse salino (NaCl a 50 mol/m<sup>3</sup> aos 14 dias) as plantas apresentaram visíveis sintomas de toxicidade nas folhas. O sintoma apareceu inicialmente nas folhas velhas, aumentando em seve



ridade e extensão. A análise das folhas indicou uma correlação negativa entre o teor de clorofila e a concentração de sódio nas folhas, demonstrando que para cada elevação do nível de sódio, houve um decréscimo no conteúdo de clorofila. Experimento desenvolvido por BHIVARE & NIMBALKAR (1984) mostrou que o NaCl causou um aumento na espessura e no teor de umidade das folhas de feijão, diminuiu o conteúdo de clorofila, reduziu o crescimento das plantas e causou distúrbio no metabolismo.

Segundo OERTLI (1966), mudança na taxa de transpiração, aparentemente, pode não explicar injúrias provocadas por variação no potencial osmótico. Em alguns casos, pode ser consequência da extra tensão que se desenvolve no xilema na ausência de ajustamento osmótico. Relata ainda este autor que a alta transpiração apontada pelos dados experimentais indica que a principal resistência do fluxo de água está entre a folha e a atmosfera. MEIRI et alii (1970) observando o comportamento de plantas de feijão em meio salino verificaram que, apesar da flutuação diária, a transpiração das plantas em meio salino foi mais baixa do que daquelas do controle (meio não salino), em consequência da redução na área foliar das plantas estressadas.

Analisando os resultados obtidos com feijão, beterraba, cebola e rabanete, HOFFMAN & RAWLINS (1971) observaram que a um valor mais elevado da umidade relativa, o grau de tolerância salina nas plantas sensíveis aumentou a um valor mais elevado do que nas plantas tolerantes. Na beterraba, cebola e rabanete, tanto o potencial hídrico como o osmótico foram reduzidos nas plantas mais estressadas. Por outro lado, AYOUB (1977) trabalhando com lentilha em meio salino, observou que o peso da matéria seca da parte aérea diminuiu gradualmente com o aumento do nível salino do solo, acima de 3,1 mmhos/cm. À concentração de 5,0 mmhos/cm, a redução da matéria seca atingiu 50%. Um aumento na salinidade do solo, acima de 3,0 mmhos/cm exerceu um drástico efeito sobre a sobrevivência das plantas, refletindo claramente no peso seco da parte aérea e número de vagens por planta.



#### 2.4.3 - Alterações na Composição Mineral Induzidas pela Salinidade

Pesquisa desenvolvida por PÁLFI (1965) mostrou um conteúdo de sódio, em plantas de arroz crescidas em meio com alta concentração de sódio, sempre inferior àquele de plantas em meio não salino. Da mesma forma, as plantas em meio salino acumularam mais sódio do que o necessário para o seu desenvolvimento normal. A absorção de íons  $\text{NH}_4^+$  pode ser afetada pela presença de íon  $\text{Na}^+$ , pois este é muito ativo no antagonismo iônico. A absorção de íon fosfato é igualmente antagonizada pelo  $\text{SO}_4^{=}$  e  $\text{Cl}^-$ . Um excesso de íons antagonísticos, bem como a retenção de fósforo no solo, sob a forma de compostos solúveis, explicam o decréscimo do cálcio livre e da absorção de fósforo. É necessária grande quantidade de nitrogênio e fósforo, para atender o requerimento nutricional de plantas de arroz em meio salino. Foi observado que os valores para o peso seco foram baixos, no meio salino de elevada concentração, no período de atividade do crescimento. A absorção de nitrogênio e fósforo sofre influência do alto nível de sódio. A relação N/P foi de 4,2 no controle, subindo para 5,2 no meio com alta concentração de Na. Por outro lado, resultados de pesquisa com arroz sob estresse salino apresentados no "Annual Report" do International Rice Research Institute" (PHILLIPPINES, 1978) informaram que a salinidade prejudica o crescimento do arroz e interfere na absorção de nutrientes e que cultivares sensíveis apresentaram uma diminuição mais acentuada no teor de potássio na parte aérea e um aumento nos níveis de sódio, cálcio e magnésio, em razão da salinidade. O conteúdo de sódio do topo da planta correlacionou positivamente com a concentração de sódio do solo, ao passo que, os níveis de cálcio e potássio apresentaram uma correlação negativa. O retardamento no crescimento das plantas, resultante da salinização, foi imposto pelo efeito osmótico e pela influência da composição iônica. FLOWERS & YEO (1981) observaram que grandes variações no conteúdo de sódio foram características



em todas variedades de arroz até agora observadas em meio salinizado com NaCl, contrastando com a uniformidade do teor de íon potássio. Alterações na composição mineral induzidas pela salinidade foram constatadas em outras espécies, como observou BERNSTEIN (1961) analisando a composição mineral da seiva em relação ao potencial osmótico em raiz de plantas de pimenta, onde identificou um aumento progressivo em sódio e cloro de 70 para 80 meq/l, o qual é parcialmente compensado por uma diminuição de 25 meq/l na absorção de potássio e de 5 a 15 meq/l em magnésio. Um experimento desenvolvido por LAHAYE & EPSTEIN (1969) mostrou a eficácia do cálcio na proteção de espécies altamente sensíveis ao sal, contra os efeitos deletérios do NaCl, ao nível equivalente a um décimo da concentração de água do mar. MEIRI et alii (1970) observaram diferenças estatisticamente significativas no acúmulo de magnésio ou sódio, entre plantas nos diferentes tratamentos (soluções de condutividade elétrica entre 13,0 e 18,7 mmhos/cm). Embora estatisticamente não significativa houve alguma diferença no acúmulo de cálcio, sendo que o potássio e o cloro apresentaram as maiores diferenças na composição iônica observada. Os autores concluíram que, em plantas de feijão sob baixa evapotranspiração, o acúmulo de sal nas folhas não foi afetado em relação ao controle, bem como alguns dos efeitos resultantes da exposição da planta a um meio salino, exceto, até certo ponto, para o potássio. Por outro lado, NIGHTINGALE & SMITH (s.d.) citados por MORA (1975) comprovaram que a absorção de cálcio foi afetada pela presença de sódio, a qual foi compensada por uma aplicação suplementar de magnésio. Do mesmo modo, KHALIL (1967) citado por MORA (1975) realizando trabalho com milho e algodão em meio salino, encontrou que a salinidade não exerceu efeito marcante sobre o teor de fósforo. Entretanto, o conteúdo de potássio decresceu com o aumento do nível salino. AYOUB (1977) observou em lentilha que o conteúdo de nitrogênio total dos grãos diminuiu significativamente (de 4,64 para 3,62%) com o aumento do nível de NaCl. Com a elevação da concentração de NaCl, houve um acúmulo excessivo de sódio, cloro e cálcio no tecido da planta. As curvas de acumulação foram semelhantes, atingindo um ponto de



saturação a cerca de 6,0 mmhos/cm, mas a taxa de cloro acumulada foi muito alta. Com a elevação da salinidade acima de 6,0 mmhos/cm houve um decréscimo no conteúdo de potássio, o qual, após esta queda, permaneceu constante. Acacia saligna em meio salino (-2, -4, -6, -8 e -10 atm) apresentou um decréscimo no crescimento, da ordem de 50% para um nível de 588 meq/l de sódio no solo. No entanto, os conteúdos de cloro e sódio aumentaram com a salinidade e as raízes apresentaram maior teor de sódio e menos cloro do que a parte aérea, o que indica grande mobilidade do cloro. Por outro lado, o nível de nitrogênio não foi prejudicado pela salinidade, no entanto, sua absorção diminuiu causando decréscimo no crescimento da planta. Todavia, o conteúdo de fósforo só sofreu diminuição no sistema radicular. Isto, segundo PAKROO (1977), citado por SHAYBANY & KASHIRAD (1978), foi atribuição do efeito inibitório específico do NaCl no transporte metabólicamente ativo responsável pela absorção de íons. Estes autores observaram que os níveis de potássio e cálcio diminuíram tanto na parte aérea como na raiz. Em geral, houve maior teor de fósforo, manganês, ferro, cálcio e magnésio na raiz, mostrando preferencial acúmulo desses elementos no tecido radicular. Experimentos desenvolvidos por SHAYBANY & KASHIRAD (1978) mostraram que o tratamento salino, geralmente, diminuiu o conteúdo de potássio e aumentou o nível de sódio e cloro, levando indicações de que, sob uma determinada condição, cada espécie responde à salinidade de um modo diferente. Por outro lado, BHIVARE & NIMBALKAR (1984) observaram que o NaCl causou um aumento nos conteúdos de sódio e cálcio, reduzindo o teor de nitrogênio e fósforo em plantas de feijão.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidas dois experimentos no Laboratório de Tecnologia de Sementes e um em Casa de Vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, no Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil.

#### 3.1 - Experimento I - Efeito do Cloreto de Sódio (NaCl) na Germinação e Vigor de Plântulas de Cultivares de Arroz

##### 3.1.1 - Procedimento Experimental

Este experimento foi realizado, utilizando-se sementes das cultivares IAC 25, IAC 47, IAC 165, CNA 796019, LEBONNET, IRAT 112 e CICA 8, procedentes do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão-CNPAF, Goiânia, Goiás, Brasil e da Unidade de Execução de Pesquisa de âmbito Estadual de Rio Branco, Acre, Brasil, safra 1984.

Após criteriosa seleção no sentido de se uniformizar o máximo possível o tamanho das sementes e eliminar aquelas com indícios de ataque de fungos e/ou insetos, assim como danos mecânicos, foi efetuado um tratamento com fungicida-germicida orgânico à base de pentacloronitrobenzeno (PCNB), com 75% do princípio ativo (Sementol 75 - CIBA GEIGY, São Paulo, Brasil).

Amostras de 50 e 25 sementes, para germinação e vigor, respectivamente, de cada cultivar, foram colocadas para germinar em papel-toalha (Germitest, De Leo & Cia Ltda), umedecido com soluções de NaCl com potenciais osmóticos ( $\Psi_s$ ) de -0,4 e -0,8 Megapascal (MPa), utilizando-se como controle o



mesmo material genético em água destilada. Os potenciais osmóticos foram escolhidos com base em trabalho preliminar e na preparação das soluções salinas obedeceu a metodologia desenvolvida por RICHARDS (1954).

As sementes foram distribuídas entre duas folhas de papel-toalha, enroladas em forma de cartuchos, os quais permaneceram em vasos plásticos medindo 14 x 14 x 18 cm, contendo 200 ml da solução correspondente à cada tratamento, protegidos com sacos de polietileno para evitar a evaporação da solução. O nível das soluções foi mantida constante e ao longo do trabalho o material foi acondicionado em câmara de germinação TREAS (Precision Cientific General Eletric, São Paulo, Brasil), à temperatura de 25°C na obscuridade e umidade próxima à saturação.

### 3.1.2 - Avaliações e Metodologia

#### 3.1.2.1 - Teste de Germinação

As contagens do teste de germinação foram efetuados 14 dias após o início do teste, de acordo com as regras para análise de sementes (BRASIL, 1976) determinando-se a porcentagem de plântulas normais, anormais e sementes não germinadas.

De acordo com aquelas regras foram caracterizadas como plântulas normais, "aquelas que apresentaram um sistema radicular bem conformado, com uma raiz primária, ou pelo menos duas raízes seminais e um coleóptilo intacto com uma folha bem desenvolvida (plúmula) no interior ou emergindo deste. Isto é, plântulas que apresentaram todas estruturas essenciais, capazes de continuar seu desenvolvimento para formação de plantas normais" (BRASIL, 1976). Considerou-se plântulas anormais, aquelas com "raízes seminais curtas e enfezadas ou curtas e grossa; raiz primária curta engrossada, fra-



ca espiralada; raízes secundárias fracas; ou sem raízes primárias e com raízes secundárias pouco desenvolvidas. Coleóptilo vazio ou com folhas primordiais partidas ou fendidas longitudinalmente e ou coleóptilo com fenda facilmente visível a olho nu, ou coleóptilo com desenvolvimento anormal. Coleóptilo desproporcionalmente curto, engrossado ou ausente. Folha primordial apodrecida ou apodrecimento no ponto de inserção entre a plântula e o endosperma ou descoloração do coleóptilo a qual afetou as folhas. Parte aérea delgada, pálida ou hialina. Folhas primordiais curtas atingindo apenas metade da altura do coleóptilo. Plúmula e folhas primordiais curtas e engrossadas, usualmente com raízes seminais curtas e enfezadas".

#### 3.1.2.2 - Teste de Vigor

Para avaliação do vigor foram medidos os comprimentos da raiz e parte aérea, assim como o peso da matéria seca das plântulas. Na determinação dos comprimentos foi empregada a metodologia descrita por POPINIGIS (1977), utilizando-se amostras de 25 sementes/repetições para cada cultivar e potencial, efetuando-se as referidas medições (em cm) 10 dias após o início do teste. Para obtenção do peso de matéria seca da parte aérea e da raiz, utilizaram-se as mesmas plântulas do teste anterior, as quais foram postas para secar a uma temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ) por 24 horas, tomando-se o peso médio (em g) com relação ao número de plântulas normais. Foi calculada a relação raiz/parte aérea com os dados de matéria seca.

#### 3.1.3 - Procedimento Estatístico

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado



com vinte e um tratamentos e três repetições.

As análises de variâncias para os parâmetros observados obedeceram um esquema fatorial  $7 \times 3$  (cultivares  $\times \Psi$ s) e as médias das interações cultivares dentro de  $\Psi$ s e vice-versa, foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

### 3.2 - Experimento II - Efeitos do cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ), sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) e do polietileno glicol 6000 na germinação e vigor da cultivar IAC 25

#### 3.2.1 - Procedimento Experimental

Este trabalho foi desenvolvido usando-se como material genético a cultivar IAC 25 devido à seu bom desempenho em trabalho preliminar, no experimento I e por ser uma cultivar plantada na região Nordeste do Brasil. Em teste preliminar, este material apresentou uma porcentagem de 96% de germinação com ausência total de fungos, sementes bem uniformes e sem danos mecânicos aparentes.

Amostras de 50 e 25 sementes para os testes de germinação e vigor, respectivamente, foram postos para germinar entre duas folhas de papel-toalha (Germiteste, De Leo & Cia Ltda), umedecidas em soluções de  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e polietileno glicol 6000 (PEG 6000) com potenciais osmóticos de -0,4, -0,8 e -1,2 MPa, utilizando-se a água destilada (potencial osmótico = 0), como controle. Neste trabalho ampliou-se a faixa de variação do potencial osmótico (-0,4 a -1,2 MPa) para se observar o grau de tolerância da cultivar IAC 25, uma vez que no "experimento I", este material apresentou um bom potencial de germinação (81,33%) mesmo com um potencial osmótico -0,8 MPa em solução de  $\text{NaCl}$ . As soluções de  $\text{NaCl}$  e  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  foram preparadas de acordo com a metodologia indicada por



RICHARDS (1954) e para as soluções de PEG 6000 usou-se a relação empírica de MICHEL & KAUFFMAN (1973).

As sementes enroladas com papel-toalha umedecido em soluções de NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, PEG 6000 e/ou água destilada (controle) foram colocadas em vasos plásticos medindo 14x14x18 cm, contendo 200 ml da solução correspondente à cada tratamento, protegidos com sacos de polietileno para evitar a evaporação. O nível da solução foi mantido constante ao longo de trabalho e os cartuchos com as sementes foram umedecidos a cada dois dias, uma vez que os tratamentos com PEG 6000 apresentavam pouca umidade na extremidade superior do cartucho, talvez devido a maior densidade daquela solução. O material foi acondicionado nos mesmos moldes do experimento I.

### 3.2.2 - Avaliações e Metodologia

Seguindo a metodologia usada no "experimento I", foram determinados os seguintes parâmetros:

#### 3.2.2.1 - Germinação

Foram determinadas as porcentagens de plântulas anormais e sementes não germinadas, aos 14 dias após o início do teste.

#### 3.2.2.2 - Vigor

Determinou-se o comprimento e peso de matéria seca da parte aérea e da raiz.



### 3.2.2.3 - Relação Raiz/Parte Aérea

### 3.2.3 - Procedimento Estatístico

Usou-se um delineamento inteiramente casualizado, repetindo-se 4 vezes com a cultivar IAC 25 os seguintes tratamentos: água destilada (controle com  $\Psi_s = 0$ ); solução de NaCl com  $\Psi_s = -0,4$ ,  $-0,8$  e  $-1,2$  MPa, soluções de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  com  $\Psi_s = -0,4$ ,  $-0,8$  e  $-1,2$  MPa; soluções de PEG 6000 com  $\Psi_s = -0,4$ ,  $-0,8$  e  $-1,2$  MPa.

As análises de variância para os dados observados foram feitos segundo um esquema fatorial  $3 \times 3$  (natureza da solução x potencial osmótico) determinando-se a significância entre os tratamentos, efeito linear e quadrático do PEG 6000, efeitos dos sais, efeitos dos potenciais osmóticos e efeitos das interações e constrates de interesse.

## 3.3 - Experimento III - Efeitos da salinidade no crescimento da cultivar IAC 25

### 3.3.1 - Procedimento Experimental

Este experimento foi desenvolvido em casa de vegetação da Universidade Federal do Ceará, no Campus do Pici, Fortaleza, Ceará nos meses de setembro a novembro de 1985.

As condições de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade na casa de vegetação durante o desenvolvimento do ensaio foram as seguintes: temperatura máxima  $38,0^\circ\text{C}$  e mínima de  $23^\circ\text{C}$ , com um valor médio de  $30,5^\circ\text{C}$ , umidade relativa máxima de 100% e mínima de 32% com média de 67%, obtidas com termohigrógrafo (Modelo 594, The Bendix Corporation, Maryland, EE.UU.); intensidade luminosa média de 60.000 lux,



entre 8:00 e 16:00 horas determinada por meio de um fotômetro (LI-170/L-LI-Cor, Nebraska, EE.UU.).

O material genético utilizado foi a cultivar de arroz IAC 25, semeada em bandeja de polietileno contendo aproximadamente 15 kg de areia lavada e autoclavada a 135°C. As sementes foram selecionadas manualmente, eliminando-se aquelas com suspeitas de ataque de fungos e/ou insetos e com danos mecânicos. Procurou-se uniformizá-las, ao máximo possível, selecionando-se aquelas de maior tamanho antes do pré-plantio o que foi procedido com fungicida-germicida orgânico à base de pentacloronitrobenzeno (PCNB), com 75% do princípio ativo (Sementol 75 - CIBA GEIGY, São Paulo, Brasil. Dez dias após a emergência, selecionaram-se 40 plantas as quais foram transplantadas para 40 vasos de polietileno, contendo 7,5 litros de solução nutritiva de Hoagland, modificada por JOHNSON et alii (1957), citado por EPSTEIN (1972). O pH inicial da solução foi de, aproximadamente 5,0 alcançando por ocasião da troca valor de, aproximadamente 4,5.

A primeira substituição da solução nutritiva foi efetuada 14 dias após o transplantio, a segunda e a terceira com 10 dias de intervalo. Dois dias após a primeira troca da solução nutritiva (16 dias após o transplantio) foi adicionado aproximadamente -0,1 MPa de NaCl, às soluções nutritivas até completar -0,4, -0,8 e -1,2 MPa de NaCl, de acordo com o potencial osmótico do tratamento correspondente. As plantas do tratamento controle permaneceram em solução nutritiva sem NaCl. O volume de solução evapotranspirada foi repostado com água destilada, de tal maneira que o sistema radicular ficasse sempre submerso. A aeração da solução foi mantida por meio de bombeamento constante de ar com o emprego de um compressor de funcionamento automático.

Como cada vaso continha apenas uma planta e algumas avaliações exigiram a eliminação da mesma foram preparados dois blocos de vinte plantas, nas mesmas condições ambientais e de cultivo.



### 3.3.2 - Avaliação e Metodologia

#### 3.3.2.1 - Peso de Matéria Seca

O peso da matéria seca foi obtido separadamente para o limbo das folhas, bainhas, colmos e raízes após secagem em estufa de 80°C, 48 horas e pesagem em balança de precisão (METTLER Pl210, São Paulo Brasil). Foi calculado o peso da matéria seca total e a relação raiz/parte aérea.

#### 3.3.2.2 - Volume da Raiz

O volume da raiz foi medido pela variação no volume da água em uma proveta ao nele se fazer a imersão da raiz.

#### 3.3.2.3 - Comprimento Total das Raízes

O comprimento total das raízes foi medido pelo método descrito por TENNANT (1975) que consiste em se distribuir as raízes úmidas sobre uma folha de papel quadriculado, protegida por uma placa de vidro, fazendo-se a contagem das intersceções das raízes com as linhas horizontais e verticais e convertendo-se para a unidade de comprimento pela seguinte fórmula:

Comprimento da raiz em cm (R) = Número de intersceção (N)  $\frac{\text{Fa}}{\text{tor de correção}}$

Fator de correção para 1 cm = 0,7857.

#### 3.3.2.4 - Número Total de Perfilhos

O número total de perfilhos foi determinado por ocasião da coleta final quando separou-se a parte aérea do sistema radicular, para determinação do peso de matéria seca.

#### 3.3.2.5 - Transpiração

A transpiração foi avaliada pela diferença de evaporação observada, em cinco vasos sem plantas e a evapotranspiração dos vasos com plantas. Ambos continham os mesmos volumes de soluções e coberturas idênticas. Quando se fazia a complementação da solução, media-se o volume da água adicionado aos vasos com plantas e sem plantas. A diferença entre estes volumes adicionados por tratamento, representou a transpiração, que foi expressa em termos de ml/planta/dia.

#### 3.3.2.6 - Potencial Hídrico

O potencial hídrico foi determinado na segunda folha do perfilhamento principal, a partir do ápice. O material foi colhido às 8:00 horas da manhã para assegurar uniformidade nas leituras entre os diversos tratamentos. O potencial hídrico foi determinado por meio de uma câmara (PMS Instruments Company-Corvallis-Oregon, EE.UU.) idealizada por DIXON (1914) e construída por SCHOLANDER et alii (1964, 1965). Este potencial foi determinado apenas para os tratamentos controle e de -0,4 MPa de NaCl, uma vez que as plantas dos demais tratamentos por ocasião das determinações se encontravam totalmente ressequidos e senescentes.



### 3.3.2.7 - Teor de Proteínas

A determinação do teor de proteínas foi realizada de acordo com o método de LOWRY et alii (1951).

### 3.3.2.8 - Teor de Lipídios

A extração dos lipídios foi efetuada segundo a metodologia descrita por ALLEN & GOOD (1971).

### 3.3.2.9 - Teor Total de Clorofila

O teor total de clorofila foi medido apenas nos tratamentos controle e de -0,4 MPa de NaCl, pois as plantas dos demais tratamentos, quando da coleta se apresentavam totalmente senescentes. Para esta determinação foram utilizadas amostras de 0,25 g de folhas frescas, por tratamento, com cinco repetições, as quais foram devidamente trituradas em almofariz, adicionando-se 0,3 g de  $\text{CaCO}_3$ , 0,3 g de areia lavada e 1,8 ml de acetona pura. Após a filtração o volume da solução resultante foi ajustado para 10,0 ml, usando-se para isto, a solução de acetona 80%. Uma alíquota de 0,1 ml desta solução foi diluída em 4,9 ml de acetona 80%, para a determinação da densidade ótica a 645 e 663 nm, por meio do espectrômetro (Micronal, São Paulo, Brasil). Como Branco utilizou-se acetona 80%. Para dosagem da clorofila foi utilizado o método descrito por ARNON (1949) e a concentração de clorofila em extrato à base de acetona, foi determinada pela fórmula de McKINNEY (1941):

$$C \text{ (mg/l)} = 20,2 \text{ D.O.}_{645} + 8,02 \text{ D.O.}_{663}$$

onde: C = concentração de clorofila

D.O.<sub>645</sub> e D.O.<sub>663</sub> = densidade ótica a 645 e 663 nanômetros respectivamente

### 3.3.2.10 - Composição Mineral

Após a determinação do peso da matéria seca da parte aérea e da raiz, o material foi passado em uma peneira de 40 mesh para análises dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e sódio (Na), os quais foram determinados de acordo com a metodologia indicada por LOTT et alii (1956) e BLACK (1965). Efetuou-se apenas uma determinação para cada tratamento, em virtude da uniformidade do material estudado e das condições de cultivo.

### 3.3.3 - Procedimento Estatístico

Os quatro tratamentos foram distribuídos em um delineamento inteiramente casualizado com 5 repetições. Efetuaram-se análises de variâncias apenas para os dados referentes à matéria seca, volume e comprimento total das raízes, número de perfilhos e transpiração. Observou-se o grau de significância das regressões de 1º, 2º e 3º grau, determinando-se a equação correspondente, de acordo com o respectivo grau de significância. Os contrastes de interesse foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



#### 4 - RESULTADOS

##### 4.1 - Experimento I - Efeitos do cloreto de sódio na germinação e vigor de plântulas de arroz

A análise de variância (TABELAS 1 e 2) mostrou diferenças estatisticamente significativas para todas as causas de variação envolvidas no delineamento, em relação aos parâmetros observados no estudo da germinação e vigor das sete cultivares de arroz em meio salinizado com NaCl (-0,4 e -0,8 MPa), tendo como controle, o mesmo material genético em água destilada.

##### 4.1.1 - Germinação

Os valores médios das porcentagens de germinação, obtidos pela contagem das plântulas normais das três repetições de cada tratamento, estão relacionados na TABELA 3.

Todas as cultivares germinaram nas concentrações salinas impostas, mas, como pode ser observado na TABELA 1, houve diferenças significantes no comportamento do material genético testado. No entanto, o NaCl afetou a germinação de todos os tratamentos, principalmente da IAC 165 que diminuiu 16,30%, em relação ao controle a -0,4 MPa e 77,11% quando o potencial osmótico baixou para -0,8 MPa. A cultivar IAC 25, que apresentou a média mais elevada de germinação, mostrou um decréscimo progressivo de aproximadamente, 6,71 e 61,94% na germinação quando o potencial osmótico diminuiu para -0,4 e -0,8 MPa, respectivamente. A cultivar IAC 47, apesar de ter sofrido pequena diminuição na germinação quando o potencial osmótico baixou para -0,4 MPa (4%), mostrou

TABELA 1 - Análises de Variâncias para efeitos de diferentes potenciais osmóticos ( $\psi_s$ ) sobre a percentagem de germinação, plântulas anormais e sementes não germinadas de sete cultivares de arroz.

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios		
		Germinação	Plântulas Anormais	Sementes Não Germinadas
$\psi_s$	2	2803,87**	1512,13**	83,62**
Cultivar (C)	6	537,54**	88,97*	65,90**
Int. $\psi_s \times C$	12	82,46**	169,40**	13,84*
Resíduo	42	27,49	28,76	6,92
C.V. (%)	-	6,43	26,91	64,24

\* = significativo  $P < 5\%$  pelo teste F.

\*\* = significativo  $P < 1\%$  pelo teste F.



TABELA 2 - Análises de variâncias para efeitos de diferentes potenciais osmóticos ( $\psi_s$ ), sobre o comprimento da parte aérea e da raiz, peso da matéria seca da parte aérea, da raiz e relação entre matéria seca da raiz e da parte aérea de cultivares de arroz.

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios				
		Comprimento da Parte Aérea	Comprimento da Raiz	Matéria Seca Parte Aérea	Matéria Seca da Raiz	Relação Raiz/P. Aérea
$\psi_s$	2	1063,63**	4125,77**	80,48**	34,79**	0,07**
Cultivar (C)	6	25,86**	185,08**	17,83**	4,29**	0,03**
$s \times C.$	12	2,30**	11,39**	5,15**	3,22**	0,04*
Resíduo	42	0,38	2,27	0,33	0,12	0,01
C.V. (%)		4,01	4,17	6,69	7,00	17,17

\* = significativo  $P < 5\%$  pelo teste F.

\*\* = significativo  $P < 1\%$  pelo teste F.

TABELA 3 - Porcentagem média de germinação de cultivares de arroz, sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada..

Cultivar	Potenciais Osmóticos (MPa)		
	0,0 (controle)	-0,4	-0,8
IAC 25	A 99,38 a	A 92,66 ab	B 37,80 a
IAC 47	A 100,00 a	A 96,00 a	B 34,66 ab
IAC 165	A 90,00 ab	B 75,33 bc	C 20,60 c
CNA 796019	A 87,33 ab	A 85,66 ab	B 28,33 ab
LEBONNET	A 89,33 ab	A 86,00 ab	B 24,66 bc
IRAT 112	A 84,66 b	B 68,66 c	C 22,66 c
CICA 8	A 95,33 ab	B 82,66 b	C 24,10 bc
Média	A 92,28	B 83,14	C 27,02

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



grande sensibilidade com a sua diminuição para  $-0,8$  MPa, quando a germinação caiu de 100% no controle para 34,66% (65,34%). Os tratamentos envolvendo a CNA 796019 e Lebonnet, apresentaram comportamento similar a IAC 47, diminuindo apenas 1,91 e 3,81% a  $-0,4$  MPa, 67,56 e 72,39% respectivamente, quando o potencial osmótico decresceu para  $-0,8$  MPa. A cultivar IRAT 112 apresentou grande sensibilidade, logo no nível salino mais baixo (potencial osmótico =  $-0,4$  MPa), quando sofreu um decréscimo na germinação de 18,9% em relação ao controle quando o potencial osmótico baixou para  $-0,8$  MPa, a germinação diminuiu 73,23% em relação ao potencial osmótico anterior. A CICA 8 apresentou, também, elevada sensibilidade inicial, mostrando o mesmo comportamento quando o potencial osmótico diminuiu de  $-0,4$  para  $-0,8$  MPa. O decréscimo na sua porcentagem de germinação foi de 13,3 e 74,72%, respectivamente, em relação ao controle. As cultivares IAC 25 e IAC 47 foram as mais tolerantes à salinidade em todos os níveis de NaCl, enquanto a IAC 165 e IRAT 112, apresentaram maior sensibilidade aos efeitos salinos, nesta fase.

#### 4.1.2 - Plântulas Anormais

Os resultados obtidos nesta avaliação, em relação aos níveis de salinidade foram inversamente proporcionais aqueles obtidos para a germinação, visto que não houve sementes deterioradas e as que não germinaram, foi em número muito reduzido (TABELAS 3, 4 e 5). Como pode ser observado na TABELA 4, houve diferença nas respostas das cultivares entre si, e de cada cultivar com a variação do potencial osmótico.

De uma maneira geral, observou-se em todas as cultivares, um aumento no número de plântulas anormais à medida que diminuía o potencial osmótico da solução salina. Assim é que, as médias deste parâmetro à  $-0,4$  e  $-0,8$  MPa foram aproximadamente duas e treze vezes maiores do que a média do controle, respectivamente. Contudo, apesar de a  $-0,4$  MPa ocorrer

TABELA 4 - Porcentagem média de plântulas anormais de cultivares de arroz, após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada.

Cultivar	Potenciais Osmóticos (MPa)		
	0,0 (controle)	-0,4	-0,8
IAC 25	B 0,77 b	B 9,34 bc	A 61,47 b
IAC 47	B 0,00 b	B 2,00 c	A 66,01 a
IAC 165	B 9,34 ab	B 17,34 ab	A 68,07 a
CNA 796019	B 8,67 ab	B 14,01 ab	A 65,67 a
LEBONNET	B 7,34 ab	B 10,67 bc	A 66,01 a
IRAT 112	B 13,84 a	B 22,01 a	A 68,01 a
CICA 8	B 3,34 b	B 10,60 bc	A 72,57 a
Média	C 5,81	B 12,28	A 66,83

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



rer um maior número de plântulas anormais do que no controle, constatou-se que, estatisticamente, os valores das cultivares nestes potenciais não diferiram entre si, e que as diferenças foram bem marcantes entre o controle e  $-0,8$  MPa. Verificou-se ainda, ao comparar-se os dois potenciais salinos, que para todos cultivares, o número de plântulas anormais foi significativamente superior a  $-0,8$  MPa. Neste menor potencial, observou-se que a cultivar IAC 25 apresentou menor número de plântulas anormais, em contraste com a CICA 8 que apresentou maior número. As cultivares IAC 47, IAC 165, CNA 796019, Lebonnet e IRAT 112, apresentaram valores intermediários.

#### 4.1.3 - Sementes não Germinadas

O número de sementes não germinadas (TABELA 5) devido à ação dos dois potenciais salinos foi significativamente maior do que o do controle. Os dados indicaram diferenças não significativas entre  $-0,4$  e  $-0,8$  MPa, tanto nas suas médias como nas das cultivares, com exceção na Lebonnet que foi bem maior a  $-0,8$  MPa. A comparação das médias entre as cultivares no controle e em  $-0,4$  MPa de NaCl indicam que apenas a IRAT 112 e a CICA 8 tiveram um aumento significativo na solução salina. Por outro lado, comparando-se o controle e  $-0,8$  MPa verifica-se que a maioria das cultivares se comportou semelhantemente, exceto a IAC 165, Lebonnet e IRAT 112 que apresentaram um maior número de sementes não germinadas quando do decréscimo do potencial osmótico.

#### 4.1.4 - Comprimento da Parte Aérea

Verifica-se na TABELA 6 decréscimos significativos no comprimento da parte aérea das plântulas, em todas as cul

TABELA 5 - Porcentagem média de sementes não germinadas de cultivares de arroz, após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada.

Cultivar	Potenciais Osmóticos (MPa)		
	0,0 (controle)	-0,4	-0,8
IAC 25	A 0,00 a	A 0,00 b	A 1,33 c
IAC 47	A 0,00 a	A 0,00 b	A 1,33 c
IAC 165	B 2,66 a	AB 7,33 a	A 11,33 a
CNA 796019	A 4,00 a	A 5,33 ab	A 6,00 abc
LEBONNET	B 3,33 ab	B 3,33 ab	A 9,33 ab
IRAT 112	B 2,00 a	A 9,33 a	A 8,00 ab
CICA 8	B 1,33 a	A 6,66 a	A 3,33 bc
Média	B 1,91	A 4,52	A 5,81

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



TABELA 6 - Comprimento médio (cm) da parte aérea de cultivares de arroz, após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada.

Cultivar	Potenciais Osmóticos (MPa)		
	0,0 (controle)	-0,4	-0,8
IAC 25	A 11,78 ab	B 9,80 a	C 4,44 ab
IAC 47	A 12,43 a	B 9,36 ab	C 4,53 a
IAC 165	A 10,45 d	B 7,87 cd	C 3,73 bc
CNA 796019	A 8,82 e	B 7,37 d	C 2,64 d
LEBONNET	A 10,33 d	B 8,61 bc	C 4,49 ab
IRAT 112	A 10,65 cd	B 8,29 c	C 3,50 c
CICA 8	A 11,24 bc	B 8,41 c	C 3,50 c
Média	A 10,81	B 8,52	C 3,83

Médias antecedidas pela mesma letra maiúscula na linha e seguida da mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

tivares, com a diminuição do potencial osmótico. Observou-se ainda que as reduções no comprimento foram mais drásticas de -0,4 MPa para -0,8 MPa do que do controle para -0,4 MPa. Examinando-se as cultivares a -0,8 MPa constatou-se maiores comprimentos na IAC 25, IAC 47 e Lebonnet e, menor média na CNA 796019. As outras cultivares apresentaram comprimentos intermediários.

#### 4.1.5 - Comprimento da Raiz

A exemplo do comprimento da parte aérea, constatou-se diminuição das raízes com a redução do potencial osmótico (TABELA 7). Mais uma vez, a IAC 25 e IAC 47 apresentaram maior vigor nos potenciais salinos, juntamente com a IAC 165. Por outro lado, a Lebonnet que apresentou um comprimento da parte aérea semelhante à IAC 25 e IAC 47, teve uma redução significativa no comprimento da raiz. A menor média foi observada na IRAT 112.

#### 4.1.6 - Peso Médio da Matéria Seca da Parte Aérea

As diferenças apresentadas, tanto entre as cultivares para um determinado potencial osmótico, como para cada cultivar pela variação deste, permitiu a análise de variância identificar diferenças significativas entre os diversos tratamentos. Como pode se observar na TABELA 8, a redução no peso da matéria seca foi bem maior entre as cultivares dentro de um mesmo potencial osmótico, do que com a diminuição deste para uma mesma cultivar. Como foi observado no comprimento das plântulas, à medida que se diminuía o potencial osmótico ocorria um decréscimo na matéria seca.

O peso da matéria seca para cada cultivar, com a diminuição do potencial osmótico do controle para -0,4 MPa e



TABELA 7 - Comprimento médio (cm) da raiz de cultivares de arroz, após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada.

Cultivar	Potenciais Osmóticos (MPa)		
	0,0 (controle)	-0,4	-0,8
IAC 25	A 25,98 a	B 24,45 a	C 12,78 a
IAC 47	A 25,04 a	A 23,60 ab	B 11,92 ab
IAC 165	A 21,95 b	A 20,99 c	B 11,51 abc
CNA 796019	A 20,80 b	B 18,97 d	C 7,85 d
LEBONNET	A 20,13 b	B 22,13 bc	C 9,81 c
IRAT 112	A 20,23 b	B 18,18 d	C 5,72 e
CICA 8	A 24,15 a	B 22,39 bc	C 10,20 bc
Média	A 22,61	B 21,53	C 9,67

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

TABELA 8 - Peso médio (mg) da matéria seca da parte aérea de cultivares de arroz, após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada.

Cultivar	Potenciais Osmóticos (MPa)		
	0,0 (controle)	-0,4	-0,8
IAC 25	A 6,96 a	A 6,46 a	B 5,46 a
IAC 47	A 5,60 b	B 4,60 c	B 4,36 b
IAC 165	A 6,13 b	AB 5,60 b	B 5,13 a
CNA 796019	A 4,46 c	B 3,50 d	B 3,20 c
LEBONNET	A 3,86 d	AB 3,30 d	B 3,06 c
IRAT 112	A 3,60 d	B 2,80 de	C 1,50 d
CICA 8	A 3,30 d	B 2,23 e	C 1,60 d
Média	A 4,78	B 4,08	C 3,58

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



deste para  $-0,8$  MPa apresentou de maneira geral, uma redução aproximada de 1 mg para cada variação. A cultivar IAC 25, que apresentou o maior peso de matéria seca da parte aérea, por exemplo, variou de 6,9 no controle para 6,46 e 5,46 mg, quando o potencial osmótico diminuiu para  $-0,4$  e  $-0,8$  MPa, respectivamente. Do mesmo modo, a CICA 8 que apresentou a média mais baixa variando de 3,30 para 2,33 e 1,60 mg, quando o potencial osmótico variou do controle para  $-0,4$  e  $-0,8$  MPa, apresentou uma redução de 1 mg, aproximadamente, para cada tratamento. Na média das pesagens para os três potenciais osmóticos dentro de cada cultivar, houve diferença de até 4 mg aproximadamente, como foi o caso da IAC 25, com maior peso de matéria seca e a CICA 8 com o peso mais baixo. Isto evidencia um melhor desenvolvimento desta cultivar com ou sem condição salina.

#### 4.1.7 - Peso Médio da Matéria Seca da Raiz

Do mesmo modo que na parte aérea, o efeito do NaCl sobre o peso da matéria seca da raiz foi mais marcante entre as cultivares, do que para cada cultivar sob efeito de potenciais osmóticos diferentes. Como pode ser observado na TABELA 9, a redução do peso da matéria seca, quando o potencial osmótico diminuiu do controle para  $-0,4$  e  $-0,8$  MPa de NaCl, foi relativamente, muito pequena, como no caso da CICA 8 onde, estatisticamente, não houve diferença significativa com a variação do potencial osmótico.

Para as cultivares IRAT 112 e CNA 796019 o efeito salino só foi estatisticamente significativo, quando o potencial osmótico diminuiu de  $-0,4$  para  $-0,8$  MPa de NaCl. Por outro lado, as cultivares IAC 25, IAC 47 e Lebonnet só apresentaram diferenças significativas estatisticamente, na redução do peso da matéria seca da raiz, para os valores do controle e do potencial osmótico  $-0,4$  MPa de NaCl. A IAC 165 foi o único genótipo a sofrer influência significativa no pe

TABELA 9 - Peso médio (mg) da matéria seca da raiz de cultivares de arroz, após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada.

Cultivar	Potenciais Osmóticos (MPa)		
	0,0 (controle)	-0,4	-0,8
IAC 25	A 4,70 a	B 4,06 a	B 3,73 a
IAC 47	A 3,46 c	B 2,96 bc	B 2,73 b
IAC 165	A 4,00 b	B 3,16 b	C 2,13 c
CNA 796019	A 2,66 d	A 2,63 c	B 1,56 d
LEBONNET	A 2,13 e	B 1,66 d	B 1,66 d
IRAT 112	A 2,00 ef	A 1,73 d	B 1,06 e
CICA 8	A 1,60 f	A 1,40 d	A 1,46 de
Média	A 2,93	B 2,51	C 2,05

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



so da raiz, com as duas variações na concentração salina. Apenas as cultivares IAC 25 e CNA 796019 apresentaram reduções superiores a 1 mg, as quais, no entanto, não atingiram 2 mg. Considerando a média dos valores dos pesos da matéria seca da raiz, para cada cultivar nos três potenciais osmóticos, a cultivar IAC 25 isolou-se com o melhor desempenho no meio salino, com um peso médio de 4,16 mg. O outro extremo, com o peso médio mais baixo, ficou com a cultivar CICA 8 com o peso médio de 1,48 mg de matéria seca da raiz.

#### 4.1.8 - Relação Raiz/Parte Aérea

Os dados obtidos para esta determinação (TABELA 10), só apresentaram diferenças significativas com relação aos valores dos tratamentos sob efeito do nível salino com potencial osmótico -0,8 MPa de NaCl. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores obtidos para os tratamentos, nem quando o potencial osmótico foi reduzido para -0,4 MPa ou deste para -0,8 MPa. A cultivar CICA 8 foi a única a apresentar um valor próximo da unidade (0,91) em consequência de maior redução no peso seco da parte aérea.

#### 4.2 - Experimento II - Efeitos do NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e do PEG 6000 na germinação e vigor da cultivar de arroz IAC 25

Como pode ser observado nas TABELAS 11 e 12, todas as causas de variação apresentaram diferenças estatisticamente significativas para os efeitos do NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e PEG 6000 sobre a germinação de sementes e vigor de plântulas de arroz, cultivar IAC 25, com exceção para potenciais osmóticos na relação raiz/parte aérea.

TABELA 10 - Relação raiz/parte aérea (peso seco) de cultivares de arroz, após germinação sob diferentes potenciais osmóticos de NaCl e água destilada.

Cultivar	Potenciais Osmóticos (MPa)		
	0,0 (controle)	-0,4	-0,8
IAC 25	A 0,68 a	A 0,63 a	A 0,86 a
IAC 47	A 0,62 a	A 0,64 a	A 0,63 b
IAC 165	A 0,65 a	AB 0,55 a	B 0,41 b
CNA 796019	AB 0,55 a	A 0,75 a	B 0,49 b
LEBONNET	A 0,69 a	AB 0,50 a	B 0,43 b
IRAT 112	A 0,55 a	A 0,62 a	A 0,70 a
CICA 8	B 0,48 a	B 0,63 a	A 0,91 a
Média	A 0,60	A 0,62	A 0,61

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



TABELA 11 - Análises de variâncias para efeitos do NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e PEG 6000 sobre o valor médio da percentagem de germinação, de plântulas anormais, de sementes não germinadas, comprimento da parte aérea e da raiz da cultivar de arroz IAC 25.

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios				
		Germinação	Plantas Anormais	Sementes Não Germinadas	Comprimento da Parte Aérea	Comprimento da Raiz
Controle vs Estresse	1	10411,36**	36320,72**	45,51**	313,92**	817,13**
Sal vs PEG	1	1283,56**	14906,88**	607,16**	70,16**	25,89**
Ef. linear do PEG	1	17298,00**	33282,00**	1624,50**	11,49**	537,85**
Ef. Quad. do PEG	1	1600,68**	1120,68**	541,50**	1,42**	169,15**
Sais (S)	1	112,68**	639,44**	4,17**	4,94**	78,32**
( $\psi_S$ )	2	17840,84**	81328,68**	6,33**	74,29**	567,76**
Int. S x $\psi_S$	2	3045,80**	325,24**	2,33*	0,62**	22,04**
Resíduo	30	0,88	5,87	0,60	0,041	0,027
C.V. (%)	-	1,80	18,38	3,84	4,68	1,47

\* = significativo P < 5%, pelo teste F.

\*\* = significativo P < 1%, pelo teste F.

TABELA 12 - Análises de variâncias para efeitos do NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e PEG 6000, sobre as médias do peso da matéria seca da parte aérea, da raiz e da relação raiz/parte aérea da cultivar de arroz IAC 25.

Causas de Variação		Quadrados Médios		
		Matéria Seca da Parte Aérea	Matéria Seca da Raiz	Relação Raiz/Par- te Aérea
Contr. <u>VS</u> Estresse	1	63,08**	16,00**	1612,68**
Sal <u>VS</u> PEG	1	33,89**	0,24**	20,24**
Ef. L. PEG	1	5,44**	11,52**	64,63**
Ef. Q. PEG	1	1,40**	2,16**	16,09**
Sais (S)	1	0,80**	4,68**	10,73**
$\psi_s$	2	37,35**	8,64**	0,12 NS
Inter. S x $\psi_s$	2	1,05**	1,64**	14,39**
Resíduo	30	0,014	0,005	0,004
C.V. (%)	-	4,18	3,84	9,61

\*\* = significativo  $P < 1\%$ , pelo teste F.

NS = não significativo  $P < 5\%$ , pelo teste F.



#### 4.2.1 - Porcentagem de Germinação

Comparando-se as médias da germinação das sementes da cultivar IAC 25 nas três substâncias, nos diferentes potenciais osmóticos (TABELA 13), verifica-se que os sais afetaram mais a germinação do que o PEG 6000. Isto ocorreu devido às acentuadas diferenças nos resultados dos tratamentos sob potencial osmótico de  $-0,8$  MPa, no qual o PEG 6000 apresentou uma germinação de 71,00%, enquanto no NaCl e  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  germinaram apenas 33,00 e 21,50%, respectivamente. Observa-se, ainda, decréscimos insignificantes na porcentagem de germinação a  $-0,4$  MPa, em relação ao controle; no entanto, à medida que se diminuía o potencial osmótico para  $-0,8$  MPa, a germinação decresce significativamente, sendo nula a  $-1,2$  MPa.

#### 4.2.2 - Plântulas Anormais e Sementes não Germinadas

Constata-se na TABELA 14 que, com a redução do potencial osmótico o número de plântulas anormais foi bem maior do que o de sementes não germinadas. Em qualquer das três substâncias utilizadas, houve diminuição no poder germinativo não devido ao total impedimento da germinação, mas, motivada, na maioria dos casos, pelo aparecimento de plântulas com características anormais. Assim é que, no potencial osmótico de  $-1,2$  MPa, onde a germinação foi nula, verificou-se que as sementes iniciaram o processo germinativo, mas não tiveram capacidade de originar plântulas anormais. Os tratamentos sob condições salinas apresentaram um maior número de plântulas anormais do que aqueles submetidos aos efeitos do PEG 6000. Por outro lado, esta substância proporcionou maior porcentagem de sementes não germinadas, principalmente no potencial osmótico de  $-1,2$  MPa.

TABELA 13 - Efeitos do NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e PEG 6000 na germinação (porcentagem de plântulas normais) de sementes da cultivar de arroz IAC 25.

Substâncias	Potenciais Osmóticos (MPa)				Média
	0,0	-0,4	-0,8	-1,2	
H <sub>2</sub> O (controle)	100	-	-	-	A 100,0
NaCl	-	A 99,5 a	B 33,0 b	A 0,0c	A 44,2
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	A 98,0 a	C 21,5 b	A 0,0c	D 39,8
PEG 6000	-	A 93,0 a	A 71,0 b	A 0,0c	B 54,7

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



TABELA 14 - Efeitos do NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e PEG 6000 na porcentagem de plântulas anormais e de sementes não germinadas da cultivar de arroz IAC 25.

Substâncias	Potenciais Osmóticos (MPa)				Média
	0,0	-0,4	-0,8	-1,2	
<u>Plântulas Anormais (%)</u>					
H <sub>2</sub> O (controle)	0,0	-	-	-	C 0,0
NaCl	-	B 0,5c	B 66,0b	A 98,0a	A 54,8
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	AB2,0c	A 78,5b	A 99,5a	A 60,0
PEG 6000	-	A 7,0c	C 29,0b	A 71,5a	A 35,8
<u>Sementes Não Germinadas (%)</u>					
H <sub>2</sub> O (controle)	0,0	-	-	-	B 0,0
NaCl	-	A 0,0b	A 1,0ab	B 2,0a	B 1,0
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	A 0,0a	A 0,0a	B 0,2a	B 0,2
PEG 6000	-	A 0,0b	A 0,0b	A 28,5a	A 9,5

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

#### 4.2.3 - Comprimento da Parte Aérea

Como pode ser observado na TABELA 15, este parâmetro foi muito afetado pelos efeitos salinos e do PEG 6000. Enquanto o comprimento médio do tratamento controle foi de 12,75 cm, o NaCl o reduziu para 7,50 cm, 3,43 cm e 0,91 cm, quando os potenciais osmóticos das soluções decresceram para -0,4 MPa, -0,8 MPa e -1,2 MPa, respectivamente. As diferenças entre estas médias foram estatisticamente significativas, do mesmo modo que foram para o  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e PEG 6000. A -0,4 MPa o  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  teve um efeito semelhante ao NaCl e o comprimento da parte aérea foi 7,71 cm caindo para 4,67 e 2,18 cm com a redução dos respectivos potenciais osmóticos para -0,8 e -1,2 MPa. O PEG 6000 apresentou um efeito negativo mais marcante, com um crescimento médio atingindo apenas 1,44 cm. Nesta substância não houve diferenças estatisticamente significativas quando o potencial osmótico diminuiu de -0,4 MPa para -0,8 MPa onde as partes aéreas atingiram 2,39 e 1,93 cm de comprimento, respectivamente. Quando o potencial osmótico do PEG 6000 foi -1,2 MPa, as sementes que iniciaram a germinação, não chegaram a desenvolver a parte aérea.

#### 4.2.4 - Comprimento da Raiz

Do mesmo modo que a parte aérea, a raiz foi bastante afetada pelos efeitos dos estresses. Como mostra a TABELA 15, a média dos efeitos do NaCl (10,8 cm) e do PEG 6000 (10,83 cm) não diferiram entre si. Entretanto, foram diferentes da média obtida sob efeito do  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (7,25 cm). Os valores obtidos com o aumento da concentração salina apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si, exceto quando o potencial osmótico variou de -0,4 para -0,8 MPa no PEG 6000, a qual, a -1,2 MPa, à exemplo da parte aérea, inibiu totalmente o crescimento da raiz. Sob ação



TABELA 15 - Efeitos do NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e PEG 6000 no comprimento da parte aérea e da raiz de plântulas da cultivar de arroz IAC 25.

Substâncias	Potenciais Osmóticos (MPa)				Média
	0,0	-0,4	-0,8	-1,2	
<u>Comprimento da Parte</u>					
<u>Aérea (cm)</u>					
H <sub>2</sub> O (controle)	12,75	-	-	-	A 12,75
NaCl	-	A 7,50 a	B 3,43 b	B 0,91 a	C 3,95
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	A 7,71 a	A 4,67 b	A 2,18 c	B 4,85
PEG 6000	-	B 2,39 a	C 1,93 a	C 0,00 b	D 1,44
<u>Comprimento da</u>					
<u>Raiz (cm)</u>					
H <sub>2</sub> O (controle)	24,72	-	-	-	A 24,72
NaCl	-	A 21,32 a	B 9,90 b	A 1,36 c	B 10,86
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	C 14,80 a	C 5,57 b	A 1,37 c	C 7,25
PEG 6000	-	B 16,40 a	A 16,16 a	B 0,00 b	B 10,83

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

do NaCl o comprimento da raiz decresceu com a redução do potencial osmótico, atingindo 21,32 cm para -0,4 MPa, 9,90 cm para -0,8 MPa e 1,36 cm para -1,2 MPa. Nos tratamentos com  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  o comprimento da raiz diminuiu para 14,80 cm, 5,57 cm e 1,37 cm com a respectiva variação do potencial osmótico de -0,4 para -0,8 e -1,2 MPa.

#### 4.2.5 - Peso da Matéria Seca da Parte Aérea

Os contrastes entre o NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e PEG 6000 indicaram as diferenças significativas entre os mesmos, cujos pesos médios correspondentes foram: 2,94 mg, 3,30 mg e 1,07 mg (TABELA 16). O controle teve um peso de 6,62 mg, enquanto os tratamentos com  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  foram os que menos reduziram o peso da matéria seca da parte aérea, mesmo assim, o teste de Tukey (5%) indicou haver diferenças estatisticamente significantes entre estes pesos. Quando o potencial osmótico foi de -0,4 MPa a matéria seca pesou 4,57 mg, caindo para 3,07 e 2,27 mg com a respectiva diminuição do potencial osmótico para -0,8 e -1,2 MPa. Os efeitos do NaCl foram mais prejudiciais comparados aos do  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , principalmente no nível salino com -1,2 MPa. Naquela substância a matéria seca da parte aérea pesou 4,95 g, 2,67 g e 1,20 g nos tratamentos com -0,4 MPa, -0,8 MPa e -1,2 MPa, respectivamente. O PEG 6000 apesar de não apresentar diferença significativa entre os pesos obtidos com potenciais osmóticos -0,4 MPa e -0,8 MPa, foi o tratamento que mais reduziu o peso da matéria seca da parte aérea. Os pesos obtidos foram: 1,65 mg a -0,4 MPa, 1,55 mg a -0,8 MPa e 0,0 mg a -1,2 MPa.

#### 4.2.6 - Peso da Matéria Seca da Raiz

As condições de estresse impostas às sementes da cul



tivar IAC 25, reduziram o peso da matéria seca da raiz das plântulas como mostram os dados contidos na TABELA 16. Sementes germinadas em água destilada (tratamento controle) apresentaram um peso médio da raiz das plântulas de 3,72 mg, decrescendo sob condições de estresse, com exceção do potencial osmótico de -0,4 MPa de NaCl. Os pesos médios para as três condições de estresse apresentaram diferenças significativas entre si com o NaCl (2,12 mg) afetando menos do que o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1,23 mg), o qual reduziu o peso da matéria seca da raiz mais do que o PEG 6000 (1,50 mg). A variação da concentração do NaCl, quando da redução do potencial osmótico para -0,4 MPa, -0,8 MPa e -1,2 MPa, provocou decréscimos nos pesos correspondentes a estes tratamentos. Os tratamentos com Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, do mesmo modo que o NaCl, apresentaram resultados que foram estatisticamente diferentes entre si, com uma redução gradual dos pesos conforme aumento da concentração salina. O PEG 6000 a -1,2 MPa não permitiu o crescimento da raiz e a -0,4 MPa e -0,8 MPa apresentou pesos médios de 2,40 e 2,10 mg, respectivamente, os quais apresentaram diferenças estatisticamente significantes entre si.

#### 4.2.7 - Relação Raiz/Parte Aérea

Através desta relação pode ser observada qual das duas partes da planta apresentou maior crescimento sob efeitos dos diversos tratamentos estressados em relação ao controle. Este foi um resultado óbvio, tendo em vista os dados apresentados por ambas as partes, quando estudadas isoladamente. Do mesmo modo e como pode ser observado na TABELA 16, os valores médios obtidos para o NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e PEG 6000, apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si. A média dos tratamentos sob efeito do Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> foi a que mostrou o valor mais baixo (0,09), seguindo-se os valores médios apresentados pelo NaCl (0,18) e PEG 6000 (0,23). Todavia, os números obtidos com a variação do potencial osmó

TABELA 16 - Efeitos do NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e PEG 6000, no peso da matéria seca da parte aérea, da raiz e na relação raiz/parte aérea de plântulas da cultivar de arroz IAC 25.

Substâncias	Potenciais Osmóticos (MPa)				Média
	0,0	-0,4	-0,8	-1,2	
<u>Peso da matéria Seca da Parte aérea (mg)</u>					
H <sub>2</sub> O (controle)	6,62	-	-	-	A 6,62
NaCl	-	A 4,95 a	B 2,67 b	A 1,20 c	C 2,24
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	B 4,57 a	A 3,07 b	A 2,27 c	B 3,30
PEG 6000	-	C 1,65 a	C 1,55 a	B 0,00 b	D 1,07
<u>Peso da Matéria Seca da Raiz (mg)</u>					
H <sub>2</sub> O (controle)	3,72	-	-	-	A 3,72
NaCl	-	A 3,72 a	B 1,80 b	A 0,82 c	B 2,12
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	C 1,85 a	C 1,12 b	A 0,72 c	D 1,23
PEG 6000	-	B 2,40 a	A 2,10 b	B 0,00 c	C 1,50
<u>Relação Raiz/Parte Aérea</u>					
H <sub>2</sub> O (controle)	0,56	-	-	-	A 0,56
NaCl	-	B 0,19 a	B 0,17 a	A 0,17 a	C 0,18
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	B 0,10 a	B 0,09 a	B 0,08 a	D 0,09
PEG 6000	-	A 0,36 a	A 0,34 a	B 0,00 a	B 0,23

Médias antecedidas da mesma letra minúscula na coluna e seguidas da mesma letra minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



tico, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si, exceto quando a concentração do PEG 6000 reduziu o potencial osmótico para  $-1,2$  MPa, onde, em função dos dados obtidos para cada parte isoladamente o resultado da relação foi zero.

#### 4.3 - Experimento III - Efeitos da salinidade no crescimento da cultivar IAC 25

A análise de variância para os efeitos de diferentes concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre o peso da matéria seca da cultivar de arroz IAC 25 durante parte da fase vegetativa (43 dias após a emergência das plântulas), mostrou diferenças altamente significativas para todos os itens relacionados com este parâmetro (TABELA 17). A variação no potencial osmótico da solução em que o arroz foi cultivado provocou alterações marcantes na produção de matéria seca para os diferentes tratamentos e para cada parte da planta, isoladamente estudada. Na TABELA 18, estão relacionados os quadrados médios dos efeitos do NaCl sobre o volume e comprimento da raiz, número de perfilhos para cada planta e o volume de solução transpirada.

Determinando-se a relação entre os níveis salinos e as observações efetuadas,, obteve-se diferenças altamente significativas até o efeito cúbico, para todas avaliações efetuadas neste experimento, exceto para os valores da relação raiz/parte aérea e para o número de perfilhos por planta, o que pode ser observado nas TABELAS 17 e 18. Na descrição dos efeitos salinos sobre as médias obtidas para cada observação e respectivos tratamentos, apresenta-se a equação de regressão estimada e o respectivo coeficiente de determinação.

Na TABELA 19 estão relacionadas as médias dos efeitos dos tratamentos sobre os parâmetros analisados, com os resultados dos testes de comparação das mesmas (Tukey 5%).

TABELA 17 - Análises de variâncias para efeitos de diferentes concentrações de NaCl em solução nutritiva, sobre o peso da matéria seca da lâmina foliar, da parte aérea, da raiz, o peso seco total e a relação raiz/parte aérea da cultivar de arroz IAC 25.

Causas de Variação		Quadrados Médios				
		Matéria Seca da Lâmina Foliar	Matéria Seca da Parte Aérea	Matéria Seca da Raiz	Matéria Seca Total	Relação Raiz/Parte Aérea
Reg. Linear	1	20,1511**	69,3223**	1,4256**	90,6799**	0,0046**
Reg. Quadrática	1	4,0051**	15,6645**	0,2691**	20,1563**	0,0006**
Reg. Cúbica	1	0,6610**	1,4209**	0,0250**	1,7801**	0,0000 <sup>ns</sup>
Resíduo	16	0,0058	0,0072	0,0003	0,0079	0,0000
C.V. (%)	-	3,08	1,92	2,03	1,69	1,86

\*\* = significativo  $P < 1\%$ , pelo teste F.

ns = não significativo  $P < 5\%$ , pelo teste F.



TABELA 18 - Análises de variâncias para efeitos de diferentes concentrações de NaCl em solução nutritiva, sobre o volume de raiz, o comprimento total da raiz, número de perfilhos por planta e volume transpirado da cultivar de arroz IAC 25.

Causas de Variação		Quadrados Médios			
		Volume da Raiz	Comprimento da Raiz	Perfilhos Por Planta	Transpiração Planta/Dia
Reg. Linear	1	767,29**	190208,64**	10,89**	467856,00**
Reg. Quadrática	1	76,05**	1085,90 <sup>ns</sup>	6,05**	95220,00**
Reg. Cúbica	1	34,81**	331127,24**	1,21 <sup>ns</sup>	16384,00**
Resíduo	16	2,17	14008,09	0,35	1991,87
C.V. (%)	-	6,43	9,74	26,46	16,67

\*\* = significativo  $P < 1\%$ , pelo teste F.

ns = não significativo  $P < 5\%$ , pelo teste F.

TABELA 19 - Efeitos de diferentes níveis de NaCl em solução nutritiva sobre o peso da matéria seca da lâmina foliar, da parte aérea, das raízes, peso seco total e relação raiz/parte aérea, volume da raiz, comprimento da raiz, número de perfilhos por planta e volume transpirado da cultivar de arroz IAC 25. Dados médios de 5 plantas obtidos durante a fase vegetativa (33 dias após o transplântio).

Potenciais Osmóticos (NaCl)	Peso da Matéria Seca (g)					Volume da raiz (cm <sup>3</sup> )	Comprimen- to da raiz (cm)	Perfilhos por Planta (nº)	Transpira- ção/planta/ /dia (ml)
	Lâmina foliar	Parte aérea	Raiz	Total	R./P.A.*				
0,0 (controle)	4,34 a	7,92 a	1,30 a	9,22 a	0,16 d	33,80 a	1579 a	6,40 a	16,6 a
-0,4 MPa	2,22 b	4,01 b	0,77 b	4,78 b	0,19 c	22,00 b	1518 a	4,20 b	6,72 b
-0,8 MPa	1,81 c	3,06 c	0,63 c	3,69 c	0,20 b	20,00 b	897 b	4,20 b	4,90 bc
-1,2 MPa	1,48 d	2,69 c	0,59 d	3,25 d	0,21 a	16,00 c	866 c	4,20 b	3,44 c
D.M.S. (5%)	0,14	0,15	0,03	0,16	0,006	2,67	214	1,07	2,39

Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

\* R./P.A. = relação raiz/parte aérea.



#### 4.3.1 - Peso da Matéria Seca da Lâmina Foliar

Como mostra a TABELA 19, os efeitos do NaCl indicaram diferenças estatisticamente significativas em todos os parâmetros analisados, proporcionando uma gradual redução no conteúdo de matéria seca das folhas, em função do decréscimo no potencial osmótico do meio de cultivo. A diminuição no peso da matéria, com relação ao tratamento controle, foi da ordem de 48,58% para -0,4 MPa, 58,29% para -0,8 MPa e 65,90% para -1,2 MPa. Estas porcentagens mostraram efeitos marcantes do NaCl, a partir da primeira redução no potencial osmótico da solução, que diminuiu o peso da matéria seca em 48,85%, enquanto os decréscimos do potencial osmótico de -0,4 para -0,8 para -1,2 MPa, diminuíram os pesos da matéria seca das folhas em 18,47 e 18,23%, respectivamente. A FIGURA 1 ilustra os resultados obtidos para esta avaliação, onde houve uma associação positiva entre os potenciais osmóticos e os pesos da matéria seca das folhas. O coeficiente de determinação indicou um alto grau de associação entre as variáveis indicando que 99,60% da redução da matéria seca, são explicados pela variação do potencial osmótico.

#### 4.3.2 - Peso da Matéria Seca da Parte Aérea

Houve diferenças estatisticamente significativas entre os pesos de matéria seca dos quatro tratamentos e se verificaram reduções de 49,37%, 61,36% e 66,03%, em relação ao controle e as soluções de -0,4 MPa, -0,8 MPa e -1,2 MPa, de NaCl, respectivamente. A medida que o potencial osmótico foi reduzido do controle para -0,4, de -0,4 para -0,8 e de -0,8 para -1,2 MPa, houve reduções de 49,37% do peso da matéria seca, na primeira variação do potencial osmótico, de 23,69% na segunda e de apenas 12,09% quando o potencial osmótico diminuiu de -0,8 para -1,2 MPa (TABELA 19). A FIGU-

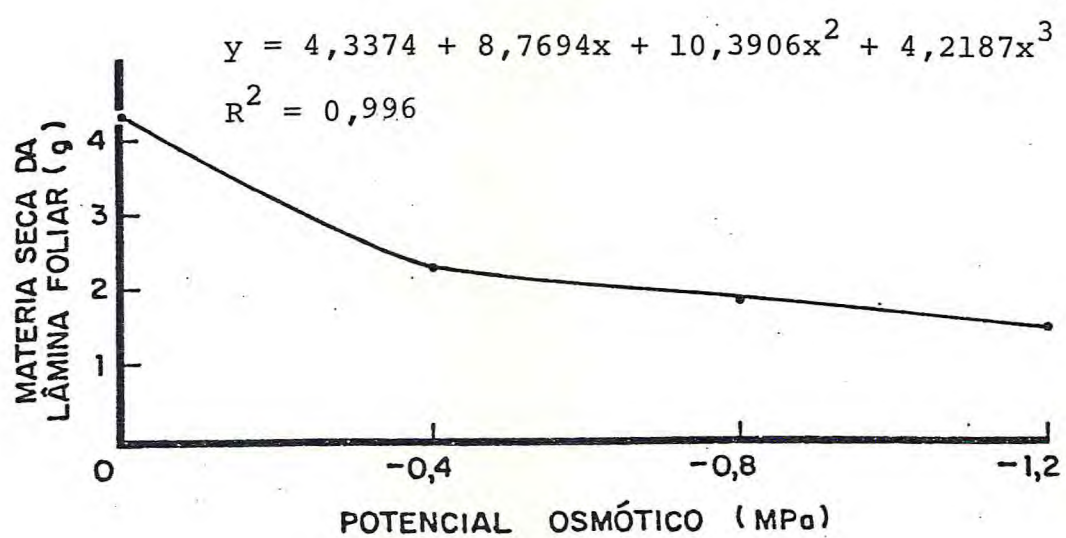


FIGURA 1 - Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a matéria seca da lâmina foliar.



RA 2 mostra a curva ilustrativa da variação do peso da matéria seca da parte aérea, em função da variação do potencial osmótico da solução. O coeficiente de determinação indica que 99,80% desta variação podem ser atribuídos à redução do potencial osmótico. O grau de associação entre as duas variáveis é, relativamente, elevado.

#### 4.3.3 - Peso da Matéria Seca das Raízes

Como pode ser observado na TABELA 19, as raízes apresentaram um conteúdo de matéria seca mais baixo do que aquele apresentado pelas lâminas foliares. Por outro lado, esta variação mostrou diferenças estatisticamente significativas entre as médias de todos os tratamentos. Da mesma forma que na parte aérea, a diminuição no potencial osmótico da solução pelo NaCl provocou uma redução crescente no peso da matéria seca dos tratamentos em relação ao controle. Os incrementos na porcentagem de redução da matéria seca, quando o potencial osmótico foi reduzido de -0,4 para -0,8 e posteriormente para -1,2 MPa (18,18% e 11,11%, respectivamente) foram muito inferiores aos 40,77% de diferença entre os pesos da matéria seca das raízes obtidos entre os tratamentos controle e do primeiro nível salino imposto (-0,4 MPa). Com relação ao peso de matéria seca das raízes obtido no tratamento controle, houve decréscimo de 40,77%, 51,53% e 56,92%, quando os potenciais osmóticos das soluções nutritivas com NaCl foram diminuídas para -0,4, -0,8 e -1,2 MPa, respectivamente. O coeficiente de determinação mostra que 99,70% da redução apresentada no peso da matéria seca dos diversos tratamentos podem ser explicados pelo decréscimo no potencial osmótico do meio de cultivo. A redução no peso da matéria seca das raízes foi positivamente relacionada com a diminuição do potencial osmótico, que apresenta uma associação relativamente forte, como mostra a FIGURA 3.

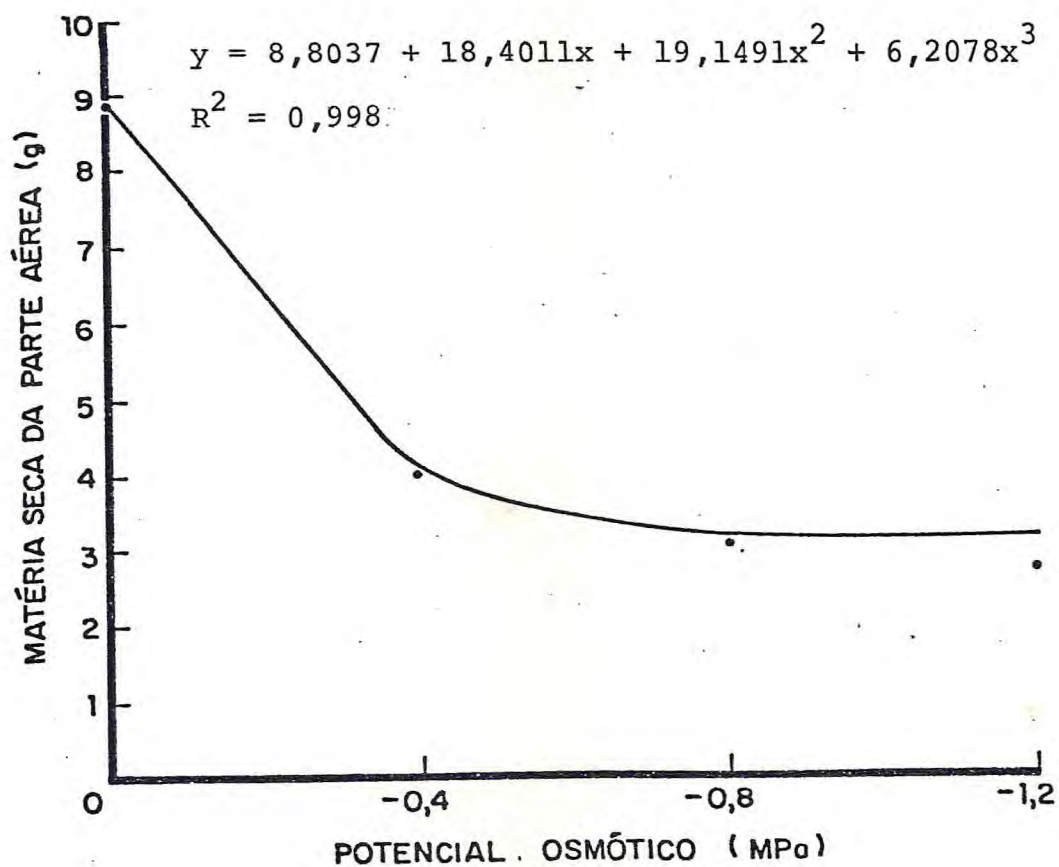


FIGURA 2 - Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a matéria seca da parte aérea.



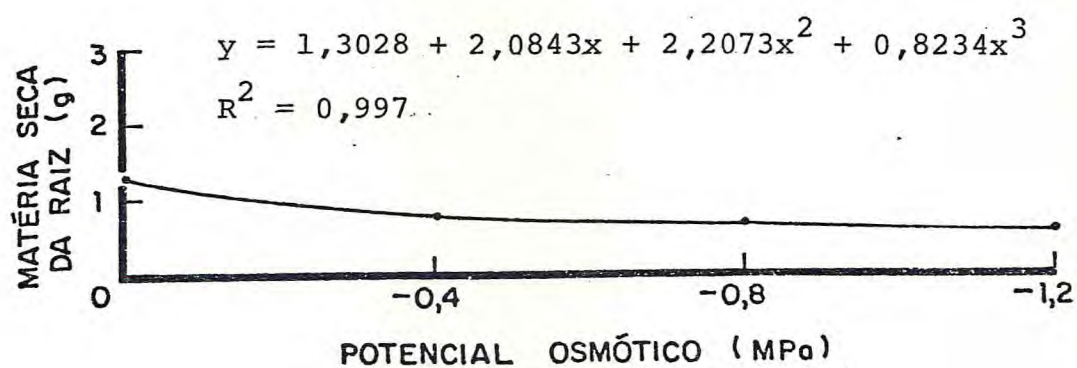


FIGURA 3 - Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a matéria seca da raiz.

#### 4.3.4 - Peso Total da Matéria Seca

Os dados sobre o peso total da matéria seca foram obtidos pela adição dos pesos da matéria seca da parte aérea e da raiz, o que obviamente, implica na semelhança destes resultados com os anteriormente discutidos e constantes da TABELA 19. O teste de comparação de médias mostrou haver diferenças estatisticamente significativas entre os resultados obtidos para todos os tratamentos. Neste caso, também foi observada uma redução crescente no peso da matéria seca, resultante do decréscimo no potencial osmótico da solução nutritiva por ação do NaCl. A maior redução foi observada quando a adição de NaCl reduziu o potencial osmótico da solução controle para  $-0,4$  MPa (48,21% do peso obtido no controle). Com relação ao peso total da matéria seca obtido no tratamento controle, houve decréscimo de 60,02 e 64,79%, quando os potenciais osmóticos das soluções com NaCl foram diminuídos para  $-0,8$  e  $-1,2$  MPa, respectivamente. A FIGURA 4 ilustra o peso total da matéria seca, associada com o decréscimo no potencial osmótico. O coeficiente de determinação indica que 99,70% da redução do peso total da matéria seca podem ser explicadas pela variação do potencial osmótico.

#### 4.3.5 - Relação Raiz/Parte Aérea

Os resultados desta avaliação, mencionados na TABELA 19, coerentemente com os dados que lhe deram origem, apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as médias de todos os tratamentos. No entanto, estes resultados estão inversamente correlacionados com os potenciais osmóticos. A medida que os potenciais osmóticos diminuíram, aumentaram os valores da relação raiz/parte aérea, em razão das médias apresentadas pela parte aérea, sofrerem relativamente maiores reduções do que as apresentadas pelas raízes. Os valores da relação aumentaram 15,79%, 20,0% e 23,80% em



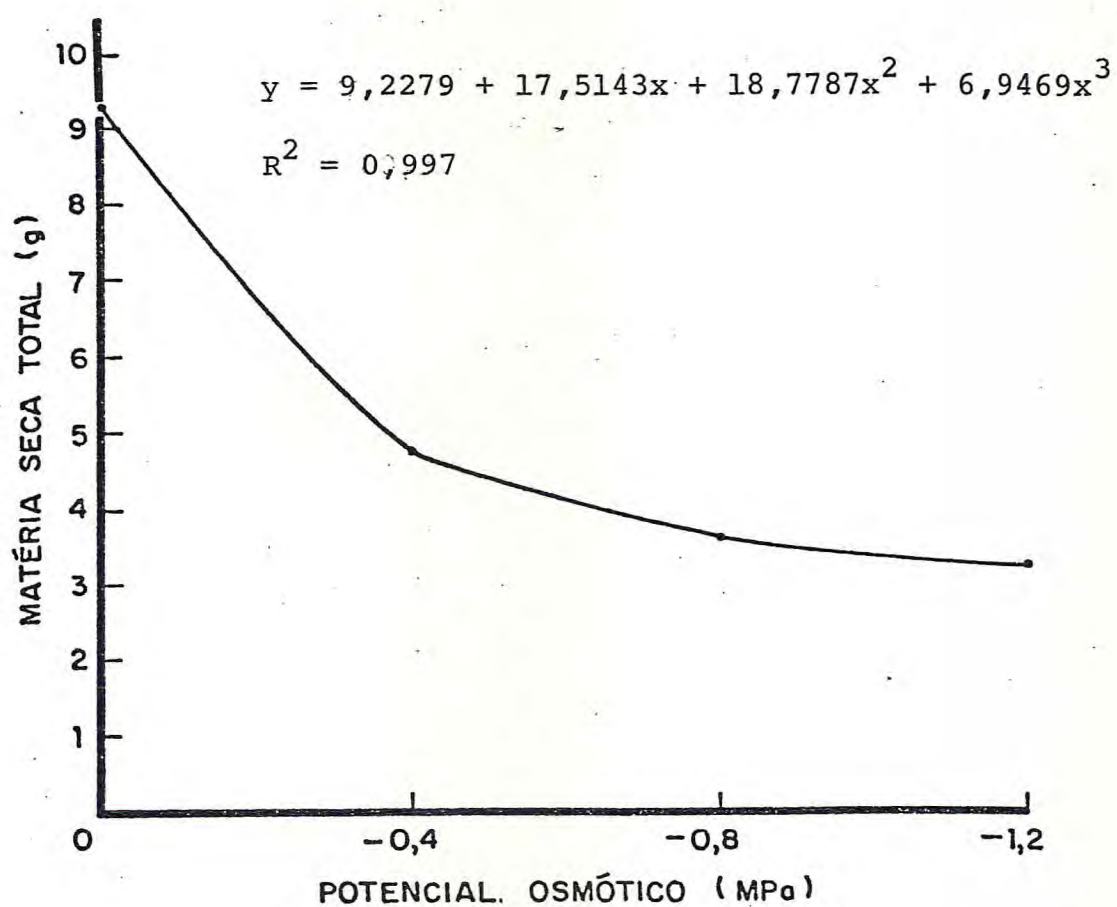


FIGURA 4 - Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a matéria seca total.

relação ao tratamento controle, quando o potencial osmótico diminuiu para -0,4 e -1,2 MPa, respectivamente. Com o aumento da concentração salina e consequente redução do potencial osmótico da solução controle para -0,4 e de -0,4 para -0,8 e deste valor para -1,2 MPa, houve incrementos parciais de 40,77%. 5% e 5%, respectivamente para cada variação do potencial osmótico. A FIGURA 5 mostra a curva representativa do efeito do NaCl na relação raiz/parte aérea. O coeficiente de determinação indica que 98,80% da variação dos valores obtidos estão relacionados com a redução do potencial osmótico.

#### 4.3.6 - Volume da Raiz

O teste de comparação de médias indicou haver diferenças estatisticamente significativas entre o controle e os demais tratamentos e entre as médias obtidas com os potenciais osmóticos -0,4 ou -0,8 e -1,2 MPa. Os resultados dos tratamentos sob potenciais osmóticos -0,4 e -0,8 MPa não diferiram estatisticamente entre si. O efeito do NaCl sobre o volume do sistema radicular das plantas de arroz (cultivar IAC 25) foi mais expressivo quando o potencial osmótico da solução controle decresceu para -0,4 MPa, provocando uma redução de 34,91% no volume da raiz. Como pode ser observado na TABELA 19, a redução no volume da raiz, quando o potencial osmótico diminuiu de -0,4 para -0,8 MPa, foi altamente significativa (9,09%). No entanto, esta redução ampliou-se (20%) quando o potencial osmótico variou de -0,8 para -1,2 MPa. A curva ilustrativa do efeito do NaCl sobre o desenvolvimento da raiz está apresentada na FIGURA 6. Houve uma correlação positiva entre a redução do volume da raiz e os potenciais osmóticos. O coeficiente de determinação indicou 96,20% como a porcentagem de variação no volume da raiz, que pode ser explicado pela redução do potencial osmótico.



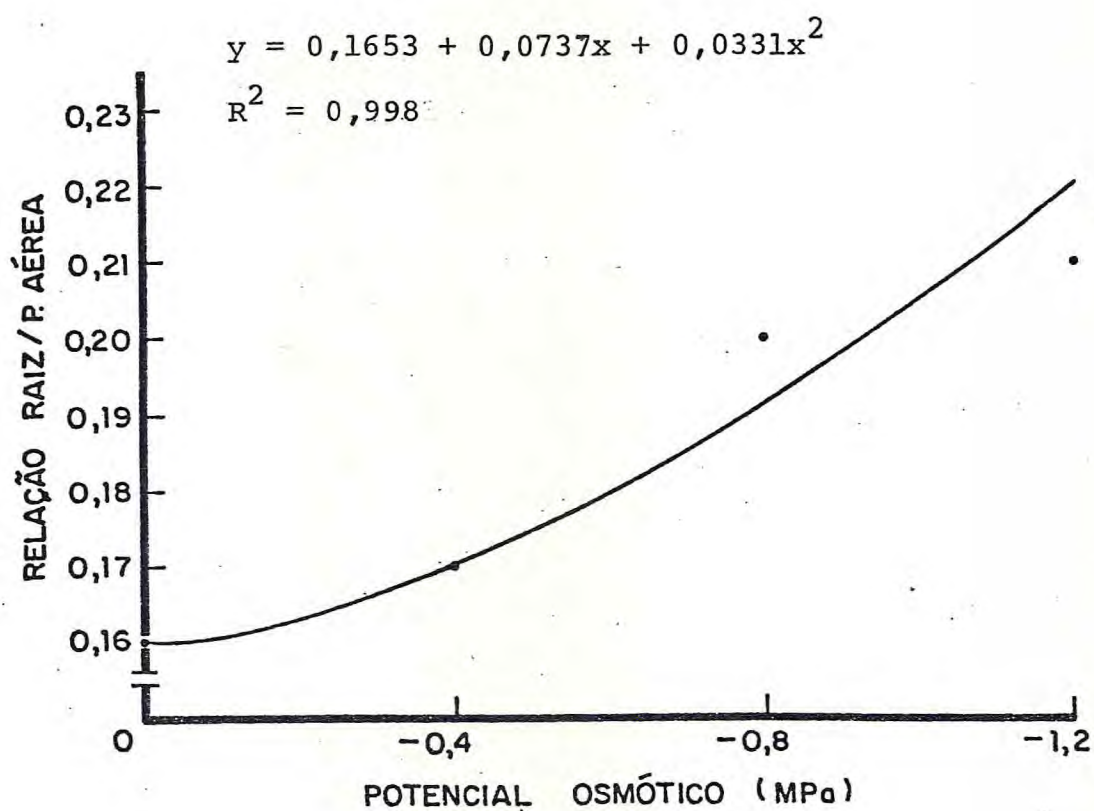


FIGURA 5 - Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a relação raiz/parte aérea.

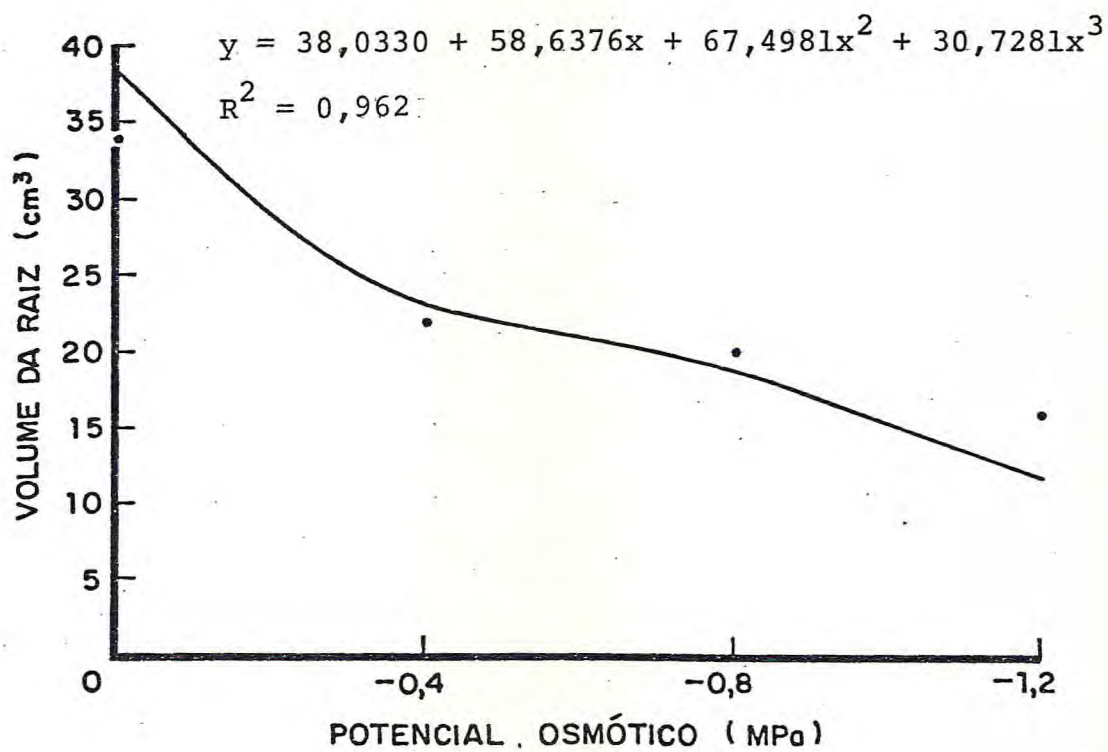


FIGURA 6 - Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre o volume da raiz.



#### 4.3.7 - Comprimento da Raiz

As variações do comprimento total das raízes em relação aos tratamentos se processaram diferentemente daquelas observadas para os outros parâmetros avaliados. Como mostra a TABELA 19. O controle e o tratamento com potencial osmótico -0,4 MPa de NaCl, não diferiram entre si mas, houve diferenças significativas entre estes e as médias dos outros dois tratamentos (-0,8 MPa e -1,2 MPa) que, do mesmo modo, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si. A redução do comprimento da raiz quando o potencial osmótico diminui do controle para -0,4 MPa foi de apenas 3,86%, elevando-se para 40,91%, quando o potencial osmótico decresceu de -0,4 para -0,8 MPa. Quando o potencial osmótico foi reduzido de -0,8 para -1,2 MPa, a variação no comprimento da raiz voltou a ser muito baixa (3,45%). Em relação ao tratamento controle, os decréscimos no comprimento da raiz foram de 3,8%, 43,19% e 45,15%, quando o potencial osmótico foi reduzido para -0,4 MPa, -0,8 MPa e -1,2 MPa, respectivamente. A FIGURA 7 ilustra os resultados apresentados pelos tratamentos impostos a cultivar de arroz IAC 25, os quais mostraram um grau de associação bastante elevado entre os potenciais osmóticos e o comprimento da raiz. O coeficiente de determinação indicou que 99,80% da redução no comprimento da raiz está relacionado com os decréscimos nos potenciais osmóticos.

#### 4.3.8 - Número de Perfilhos por Planta

O perfilhamento das plantas de arroz, cultivar IAC 25, mostrou sensibilidade ao efeito do NaCl, apresentando diferença estatisticamente significativa entre as médias do controle e os demais tratamentos. Os resultados dos tratamentos sob efeito salino não diferiram entre si (TABELA 19).

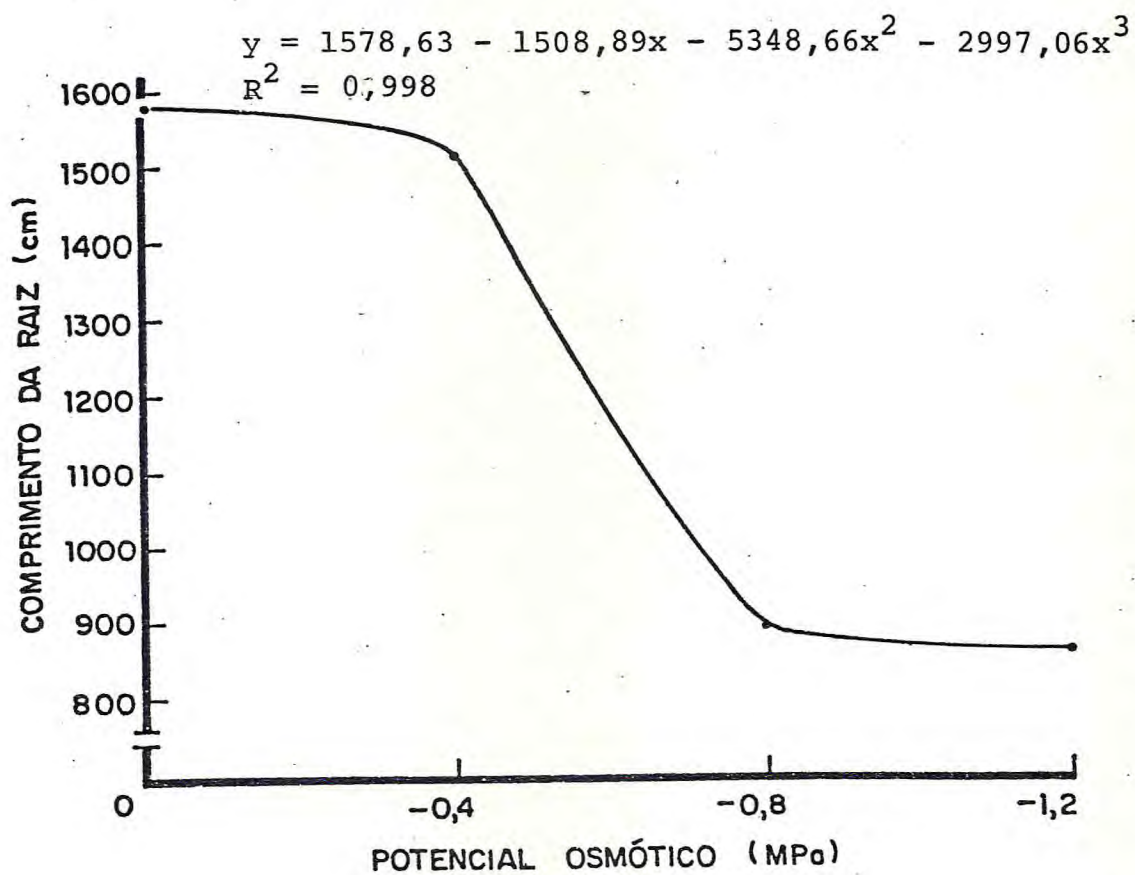


FIGURA 7 - Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre o comprimento da raiz.



Quando o potencial osmótico foi reduzido pela ação do NaCl para 0,4 MPa houve uma redução no número de perfilhos por planta de 34,37%. Mesmo com o aumento do nível salino e consequente redução do potencial osmótico para -0,8 e -1,2 MPa, o número de perfilhos permaneceu estável. A média do controle foi de 6,4 perfilhos por planta, a qual foi reduzida para 4,2 nos tratamentos sob efeito salino, como mostra a TABELA 19. O efeito do NaCl sobre o perfilhamento das plantas de arroz está expresso na FIGURA 8. O coeficiente de determinação indica que 71,30% da variação no número de perfilhos por planta podem ser explicados pela redução do potencial osmótico e que houve um elevado grau de associação entre estas variáveis.

#### 4.3.9 - Transpiração

Na TABELA 19 pode ser observada uma redução progressiva na transpiração, em função do decréscimo no potencial osmótico do meio de cultivo. Conforme mostrou o teste de comparação de médias, houve diferenças estatisticamente significativas entre os resultados do controle e os demais tratamentos. Foi também observada uma diferença estatisticamente significativas entre os valores de transpiração nos tratamentos a -0,4 e -1,2 MPa de NaCl. A redução da transpiração por parte das plantas em relação ao controle foi de 59,49%, 77,73% e 79,56%, respectivamente para os tratamentos com potenciais osmóticos de -0,4 MPa, -0,8 MPa e -1,2 MPa de NaCl. Quando a redução do potencial osmótico atingiu -0,8 MPa, as plantas iniciaram um processo de senescência a partir das extremidades das folhas mais velhas, avançando por toda a lâmina foliar e, por ocasião da avaliação, as plantas estavam quase que totalmente necrosadas. As plantas submetidas ao tratamento com -1,2 MPa de NaCl, dois dias após a complementação do nível salino correspondente a este potencial osmótico já estavam totalmente senescentes, o que certamente reduziu a

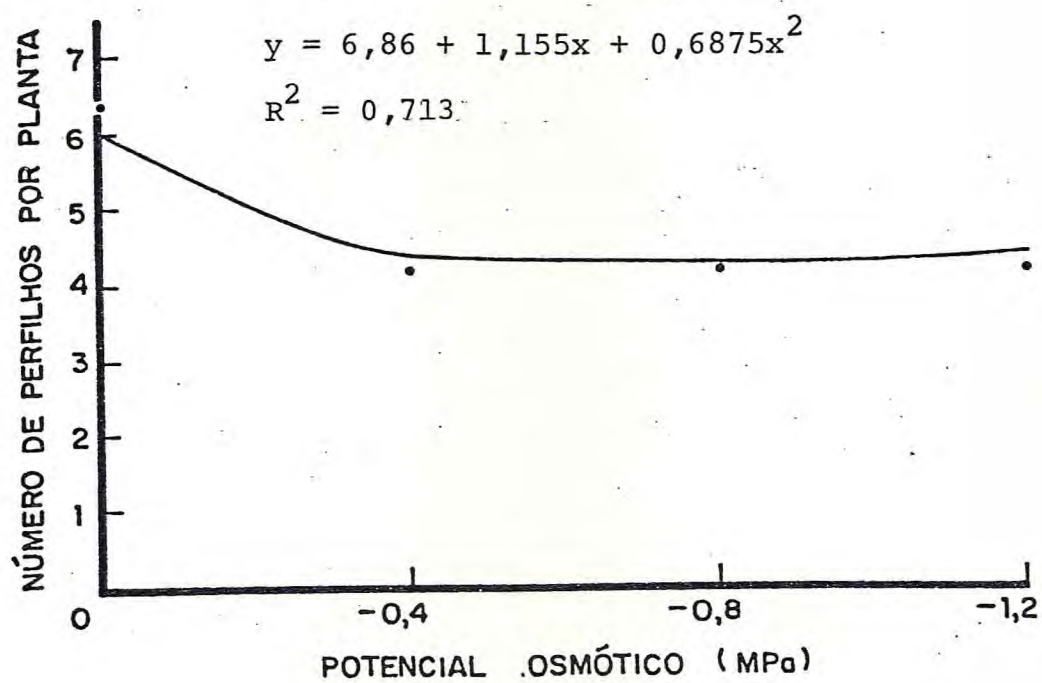


FIGURA 8 - Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre o número de perfilhos por planta.



transpiração. O coeficiente de determinação mostrou um grau de associação relativamente elevado entre a redução da transpiração e o decréscimo do potencial osmótico, o qual pode explicar 94,80% desta redução (FIGURA 9).

#### 4.3.10 - Composição Mineral

##### 4.3.10.1 - Nitrogênio

Os dados obtidos indicaram que o teor de nitrogênio por gram de matéria seca encontrado na parte aérea foi praticamente constante. O mesmo não ocorrendo na raiz, onde o conteúdo de nitrogênio apresentou uma redução crescente, à medida que o potencial osmótico da solução nutritiva foi diminuindo. Em relação ao tratamento controle, a porcentagem de nitrogênio na raiz decresceu 9,04%, 14,61% e 21,00%, de acordo com a respectiva redução do potencial osmótico da solução nutritiva para -0,4 MPa, -0,8 MPa e -1,2 MPa. O incremento de -0,4 MPa nos níveis de NaCl provocou reduções na raiz de 9,04%, 8,95% e 7,48% nas porcentagens de nitrogênio correspondentes aos tratamentos sob efeito salino (TABELAS 20 e 21).

##### 4.3.10.2 - Fósforo

O conteúdo de fósforo por grama de matéria seca da parte aérea sofreu reduções de 47,49%, 52,50% e 60,23%, em relação ao tratamento controle quando o potencial osmótico da solução foi reduzido para -0,4, -0,8 e -1,2 MPa, respectivamente. O incremento de -0,4 MPa na concentração de NaCl, provocou variações de 47,34%, 9,55% e 16,26%, o que mostra um efeito mais acentuado, quando a planta foi submetida ao primeiro tratamento salino (-0,4 MPa). Com o aumento da concen-

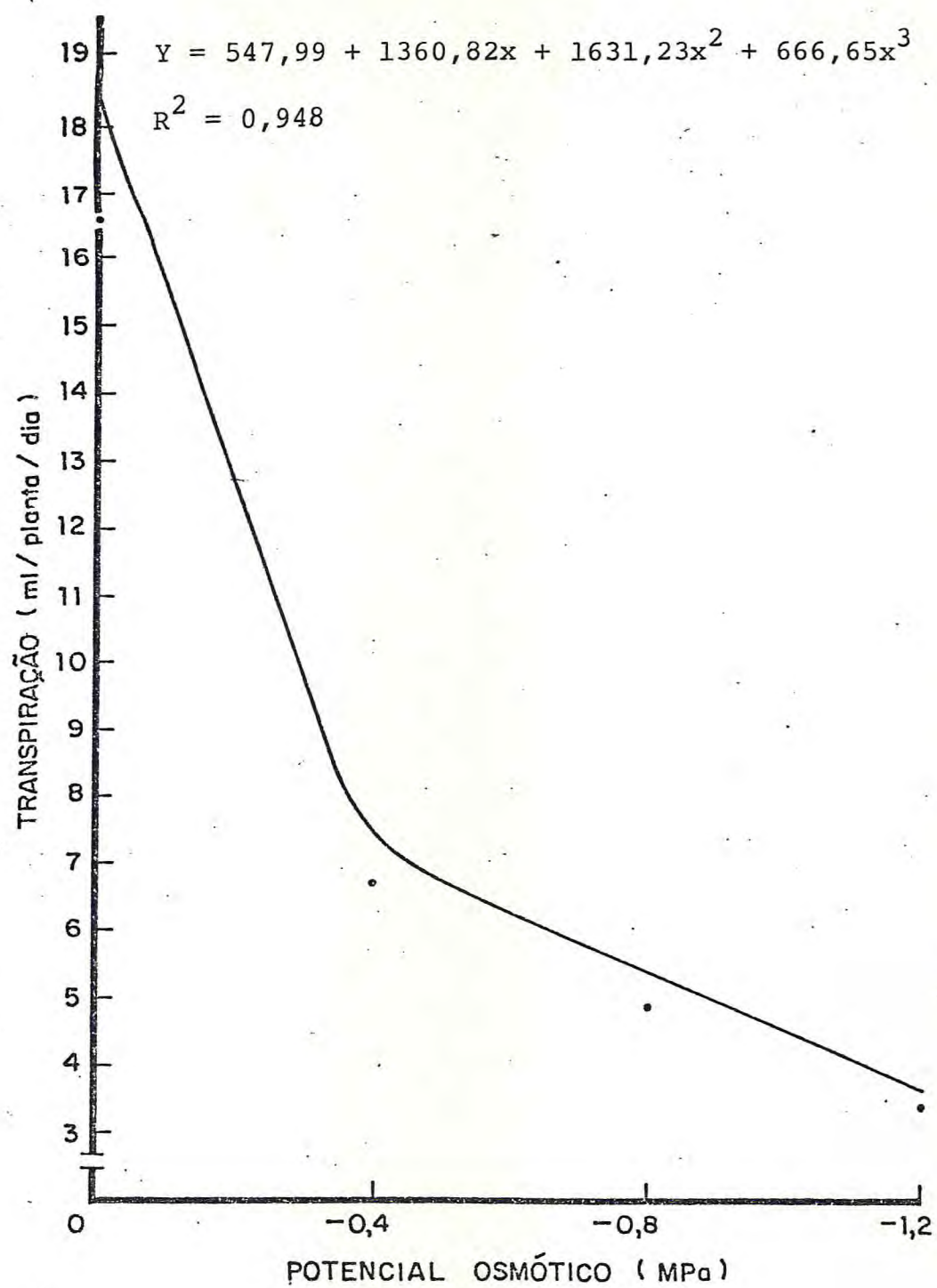


FIGURA 9 - Efeitos de concentrações de NaCl em solução nutritiva sobre a transpiração.



TABELA 20 - Efeitos de níveis de NaCl sobre a composição mineral (%) da parte aérea de plantas da cultivar de arroz IAC 25.

Potenciais Osmóticos	N	P	K	Ca	Na
0,0 (controle) *	2,71	2,59	5,03	0,45	0,06
-0,4 MPa	2,71	1,36	2,89	0,56	1,31
-0,8 MPa	2,78	1,23	2,87	0,51	5,83
-1,2 MPa	2,78	1,03	2,86	0,50	6,43

\* Dados médios de duas análises de uma amostra constituída por material de cinco plantas.

TABELA 21 - Efeitos de níveis de NaCl sobre a composição mineral (%) da raiz de plantas da cultivar de arroz IAC 25.

Potenciais Osmóticos	N	P	K	Ca	Na
0,0 (controle)	2,19	1,56	3,10	0,33	0,20
-0,4 MPa	2,01	1,52	1,40	0,40	1,54
-0,8 MPa	1,87	1,58	0,77	0,42	2,44
-1,2 MPa	1,73	1,56	0,58	0,40	2,63

\* Dados médios de duas análises de uma amostra constituída por material de cinco plantas.

tração do NaCl e consequente decréscimo do potencial osmótico da solução nutritiva, as reduções nos teores de fósforo foram relativamente baixas. As variações dos conteúdos de fósforo podem ser consideradas insignificantes, uma vez que obteve 1,56% para o tratamento controle, 1,52%, 1,58% e 1,56% para os tratamentos de -0,4, -0,8 e -1,2 MPa de NaCl, respectivamente (TABELAS 20 e 21).

#### 4.3.10.3 - Potássio

O comportamento das plantas com respeito à absorção de potássio na parte aérea foi semelhante aquele apresentado para o fósforo, com uma redução mais elevada em relação ao controle e praticamente nula entre os tratamentos sob efeito salino. Comparada com a porcentagem de potássio, por grama de matéria seca obtida no controle, os demais tratamentos apresentaram reduções da ordem de 54,84%, 75,16% e 81,29%, quando o potencial osmótico foi reduzido para -0,4, -0,8 e -1,2 MPa, respectivamente. Estes dados mostraram uma redução mais elevada no teor de potássio do primeiro tratamento a qual foi diminuindo com os incrementos na concentração salina. Na raiz houve duas reduções que, neste caso, merecem ser destacadas. O tratamento controle apresentou 3,10% de potássio o qual foi reduzido para 1,40%, quando o potencial osmótico decresceu para -0,4 MPa, correspondendo a um decréscimo de 45,16% em relação ao controle. Os outros dois tratamentos, -0,8 e -1,2 MPa de NaCl apresentaram respectivamente, 0,77 e 0,58%, que representam reduções de 24,84 e 18,81% no conteúdo do potássio em relação ao controle. A redução no teor de potássio observado com a diminuição do potencial osmótico do controle para -0,4 MPa e deste, para -0,8 MPa, foram mais significativas do que quando o potencial osmótico variou de -0,8 para -1,2 MPa (TABELAS 20 e 21).



#### 4.3.10.4 - Cálcio

A porcentagem de cálcio por grama de matéria seca na parte aérea apresentou uma situação inversa daquela observada para o fósforo e potássio; uma vez que a porcentagem de cálcio, em relação ao controle, aumentou com a redução do potencial osmótico. Enquanto o controle apresentou 0,45% de cálcio, os tratamentos sob -0,4, -0,8 e -1,2 MPa elevaram os seus conteúdos para 0,56%, 0,51% e 0,50%, correspondendo a aumentos da ordem de 19,64%, 11,76% e 10%, respectivamente. Comparando as porcentagens obtidas para os quatro tratamentos, verificou-se que os incrementos de -0,4 MPa de NaCl na solução só provocou aumento no conteúdo de cálcio na parte aérea, quando o potencial osmótico variou do controle para -0,4 MPa, havendo reduções de 8,92% e 1,96% quando o potencial osmótico decresceu de -0,4 para -0,8 e deste para -1,2 MPa, respectivamente. Na raiz, a situação foi praticamente a mesma, só que os teores de cálcio foram mais baixos do que na parte aérea. O decréscimo do potencial osmótico do tratamento controle para -0,4 MPa propiciou um aumento de 21,12% no conteúdo de cálcio da raiz. No entanto, para os três tratamentos sob efeito do NaCl, as variações nos teores de cálcio podem ser considerados insignificantes. O controle apresentou 0,33% e os tratamentos salinos, 0,40%, 0,42% e 0,40% de cálcio nas raízes das plantas submetidas a soluções de NaCl de -0,4, -0,8 e -1,2 MPa de potenciais osmóticos, respectivamente (TABELAS 20 e 21).

#### 4.3.10.5 - Sódio

O teor de sódio, na parte aérea, sofreu um aumento expressivo quando a concentração de NaCl reduziu o potencial osmótico da solução. Com relação ao controle, a redução do potencial osmótico para -0,4 MPa provocou um aumento no teor



de sódio da matéria seca de 95,42%, passando para 98,97% e 99,07%, quando o potencial osmótico decresceu para -0,8 e -1,2 MPa, respectivamente. O incremento de -0,4 MPa nas concentrações salinas dos quatro tratamentos provocou um aumento de 95,42%, 77,53% e 9,34%, mostrando que houve maior absorção de sódio, quando o potencial osmótico diminuiu para -0,4 e -0,8 MPa. Com a redução do potencial osmótico de -0,8 para -1,2 MPa, o aumento observado na absorção do sódio foi, relativamente, muito baixo. A porcentagem de sódio por grama de matéria seca da raiz aumentou progressivamente quando os potenciais osmóticos das soluções de NaCl foram reduzidos. Com a variação dos potenciais osmóticos do controle para -0,4, -0,8 e -1,2 MPa a porcentagem de sódio aumentou 87,01%, 36,88% e 7,22%, respectivamente (TABELAS 20 e 21).

#### 4.3.11 - Determinação do Potencial Hídrico e dos Teores de Clorofila, Lipídios e Proteínas

As determinações do potencial hídrico, teores de clorofila, lipídios e proteínas só puderam ser efetuadas nas plantas do tratamento controle e sob potencial osmótico de -0,4 MPa de NaCl, uma vez que, elevada senescência com necrose dos tecidos tornaram inviáveis estas avaliações nos tratamentos sob -0,8 e -1,2 MPa. Como pode ser observado na TABELA 22, houve redução nos valores obtidos para estas quatro determinações quando o potencial osmótico variou do controle para -0,4 MPa. Com esta redução no potencial osmótico, o conteúdo de clorofila diminuiu 15,57%, o de lipídios 27,27%, o de proteínas 19,51%. O potencial hídrico também foi reduzido em 34,33% quando o potencial osmótico da solução foi reduzido para -0,4 MPa.



TABELA 22 - Efeitos dos níveis de NaCl sobre os valores do potencial hídrico e os teores de clorofila, lípidios, proteínas de folhas da cultivar de arroz IAC 25.

Potenciais Osmóticos (MPa) (Sol. Nutritiva)	Potencial Hídrico (MPa) (planta)	Clorofila (mg/g de Pe so fresco)	Lípidios (mg/g de peso fresco)	Proteínas (mg/g de pe so fresco)
0,0 controle	- 1,3	2,261	22	1,907
-0,4 (NaCl)	- 1,8	1,909	16	1,535

## 5 - DISCUSSÃO

### 5.1 - Germinação e Crescimento das Plântulas sob Estresse Salino e Hídrico

Sementes de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivares IAC 25, IAC 47, IAC 165, CNA 796019, IRAT 112 e CICA 8, quando colocadas para germinar em substrato umedecido com soluções de NaCl com potenciais osmóticos de -0,4 MPa e -0,8 MPa apresentaram grau de tolerância variável e resultados também diversos com relação ao tratamento controle. PEARSON et alii (1966) também observaram diferenças entre o comportamento de cultivares de arroz ao germinarem em meio salino. TAILAKOV (1967) observou comportamentos diferentes entre cultivares de uma mesma espécie quando colocadas para germinar em meio salino e que estas diferenças foram maiores para o milho do que para o sorgo, o que comprova as diferenças de reações entre espécies e entre cultivares da mesma espécie.

Os resultados dos testes de germinação apresentados nas TABELAS 3 e 13 mostram uma redução na porcentagem de plântulas normais obtidas 14 dias após a instalação do teste, uma vez que, as sementes sob -0,8 MPa apresentaram retardamento no processo germinativo, impossibilitando uma primeira contagem aos 7 dias. Do mesmo modo, HARRIS (1915) trabalhando com trigo, milho, beterraba, alfafa, aveia e cevada, observou que a porcentagem de germinação foi afetada pela salinidade, ocorrendo também, um aumento no período de germinação. GEORGE & WILLIAM (1964) observaram redução de até 50% na germinação de sementes de cevada (*Trifolium fragiferum*) e cravo em substrato salino. Por outro lado, GHILDYAL & JANAL (1966) estudando o comportamento de cultivares de arroz germinando em meio salino obtiveram resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho. TAILAKOV (1967) obteve redução de, aproximadamente, 50% da germinação de sorgo em substrato salini-



zado com NaCl. PETRASOVITS (1968) trabalhando com várias espécies de milho, BHUMBLA et alii (1968), NARALE et alii (1969) e BARI et alii (1973) pesquisando sobre germinação de arroz em meio salino, observaram, também o retardamento na germinação. Do mesmo modo, HORST & BEADLE (1984) observaram reduções progressivas, em relação ao controle, quando estudaram a germinação de "Fescue", em soluções salinas de concentrações crescentes.

As sete cultivares estudadas neste trabalho apresentaram sensibilidade diferentes, a partir dos tratamentos sob -0,4 MPa, a qual aumentou com a redução do potencial osmótico da solução para -0,8 MPa. Assim é que considerando-se o grupo de cultivares observadas neste trabalho, definiu-se a IAC 25 e IAC 47 tolerantes à salinidade até -0,4 MPa de NaCl, LEBONNET, CNA 796019 e CICA 8 foram consideradas moderadamente tolerantes e a IAC 165 e IRAT 112 pouco tolerantes. Entretanto, à -0,8 MPa, em que todo material foi severamente afetado pela salinidade, a cultivar IAC 25, IAC 47 e CNA 796019 foram as menos sensíveis. A cultivar IAC 25, de maneira geral, foi a mais tolerante à salinidade imposta e a IAC 165 foi a mais sensível. A primeira vista, poder-se-ia atribuir esta variação no comportamento do material a diferença no vigor inicial das sementes, concordando com resultados obtidos por PETRASOVITS (1968). Entretanto, os resultados apresentados pelas cultivares IAC 47, IAC 25, IAC 165, LEBONNET e CNA 796019 (TABELA 3) indicam que devem existir fatores genéticos envolvidos na maior ou menor capacidade de germinar em meio salino, visto que, sementes com mais baixa germinação em água destilada apresentaram maior porcentagem de germinação em meio salino. PETRASOVITS (1968) observou que a quantidade de água absorvida pelas sementes, em meio salino, foi reduzida com o aumento da concentração salina, o que deve ser uma das causas da redução na germinação. Por outro lado, AYRES (1952) indicou que a salinidade pode afetar a germinação tanto dificultando a absorção de água pelas sementes, como pela penetração de íons a níveis tóxicos. PRISCO & O'LEARY (1970) e BARI (1973) observaram respectivamente, que a germi



nação de sementes de feijão e arroz foram prejudicadas por redução na absorção de água quando postas para germinar em meio salino. Entretanto, CLARCK & WEST (1971), citados por BARI et alii (1973) comentaram que, na ausência de uma outra razão plausível, as diferenças genéticas podem explicar a variação de comportamento de cultivares sob condições de salinidade. SARIN & NARAYANAN (1968), citados por PRISCO et alii (1975) relataram sobre uma aparente inibição pelos sais, da síntese e/ou atividade de enzimas hidrolíticas necessárias à germinação. Esta inibição foi observada por PRISCO et alii (1975) embebendo as sementes de Sorghum bicolor em ácido gibelérico e beziladenina, antes de colocá-las para germinar em substrato contendo NaCl ou Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Como não houve sementes deterioradas, em vista da pré-seleção e tratamento das mesmas, as porcentagens de plântulas anormais e sementes não germinadas complementaram a porcentagem total do teste de germinação. Semelhante aos resultados obtidos por DINIZ (1979) e SOARES (1985), a ocorrência de plântulas anormais neste trabalho (TABELAS 8 e 14), apresentou uma tendência generalizada para um aumento na sua porcentagem com o aumento da concentração salina. Do mesmo modo, no ensaio onde se comparou efeitos de sais sobre a cultivar IAC 25, o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> reduziu mais a germinação, consequentemente provocou maior porcentagem de plântulas anormais do que o NaCl, sugerindo maior toxicidade. De modo contrário, HARRIS (1975) verificou que o NaCl apresentou maior toxicidade no solo do que o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, em estudos realizados com trigo, milho, beterraba, alfafa, aveia e cevada. VARADINOV (1967) observou que sementes de sorgo ao germinarem em soluções salinas de NaCl e Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tiveram o seu vigor reduzido. Neste experimento, observou-se que o efeito da concentração salina de soluções de NaCl e Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, com potencial osmótico de -1,2 MPa, inibiu completamente a germinação, o mesmo acontecendo com a substância não eletrolítica, PEG 6000, em igual concentração. Observando-se a TABELA 14, verifica-se que as porcentagens de sementes não germinados nos tratamentos sob efeitos salinos foram muito baixas, sugerindo que os efeitos



tóxicos dos sais provocaram mais anormalidade nas plântulas do que inibição na germinação. Isto pode ser comprovado comparando-se os resultados dos tratamentos sob efeitos salinos a -1,2 MPa e sob estresse hídrico, provocado pelo PEG 6000 na mesma concentração. Sob efeitos salinos, houve maior porcentagem de plântulas anormais e sob estresse hídrico maior número de sementes não germinadas. Nos tratamentos sob efeitos do PEG 6000 houve também uma redução progressiva na germinação, com consequente aumento na porcentagem de plântulas anormais e sementes não germinadas à medida que a concentração foi aumentada. UHVITS (1946), KHUDAIRI (1958), WIGGANS & GARDNER (1959) e PETERFI & BRUGOVITZKY (1965), do mesmo modo que foi observado neste trabalho, verificaram que soluções com substâncias não eletrolíticas como manitol, sacarose, glicose e polioximetileno glicol, provocaram retardamento e redução na germinação de sementes de alfafa, "date-palm", sorgo, rabanete, tremoço, fava, mostarda branca e trigo de inverno. UHVITS (1946) indicou o efeito osmótico do manitol, como responsável pela redução da entrada de água nas sementes e plântulas. Resultado semelhante foi obtido por PARMAR & MOORE (1966, 1968), pesquisando os efeitos do PEG 6000 sobre a germinação de sementes de milho. PRISCO & O'LEARY (1970) observaram que o efeito do PEG 1540, foi mais efetivo na redução da germinação de sementes de feijão (Phaseolus vulgaris, L.), do que o NaCl, a -8 bar. Todavia, só -12 bar é que o efeito comparativo entre o polietileno glicol e o NaCl foram mais significativos.

Em acordo com relatos de BERNSTEIN et alii (1955), BERNSTEIN & HAYWARD (1958), PEARSON et alii (1966), PETRASOVIT (1968), BARI et alii (1974) e AKBAR & YABUNO (1974), trabalhando com milho, feijão e arroz, o crescimento das plântulas de arroz (cultivar IAC 25) foi bastante afetado pelos efeitos dos estresses impostos. Com relação ao crescimento da parte aérea, o NaCl foi mais prejudicial do que o Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. No entanto, o estresse hídrico provocado pela solução de PEG 6000 reduziu mais o crescimento da parte aérea do que os efeitos salinos. Em média, o estresse salino reduziu, em aproximadamente, 83%



o comprimento da parte aérea, o que indica que a cultivar IAC 25 não é muito tolerante à salinidade nos estágios iniciais de crescimento das plântulas, concordando com os resultados obtidos por AKBAR & YABUNO (1974) e PEARSON et alii (1966) em pesquisas com cultivares de arroz. Na raiz, como na parte aérea, houve também uma redução progressiva, no seu crescimento, relacionado com o aumento da concentração salina e do PEG 6000. Entretanto, nesta parte da plântula os efeitos de polietileno glicol 6000, foram menos prejudiciais do que o  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e não houve diferenças estatisticamente significativas entre a média dos valores obtidos para os tratamentos com PEG 6000 e NaCl. Neste trabalho, igualmente o que foi observado por CHATTERTON & McKELL (1969), citados por BARI et alii (1973) o crescimento dos ramos foi mais afetado pela salinidade, contrariando afirmações feitas por BARI et alii (1973).

Semelhante ao resultado obtido por PAINTER (1966) observando o comportamento do milho em soluções de polietileno glicol 6000 a -0,8 MPa quando se observou que o crescimento das plântulas foi completamente inibido quando o potencial osmótico da solução atingiu -1,2 MPa. Entretanto, no trabalho desenvolvido por PRISCO & O'LEARY (1970) com Phaseolus vulgaris, L., os efeitos do NaCl e do PEG 1540 só apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si, a -1,2 MPa. No estudo aqui desenvolvido, os efeitos já foram significativos a partir de -0,4 MPa (TABELAS 13, 14, 15 e 16).

O peso da matéria seca foi igualmente afetado pelas condições de estresses impostas nos dois ensaios, envolvendo germinação e crescimento de plântulas. No primeiro ensaio, se observou uma pequena redução no peso da matéria seca, visto que o potencial osmótico da solução de NaCl só foi diminuído até -0,8 MPa. A cultivar IAC 25, como melhor rendimento no primeiro ensaio, apresentou maior redução no peso seco da parte aérea do que da raiz, consequência do desenvolvimento apresentado por estas duas partes. Nesta avaliação, o



NaCl foi mais prejudicial do que o  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , provocando maior redução no peso médio da matéria seca das plântulas. Entretanto, o estresse hídrico provocado pelo PEG 6000, reduziu mais o peso da matéria seca da parte aérea, do que os sais. Na raiz, houve reduções inferiores às observadas na parte aérea, provavelmente pela maior concentração dos sais naquela parte da plântula, onde os efeitos foram mais deletérios. No estresse hídrico, este efeito foi igualmente marcante, uma vez que a umidade não foi suficiente para que a parte aérea se desenvolvesse plenamente. GAUCH & WADLEIGH (1955) citados por BERNSTEIN & HAYWARD (1958) relataram que a taxa de crescimento em meio salino foi reduzida por alta pressão osmótica. BERNSTEIN et alii (1955) observaram que a níveis salinos elevados, a plântula pode emergir, mas o seu crescimento subsequente pode ser prejudicado, o que fatalmente, influenciará no peso seco das plântulas. HORST & BEADLE (1984) analisando os efeitos salinos do NaCl sobre a germinação de cultivares de "Fescue", observaram que a média do peso das plântulas aumentou 1%, quando o nível do sal aumento de 7.500 para 12.500 ppm e diminuiu 7%, quando a concentração salina foi elevada para 15.000 ppm. Neste trabalho, não se procurou identificar o mecanismo que provocou as reduções observadas, supondo-se, no entanto, que os sais provocaram efeitos tóxicos e osmóticos enquanto que o PEG 6000 influiu na germinação e crescimento das plântulas devido exclusivamente ao efeito osmótico.

Os valores da relação raiz/parte aérea apresentados na TABELA 10 mostraram que as plântulas de arroz não apresentaram diferenças de comportamento entre as cultivares. Quando se observou o comportamento da cultivar IAC 25, em diferentes concentrações de NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , e PEG 6000 (TABELA 16) varificou-se que as plântulas investiram igualmente na produção de matéria seca da raiz e parte aérea, independentemente do potencial osmótico, exceto para PEG 6000 a -1,2 MPa, onde não houve germinação.



## 5.2 - Efeitos do NaCl Sobre o Crescimento da Cultivar IAC 25

A exemplo dos resultados obtidos por DATA (1972) trabalhando com cultivares de arroz, neste experimento o crescimento das plantas foi também significativamente afetado pelo aumento da concentração salina. As reações mais sensíveis foram observadas na parte aérea, expressa em termos de redução no peso da matéria seca e aumento da relação raiz/parte aérea (TABELA 19, FIGURAS 2 e 5). Na parte aérea houve reduções significantes no peso da matéria seca, quando o potencial osmótico da solução de NaCl variou do controle até -1,2 MPa, com decréscimos mais acentuados (40,37 e 23,69%), nas variações do controle para -0,4 MPa e desta para -0,8 MPa respectivamente (TABELA 19, FIGURA 2). A causa da redução no crescimento da planta deve estar correlacionada com o acúmulo crescente de sódio na parte aérea, visto que quando a concentração de NaCl aumentou, reduzindo o potencial osmótico do controle para -0,4, -0,8 e -1,2 MPa, o teor de sódio aumentou em relação ao controle, 95,42%, 98,97% e 99,06%, respectivamente, na parte aérea e 87,01%, 91,80% e 92,39% na raiz (TABELAS 20 e 21). Com a redução do potencial osmótico da solução nutritiva houve também um decréscimo no teor de clorofila motivado pela senescência precoce e redução na taxa transpiratória provavelmente em virtude do fechamento dos estômatos, o que, sem dúvida, prejudicou os processos metabólicos. Enquanto, na parte aérea houve redução marcante no peso da matéria seca quando o potencial osmótico variou do controle a -0,4, -0,8 e -1,2 MPa de NaCl (45,37%, 23,69% e 12,09%, respectivamente) na raiz, a diminuição no peso da matéria seca foi mais elevada até -0,4 MPa (40,76%), seguindo-se reduções mais baixas quando o potencial osmótico variou de -0,4 para -0,8 MPa e deste para -1,2 MPa, respectivamente, 18,18 e 6,35% (TABELA 19). Mesmo assim, a análise de variância indicou haver diferenças estatisticamente significativas no peso da matéria seca da raiz. Entretanto, a relação entre o peso da matéria seca da raiz e da parte aérea foi crescen-



te mostrando que o efeito do acúmulo do sódio foi mais prejudicial à parte aérea, à medida que o potencial osmótico da solução nutritiva foi diminuindo pela adição de NaCl (TABELAS 17, 18 e 19, FIGURA 5). Estes resultados indicam que as plantas de arroz translocam e acumulam na parte aérea, grande parte do sódio absorvido pela raiz. Resultados diferentes foram encontrados por BARI et alii (1973) estudando a germinação e o crescimento de cultivares de arroz em solução salina contendo  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , NaCl,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  e  $\text{NaHCO}_3$  na proporção de 8:6:2:2:1. Este autor observou que a salinidade do meio suprimiu o crescimento da raiz mais do que da parte aérea. Observou ainda BARI et alii (1973) que as raízes estando em contato direto com a solução salina porém mais afetadas do que a parte aérea. Este autor, no entanto, não estudou o acúmulo de sais na planta, limitando-se a informar que a raiz é menos tolerante à salinidade do que a parte aérea, talvez pelo seu contato direto com o meio salino. Todavia, CHATTERTON & MCKELL (1969) citados por BARI et alii (1973), obtiveram resultados contrários aos de BARI et alii (1973) observando que o sal restringiu mais o crescimento da parte aérea do que da raiz, o que está de acordo com os resultados encontrados neste experimento. Do mesmo modo, trabalho desenvolvido por AYOUS (1977) com lentilha em meio salino mostrou que o peso da matéria seca da parte aérea diminuiu progressivamente com o aumento do nível salino do solo, acima de 3,1 mmhos/cm (aproximadamente -0,1 MPa). Naquele ensaio, o peso da matéria seca total sofreu reduções superiores a 50% em relação ao controle, valores superiores aos obtidos por FLOWERS & YEO (1981) estudando o comportamento de cultivares de arroz em meio salino. Entretanto, para estas condições experimentais as reduções do peso da matéria seca total foram de 48,18%, 59,98% e 64,75% em relação ao controle, quando o potencial osmótico decresceu para -0,4, -0,8 e -1,2 MPa (aproximadamente, 11,6 mmhos/cm, 23,2 mmhos/cm e 34,8 mmhos/cm, respectivamente).

O volume da raiz também sofreu redução com o aumento da concentração salina. No entanto, só houve diferenças



significativas quando o potencial osmótico variou do controle para -0,4 MPa e de -0,8 para -1,2 MPa. A redução foi maior quando o potencial osmótico variou do controle para -0,4 MPa (34,91%) seguindo-se reduções mais baixas no volume da raiz, quando o potencial osmótico variou de -0,4 para -0,8 e deste para -1,2 MPa (9,09% e 20% respectivamente) conforme dados da TABELA 19 e FIGURA 6. Por outro lado, o comprimento da raiz só foi afetado pelo NaCl quando o potencial osmótico variou de -0,4 para -0,8 MPa, visto que não houve diferenças significativas entre o controle e -0,4 MPa e entre -0,8 e -1,2 MPa. Com o abaixamento do potencial osmótico de -0,4 para -0,8 e -1,2 MPa, as raízes se tornaram mais grossas e curtas (TABELA 19 e FIGURA 7).

Pesquisa desenvolvidas por KAPP (1947) estudando as respostas do arroz ao NaCl, constatou efeitos prejudiciais sobre a germinação, desenvolvimento vegetativo e produção de grãos. Por outro lado, dados obtidos por PEARSON (1959), em casa de vegetação, indicaram que em relação ao desenvolvimento máximo (controle), as plantas submetidas ao mais alto nível salino (16 mmhos/cm, aproximadamente -0,5 MPa), apresentaram reduções de 20% na altura das plantas, 45% do número de perfilhos férteis, 55% no peso das folhas, 60% no número total de perfilhos, 70% no número da panícula, 75% no peso seco total, inclusive grãos e 95% no peso dos grãos trilhados. O autor concluiu ainda que a evapotranspiração foi diretamente proporcional à quantidade de matéria seca produzida. SAXENA & PANDEY (1981) e DESAI *et alii* (1957) também observaram reduções no perfilhamento do arroz em meio salino. No presente trabalho, o número de perfilhos sofreu reduções significativas quando o potencial osmótico variou do controle para -0,4 MPa (aproximadamente, 11,6 mmhos/cm), onde a diminuição no número de perfilhos foi de 34,47% (TABELA 17, FIGURA 8). O decréscimo no perfilhamento implicou, também, na redução do peso da matéria seca da parte aérea da planta. Mesmo sendo uma característica genética, o número de perfilho foi afetado pelo meio salino.

PEARSON & BERNSTEIN (1959) realizando pesquisa so-



bre o crescimento de arroz (cultivar caloro) em meio salino obtiveram resultados comprovadores de que ocorrência de salinidade na fase de perfilhamento inibia duas vezes mais o peso seco das folhas do que se ocorresse na fase de iniciação da panícula. Por outro lado, FAGÉRIA et alii (1981) estudando o comportamento de cultivares de arroz em meio salino também observaram redução no crescimento e no perfilhamento, o aparecimento de uma coloração verde-escura nas folhas, o surgimento de áreas necrosadas e um ressecamento iniciado no ápice da folha continuando pelas margens com alguns casos de enrolamento da lâmina foliar. Estes autores observaram também diferença varietal na redução do peso da matéria seca, o que foi atribuído a diminuição osmótica na solução do solo, acúmulo nas plantas de íons específicos em nível tóxicos e alteração nutricional da planta.

O volume transpirado apresentou diferenças estatisticamente significativas, somente entre os resultados do tratamento controle e daqueles sob potencial osmótico  $-0,4$  e  $-1,2$  MPa de NaCl. A redução foi mais acentuada do controle para  $-0,4$  MPa (59,52%) e quando o potencial osmótico variou de  $-0,8$  para  $-1,2$  MPa (29,79%) (TABELA 19, FIGURA 9). HOFFMAN et alii (1971) afirmaram que o aumento da transpiração pode induzir a perda de turgescência resultando no fechamento dos estômatos. Observaram ainda, que o aumento da resistência difusiva na folha, com a diminuição acentuada da umidade relativa, sugeriu que o maior efeito da umidade sobre o crescimento da planta, resultou das mudanças induzidas na abertura dos estômatos, o que pode retardar a absorção de dióxido de carbono, resultando na diminuição da atividade fotossintética e consequentemente da produção. Há possibilidade de que o precoce fechamento dos estômatos induzido pelo estresse salino, tenha afetado o crescimento. Do mesmo modo, STROGONOV & IVANITSKAIA (1953), citados por HAYWARD & BERNSTEIN (1960) observaram que a salinidade provocou lesões nas folhas de algodão, diminuindo a área foliar e consequentemente a transpiração. Neste experimento observou-se um envelhecimento precoce das folhas, concordando com afirmação de PRISCO (1978) de



que as folhas das plantas cultivadas em meio salino envelhecem precocemente, talvez, devido a um desequilíbrio no balanço hormonal que altera o metabolismo do sistema radicular e prejudica a biossíntese e transporte de citocininas para a parte aérea.

A redução no potencial osmótico da solução nutritiva provocou diminuição nos valores do potencial hídrico das folhas em relação ao tratamento controle, a qual foi de 27%, quando o potencial osmótico foi reduzido para -0,4 MPa. A redução do potencial hídrico foi progressiva, inclusive com impossibilidade de ser determinada nos tratamentos a -0,8 e -1,2 MPa, pois as folhas estavam totalmente senescentes. Esta redução no potencial hídrico pode ser explicada como resultante de uma alta taxa de transpiração, associada a uma redução do fluxo de água para interior da planta devido, possivelmente a um aumento da resistência nas raízes e ao decréscimo no potencial hídrico do meio salino. Analisando os resultados obtidos com beterraba, cebola e rabanete, HOFFMAN & RAWLINS (1971) também observaram reduções no potencial hídrico das plantas estressadas pela salinidade.

Os teores de lipídios e proteínas também sofreram reduções acentuadas 27,27% e 19,50%, respectivamente, quando o potencial osmótico variou do controle para -0,4 MPa. A -0,8 MPa e -1,2 MPa de NaCl, estas determinações não foram possíveis de serem efetuadas porque as plantas encontravam-se totalmente necrosadas. A redução no teor de proteína está correlacionada com o aumento dos processos de hidrólise, um decréscimo da síntese de proteína e desnaturação da porção proteica das membranas pelo efeito tóxico do NaCl. Relatos efeitos por STROGOV & IVANITSKAIA (1953) citados por HAIWARD & BERNSTEIN (1960) reportaram que a estabilidade do complexo proteína-clorofila em folhas de algodão aumentou com aplicação de NaCl, exceto para as folhas injuriadas pelo sal, onde um decréscimo de proteína na folha implicou numa baixa estabilidade do complexo proteína-clorofila.

Como pode ser observado nas TABELAS 20 e 21, a compo



sição mineral das plantas sob efeito salino do NaCl, apresentou pequenas variações tanto na parte aérea como na raiz, com exceção do sódio que apresentou uma elevação acentuada, principalmente na parte aérea. O teor deste elemento apresentou acréscimos na parte aérea de 95,42%, 77,53% e 9,33% quando o potencial osmótico foi reduzido do controle para -0,4, -0,8 e -1,2 MPa de NaCl, respectivamente. Por outro lado, o teor de sódio na raiz aumentou de 87,01%, 36,88% e 7,2%, com a mesma variação do potencial osmótico. A partir de -0,8 MPa de NaCl, na solução nutritiva houve um maior acúmulo de sódio na parte aérea. Pesquisa desenvolvida por PÁLFI (1965) mostrou que as plantas de arroz cultivadas em meio salino com alta concentração de sódio acumularam mais sódio do que o tolerável para o desenvolvimento normal. Da mesma forma FLOWERS & YEO (1981) observaram que grandes variações no conteúdo de sódio foram encontradas nos tecidos de todas as variedades de arroz até então estudadas em meio salinizado com NaCl.

Apesar da informação de PÁLFI (1965) de que a absorção de íons  $\text{NH}_4^+$  pode ser afetada pela presença de íon  $\text{Na}^+$ , por ser este muito ativo no antagonismo iônico, neste experimento não foi observada nenhuma variação significativa no teor de nitrogênio da parte aérea, com o aumento da concentração de NaCl. Por outro lado, na raiz houve redução crescente quando o potencial osmótico da solução nutritiva foi reduzida pela adição de NaCl. O Conteúdo de fósforo, no entanto, só apresentou redução na parte aérea, a qual foi mais acentuada quando o potencial osmótico variou do controle para -0,4 MPa de NaCl. Na raiz, o teor deste elemento permaneceu praticamente constante. Segundo PÁLFI (1965) um excesso de íons antagônicos e retenção do fósforo na raiz, sob a forma de compostos solúveis é o fator responsável pela redução no teor de fósforo. A mesma explicação o autor utiliza para redução na absorção de cálcio. Entretanto, neste experimento houve um aumento no teor de cálcio, tanto da parte aérea como da raiz. Resultados de pesquisa com arroz sob estresse salino, obtidos no International Rice Research Institute - IRRI



(PHILIPPINES, 1978) informaram que a salinidade interfere na absorção de nutrientes e que cultivares sensíveis apresentaram uma diminuição mais acentuada no teor de potássio da parte aérea e um aumento nos níveis de sódio e cálcio em razão da salinidade. Os resultados obtidos no IRRI estão com os obtidos neste experimento, só que a redução no teor de potássio foi observada também na raiz e, em ambas as partes da planta, esta redução foi mais acentuada quando o potencial osmótico variou do controle para  $-0,4$  MPa de NaCl. Resultados diferentes, com relação ao potássio, foram obtidos por MEIRE *et alii* (1970) quando concluíram que plantas de feijão apresentaram mais baixo teor de potássio no controle do que aquele determinado nas folhas das plantas expostas a salinidade. Por outro lado, NIGHTINGALE & SMITH (s.d.) citados por MORA (1975) comprovaram que a absorção de cálcio foi influenciada pela presença de sódio, a qual foi compensada por uma suplementação de magnésio. Do mesmo modo que foi obtido neste trabalho, KHALIL (1967) citado por MORA (1975) realizando trabalho com milho e algodão em meio salino, encontrou que a salinidade não exerceu efeito marcante sobre o teor de fósforo. No entanto, o conteúdo de potássio decresceu com o aumento do nível salino. Segundo PARKOO (1977) citado por SHAYBANY & KASHIRAD (1978) a redução do conteúdo de fósforo do sistema radicular foi atribuído ao efeito específico inibitório do NaCl no transporte metabólico responsável pela absorção de íon. Muitos experimentos mostraram que o tratamento salino, geralmente diminuía o conteúdo do potássio e aumentava o nível de sódio e cloro, havendo indicações de que, sob determinadas condições, cada espécie responde à salinidade de um modo diferente (SHAYABANY & KASHIRAD, 1978).



## 6. - CONCLUSÕES

- (a) O material genético estudado (IAC 25, IAC 47, IAC 165, CNA 796019, IRAT 112 e CICA 8) apresentou sensibilidade à salinidade, variável com a cultivar e o estágio de desenvolvimento da planta;
- (b) As cultivares IAC 25, IAC 47 e CNA 796019 foram as mais tolerantes à salinidade, sendo que a IAC 25 apresentou o melhor desenvolvimento em meio salino e a IAC 165 foi a mais sensível;
- (c) A germinação e o crescimento das plântulas foram mais afetados pelo  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e os sais tiveram uma ação mais tóxica do que osmótica, enquanto o PEG 6000 apresentou efeito exclusivamente osmótico;
- (d) Houve maior redução na germinação dos tratamentos sob efeitos salinos, os quais apresentaram maior porcentagem de plântulas anormais, ao passo que, o estresse hídrico, simulado pelo PEG 6000, induziu uma maior porcentagem de sementes não germinadas;
- (e) O comprimento da parte aérea das plântulas foi mais reduzida pelo estresse hídrico provocado pelo PEG 6000, do que pelos efeitos salinos. Por outro lado, o NaCl nos mesmos potenciais osmóticos, provocou maior redução no comprimento da parte aérea das plântulas do que o  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e este proporcionou decréscimos mais acentuado no comprimento da raiz das plântulas do que o NaCl e o PEG 6000;

- (f) O peso médio da matéria seca da parte aérea das plântulas foi mais influenciado pelo estresse hídrico provocado pelo PEG 6000, enquanto que, na raiz, este peso decresceu mais sob a ação do  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;
- (g) O potencial osmótico  $-0,8$  MPa de  $\text{NaCl}$  ou  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  pode ser considerado crítico para a germinação e crescimento das cultivares estudadas neste trabalho, ao passo que o PEG 6000 só foi mais prejudicial a  $-1,2$  MPa;
- (h) O crescimento das plantas foi significativamente afetado pelo aumento da concentração salina na solução nutritiva, com reações sensíveis observadas na parte aérea, expressa em termos de redução no peso da matéria seca e aumento da relação raiz/parte aérea, em virtude do acúmulo crescente de sódio na parte aérea;
- (i) O comprimento e o volume da raiz foram reduzidos significativamente pelo aumento do teor de  $\text{NaCl}$  na solução nutritiva, com efeito marcante nos tratamentos sob  $-0,8$  MPa de  $\text{NaCl}$  para o comprimento e  $-0,4$ ,  $-0,8$  MPa para o volume da raiz;
- (j) O número de perfilhos por planta, mesmo sendo uma característica genética, sofreu redução significativa quando a concentração de  $\text{NaCl}$  reduziu o potencial osmótico da solução nutritiva para  $-0,4$  MPa. Esta redução no perfilhamento influenciou na diminuição do peso da matéria seca total;
- (k) O aumento da concentração de  $\text{NaCl}$  na solução nutritiva provocou redução significativa no volume transpirado,



principalmente nos tratamentos com potenciais osmóticos de -0,4 e -1,2 MPa de NaCl. O aumento da resistência difusiva na folha, com o aumento da concentração salina, sugere que o efeito salino sobre o crescimento da planta, resultou das mudanças induzidas na abertura dos estômatos, o que pode reduzir a absorção de dióxido de carbono, resultando na diminuição da atividade fotossintética e consequentemente da produção;

- (l) A redução no potencial osmótico da solução nutritiva provocou redução progressiva nos valores do potencial hídrico das folhas, a qual pode ser explicada como resultante de uma elevada taxa de transpiração, associada a uma redução no fluxo de água para o interior da planta devido, possivelmente, a um aumento da resistência nas raízes e ao decréscimo no potencial hídrico do meio salino;
- (m) Os teores de lipídios e proteínas sofreram reduções acentuadas quando o potencial osmótico da solução nutritiva foi reduzida pelo NaCl. Estas reduções estão correlacionadas possivelmente com o aumento dos processos de peroxidação dos lipídios, hidrólises e decréscimos na síntese de proteínas e/ou desnaturação da porção proteica das membranas pelo efeito tóxico do NaCl. O teor de clorofila também foi reduzido pelo efeito tóxico do NaCl, que provocou o aparecimento de uma senescência progressiva que, nos potenciais osmóticos mais baixos, atingiu totalmente a parte aérea da planta;
- (n) A composição mineral das plantas sob efeito salino do NaCl apresentou pequenas variações tanto na parte aérea como na raiz, com exceção do sódio que apresentou um acréscimo acentuado, principalmente na parte aérea. De todos os elementos analisados (nitrogênio, fósforo, po-

tássio, cálcio e sódio), apenas o nitrogênio na parte aérea e o potássio na raiz não apresentaram variações significantes. Os conteúdos de cálcio e sódio aumentaram com a elevação da concentração de NaCl na solução nutritiva.



## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, P.A.A. & PEREIRA, J.R. - Efeito da salinidade na germinação e vigor de sementes de melão. Pesq. Agrop. Bras., 15(2):207-10, 1980.
- AKBAR, M. & YABUNO, T. - Breeding for saline - resistant varieties of rice. II. Comparative performance of some rice varieties to salinity during early development stages. Japan. J. Breed., 24(4):176-81, 1974.
- ALLEN, C.F. & GOOD, P. - Acyl lipid in photossynthetic systems. Methods in Enzymology. 23:523-47, 1971.
- ALPHEN, J.G.V. - Rice in the reclamation of salt-affected soils. Bangkok. Thailand. Annual Report. ILRI, p. 9-18, 1983.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, 44:1-998, 1983. Rio de Janeiro, IBGE, 1984.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL, 45.1-1104, 1984, Rio de Janeiro, IBGE, 1985.
- ARNON, D.I. - Coper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol-oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiol. 24:1-15, 1949.
- AYOUB, A.T. - Salt tolerance of lentil (Leans esculenta). Hudeiba Research. Station. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 52:163-7, 1977,
- AYERS, A.D. - Seed germination as affected by soil moisture and salinity. Agron. J., 44:82-4, 1952.
- \_\_\_\_\_ - Germination and emergence of several varieties of barley in salinized soil culture. Agron. J., 45:68-1, 1953.

- BACKLUND, V.L. & HOPPE, R.R. - Status of soil salinity in California. California Agriculture, 36(10):08-09, 1984.
- BARI, G.; HAMID, A. & AWAN, M.A. - Effect of salinity on germination and seedling growth of rice varieties. International Rice Composition News Letter, 22(3):32-6, 1973.
- BERNSTEIN, L. - Effect of salinity and sodicity on plant growth. Annual Rev. Plant. 13:295-312, 1975.
- \_\_\_\_\_ - Osmotic adjustment of plants of saline media. I. Steady state. Amer. J. of Bot., 48:909-18, 1961.
- \_\_\_\_\_ & HAYWARD, H.E. - Physiology of salt tolerance. Ann. Rev. Plant. Physiol. 9:25-46, 1958.
- \_\_\_\_\_.; MACKENZIE, A.J. & KRANTZ - The interaction of salinity and planting practice on the germination of irrigated row crops. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 19(2):240-3, 1955.
- BHIVARE, V.N. & NIMBALKAR, J.D. - Salt stress effects on growth and mineral nutrition of french beans. Plant and Soil, 80:91-8, 1984.
- BHUMBLA, D.R.; SING, B. & SING, N.T. - Effects of salt on seed germination. Indian J. Agron. 13:181-5, 1968.
- BLACK, C.E. (ed). - Methods of soil analysis. Part 2. Amer. Soc. of Agron., p. 1149-78, 1965.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. Departamento de Produção Vegetal, Divisão de Sementes e Mudanças - "Regras para análise de sementes". Brasília, 188p., 1976.
- CAMPOS, I.S. - A cultura do arroz no Estado do Acre. Lavoura Arrozeira, 328:38-42, 1981
- CHOUDHURI, G.N. - Effects of salinity on germination of seed and plants. Diss. Abst. 28(6), 1967.



- CLEMENS, J.; CAMPBELL, L.C. & NURISIAH, S. - Germination, growth and mineral ion concentration of casuarina species under saline conditions. Aust. J. Bot., 31:1-9, 1983.
- DATA, S.K. - A study of salt tolerance of twelve varieties of rice. Cur. Sci., 41(12): 456-7, 1972.
- DESAI, A.D.; RAO, T.S. & HIREKERUR, L.R. - Effects of saline waters on growth and yield of rice. J. Indian Soc. Soil Sci., 5:13-6, 1957.
- DINIZ, A.F. - Efeito da salinidade na germinação e vigor de sementes de algodão herbáceo, Gossypium hirsutum, L. Fortaleza, CCA/UFC, 37p., 1979 (Tese de Mestrado).
- DIXON, H.H. - "Transpiration and the ascent of the saps in plant". McMillan, Londres, 1914.
- EPSTEIN, E. - "Mineral Nutrition: principles and perspectives". John Wiley & Son, Inc., New York, 412p., 1972.
- EL-ZAHAB, A.A.A. - Salt tolerance of eight egyptian cotton varieties. 2. At the seeding stage. Zeitschrift für Acker-und Planzeambau. 133(4):308-314, 1971.
- FAGÉRIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P. & GHERY H.R. - Avaliação de cultivares de arroz para tolerância à salinidade. Pesq. Agropec. Bras., 16(5):677-81, 1981.
- FLOWERS, J.T. & YEO, A.R. - Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (Oryza sativa, L.) varieties. New Phytol., 88:363-73, 1981.
- GATES, G.R., HAYDOCK, K.P.; CLARINBOLD, P.L. & ROBINS, F. M. Growth with of varieties of three sorghum species at different levels of salinity. Aust. J. Exp. Agric. and An. Husb., 6:161-69, 1966.
- GEORGE, L.Y. & WILLIAMS, W.A. - Germination and respiration of barley, strawberry and ladino clover in salt solutions. Crop. Sci. 4(5):450-2, 1964.



- GHILDYAL, B.P. & JANAL, R.K. - Influence of soil water potential on rice germination and seedling. Riso, 15(3) 211-8, 1966.
- GOES, E.S. de. - O problema da salinidade e drenagem em projetos de irrigação no Nordeste e a ação da pesquisa com vistas a seu equacionamento. (Mimeografado) SUDENE, 20p., 1978.
- HARRIS, F.S. - Effects of alkali salts in soils on the germination and growth of crops. J. of Agric. Res., 5:01-53, 1915.
- HAYWARD, H.E. & BERNSTEIN, L. - Plant growth relationships on salt affected soil. Bot. Rev., 24:5854-635, 1960.
- HOFFMAN, G.J.; RAWLINS, S.L.; GARBER, M.L. & CULLEN, E.M. - Water relations and growth of cotton as influenced by salinity and relative humidity. Agron. J. 63:822-26, 1971.
- \_\_\_\_\_ & RAWLINS, S.L. - Growth and water potential of root crop as influenced by salinity and humidity. Agron. J. 63:877-80, 1971.
- HOLBURT, M.B. - The lower colorado - a salty river. California Agriculture. 36(10):06-08, 1981.
- HORST, G.L. & BEADLE, N.B. - Salinity effects on germination and growth of tall fescue cultivars. J. Amer. Soc. Horst. Sci. 109(3):419-22, 1984.
- KAPP, L.C. - The effects of common salt on rice production. Fayetteville, Arkansas. Ark. Agric. Exp. Sta. Bull., 465p, 1947.
- KELLEY, R.L. & NYE, R.L. - Historical perspective on salinity and drainage problems in California. California Agriculture, 36(10:04-06. 1984.



- KHUDAIRI, A.K. - Studies on the germination of date-palm seeds. The effects of sodium chloride. Physiol. Plantarum. 11:16-22, 1958.
- LAHAYE, P.A. & EPSTEIN, E. - Salt toleration by plants: enhancement with calcium. Science, 166:395-6, 1969.
- LAUCHI, A. & EPSTEIN, E. - Mechanisms of salt tolerance in plants. California Agriculture. p.18-20, 1984.
- LOTT, W.L.; NERY, J.P.; GALLD, J.R. & MEDCALF, J.C. - Leaf analysis technique in coffee research, IBEC - Res. Inst. Bull. 1956.
- LOWRY, O.H.; ROSEBROCH, N.T.; FARRALL, A.L. & RANDALL, R.J. - Protein measurements with folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193:265-75, 1951.
- McKINEY, G. - Absorption of light chlorophyll solution. J. Biol. Chem., 140:315-22, 1941.
- MEIRI, A.; MOR, E. & POLJAKOFF, Mayber, A. - Effect of time of exposure to salinity on growth, water status, and salt accumulation in beans plants. Ann. Bot. 34:383-91, 1970..
- MICHEL, B.E. & KAUFFMAN, M.R. - The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiol. 54:914-16, 1973.
- MORA, J.C. - Salinidad en suelos y aguas; recuperacion de suelos, salinos y sódicos. In: Bogotá. Federation Nacional de Arroceros-FEDEARROZ. "Curso de Arroz". Primeira parte. Bogotá, Colombia, p., 86-107, 1975.
- NARALE, R.P.; SUBRAMANVAN, T.K. & MUKHERIEE. - Influence of salinity on germination, vegetative growth and grain yield of rice (Oryza sativa var. Dular). Agron. J., 61 (3):341-4, 1969.

- OERTLI, J.J. - Effect of external salt concentration on water relations in plants: II. Effect of osmotic differential between external medium and xylem on water relations in the entire plant. Soil Sci. 102(4):258-63, 1966.
- PAINTER, L.I. - Methods of subjecting growing plants to a continuous soil moisture stress. Agron. J., 58(4):459-60, 1965.
- PÁLFI, G. - The effect of sodium salts on the nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, amino acid content of rice shoots, Szeged, Hungary. Plant and Soil. 22(1): 135-35, 1965.
- \_\_\_\_\_ - Effects of drought by polyethylene glycol solutions on corn (Zea mays, L.). Germinations and seedling development. Agron. J., 58, 1966.
- PARMAR, M.T. & MOORE, R.P. - Carbowax 6000, manitol and sodium chloride for simulating drought conditions in germination studies of corn (Zea mays, L.) of strong and weak vigor. Agron. J. 60(2):192-5, 1968.
- PEARSON, G.A. - Factors influencing salinity of submerged soil and growth of coloro rice. Soil Sci., 87(1-6): 198-206, 1959.
- \_\_\_\_\_ & BERNSTEIN, L. - Salinity effects at several growth stages of rice. Agron. J. 51:654-7, 1959.
- \_\_\_\_\_.; AYERS, A.D. & EBERHARD, D.L. - Relative salt tolerance of rice during germination and early seedling development. Soil Sci., 102(3):151-6, 1966.
- PETERFI, I. & BRUGOVITZKY, E. - Effect of merapid on plant growth. Plant Physiol. 18(2):359-67, 1965.
- PETRASOVITS, I. - The salt tolerance of plants in the germination phase and under irrigation. Agrokon Talajt., 17 (1-2):61-76, 1968.



PHILIPPINES - The International Rice Research Institute.  
Ann. Report for 1978. Manila, Philippines, p.109-19,  
 1978.

PIZARRO, F. - "Dranaje agrícola y recuperacion de suelos sa-  
 linos". Madrid. Ed. Espanola. S.A., 1978.

POPINIGIS, F. - "Fisiologia de sementes". Brasília. Ministé-  
 rio da Agricultura/AGIPLAN/BID. 289p. il., 1977.

PRISCO, J.T. - Efeitos da salinidade na germinação de semen-  
 tes e no crescimento das plantas. In. REUNIÃO SOBRE SALI-  
 NIDADE EM ÁREAS IRRIGADAS. Anais... Fortaleza, Superinten-  
 dência do Desenvolvimento do Nordeste. p. 64-112, 1978.

\_\_\_\_\_ & O'LEARY - Osmotic and toxic effect of salini-  
 ty on germination of Phaseolus vulgaris, L. seeds.  
Turrialba, 20:117-84, 1970.

\_\_\_\_\_.; BARBOSA, L. & FERREIRA, L.G.R. - Reguladores  
 do crescimento e a reversão dos efeitos inibidores da sa-  
 linidade na germinação e vigor de plântulas de Sorghum  
bicolor (L) Moench. Ciência Agronômica, 5(1-2):25-32,

RICHARDS, L.A. - Diagnosis and improvement of saline and  
 alkali soils. USDA, Handbook nº 60, 100p., 1954.

SAXEMA, H.K. & PANDEY, U.K. - Physiological studies on salt  
 tolerance of ten rice varieties I. Growth and yield  
 aspects. Indian J. of Plant Pathol, 24(1):61-8, 1981.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; HEMMINGSEN, E.A. & BRADSTRETT,  
 E.D. - Hydrostatic pressure and osmotic potential in  
 leaves of mangrove and some other plants. Proc. Natl.  
Acad. Sci. 52:119-25, 1964.

\_\_\_\_\_ - Sap pressure in vascular plants. Sci. 148:  
 339-46, 1965.



- SHAYBANY, B. & KASHIRAD, A. - Effect of NaCl on growth and mineral composition of *Acacia saligna* in sand culture. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103(6):823-26, 1978.
- SINHA, T.S. & BANDYOPADYAY, A.K. - Adverse soils tolerance, rice tolerance of coastal salinity. New IRRI publications, 8:6-7, 1983.
- SOARES, K.T. - Efeito de soluções salinas com diferentes potenciais osmóticos, na germinação e vigor de sementes de algodão herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.). Fortaleza, CCA/UFC, 56p., 1985 (Tese de Mestrado).
- STROGONOV, B.P. - "Physiological basis of salt tolerance of plants as affected by various types of salinity. Traduzido do russo por Poljakoff-Mayber e A.M. Mayer". Israel Program for Scientific Translation Ltda., Jerusalém. 279p. 1964.
- TAILAKOV, N. - Germination of sorghum and maize seeds in salt solutions. Izv. Akad. Nauk. Tukmen, 1:3-9, 1967.
- TENNANT, D. - A test of a modified line intersect method of estimating root length. J. Ecol., 63:995-1001, 1975.
- UHVITS, R. - Effects of osmotic pressure on water absorption and germination of alfalfa seeds. Amer. J. of Bot., 33:278-85, 1946.
- VARADINOV, S.G. Soil salinity tolerance in sorghums. Sb. Trud. Aspi. Molod. Sotr., 8(12):117-24, 1967.
- VELÁSQUEZ, A.R. - Caracterización de suelos salinos y sódicos. In: CALLI. Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. Curso de Adiestramiento Posgrado de Investigación. Calli, Colombia, 1981. n.p.
- YEO, A.R. & FLOWERS, T.J. - Varietal differences in the toxicity of sodium ions rice leaves. Plant Physiol., 59:159-95, 1983.



WIGGANS, S.C. & GARDNER, F.P. - Effectiveness of various solutions for simulating drought conditions as measured by germinations and seedling growth. Agron. J. 51:315-18, 1959.