

11 MELHORAMENTO GENÉTICO DAS CULTURAS E SELEÇÃO DE CULTIVARES

Nand Kumar Fageria e Hans Raj Gheyi

11.1 INTRODUÇÃO

Os solos afetados por sais são definidos como aqueles que têm sido adversamente modificados para o crescimento da maioria das plantas pela presença de sais solúveis, sódio trocável, ou ambos, na zona radicular (Soil Science Society of America, 1987). Os sais solúveis consistem, normalmente, de várias proporções dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , dos ânions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e, às vezes, de K^+ , CO_3^{2-} e NO_3^- .

A ocorrência de solos salinos e sódicos é comum nas regiões áridas e semi-áridas, devido à baixa precipitação e à alta taxa de evaporação. Por isso, os sais não são lixiviados, acumulando-se em quantidades prejudiciais ao crescimento normal das plantas. A salinização também ocorre em regiões do litoral, em consequência da inundação do solo pela água salgada dos mares ou oceanos.

Em nível global, aproximadamente 900 milhões de hectares são afetados por sais, havendo aumento a cada ano, especialmente nas áreas em que a irrigação é praticada sem manejo adequado de água e solo. A maior parte dos solos afetados pelos sais está localizada em países em desenvolvimento, onde a densidade da população é alta e há necessidade de mais alimentos, como mostrado no Capítulo 1. No Brasil, aproximadamente 9 milhões de hectares são afetados por sais cobrindo sete Estados. A maior área de solos afetados por sais é no Estado da Bahia (44% do total), seguido pelo Ceará que representa 25,5% da área total do País. A população atual no mundo é cerca de 5,5 bilhões e a projeção de atingir aproximadamente 8,5 bilhões no ano 2025 e mais de 10 bilhões no ano 2050. A maior parte de aumento desta população é projetada nos países em desenvolvimento, onde a demanda de alimentos será maior. Neste contexto, a incorporação das áreas afetadas por sais no processo produtivo de alimentos no futuro, possui papel fundamental do ponto de vista socio-econômico.

A literatura indica que, além de recuperar o solo, o uso de cultivares tolerantes à salinidade pode ser uma ação complementar para produzir em solos salinos (François, 1994; Shalhevet, 1995; François, 1996). Assim, o objetivo deste trabalho é discutir melhoramento genético das culturas e a metodologia de avaliação de genótipos de culturas anuais à tolerância à salinidade.

11.2 SALINIDADE E RENDIMENTO DAS CULTURAS

A salinidade afeta o crescimento e conseqüentemente a produção das culturas. Os efeitos da salinidade no crescimento das plantas é discutido detalhadamente no Capítulo 4. A Tabela 11.1 mostra valor de salinidade liminar, decréscimo no

rendimento das principais culturas com aumento unitário de salinidade acima da limiar e classificação de várias culturas quanto a tolerância à salinidade.

Tabela 11.1 Limiar de salinidade, decréscimo no rendimento e tolerância de várias culturas à salinidade.

Cultura	Condutividade Elétrica de Extrato de Saturação		Classificação ¹
	Limiar (dS m ⁻¹)	Decréscimo no rendimento (% por dS m ⁻¹ acima limiar)	
..... <i>Cereais, Fibrosas e Culturas especiais</i>			
Algodão	7,7	5,2	T
Amendoim	3,2	29,0	MS
Arroz	3,0	12,0	S
Aveia	-	-	MT
Beterraba	7,0	5,9	T
Cana-de-açúcar	1,7	5,9	MS
Caupi	4,9	12,0	MT
Centeio	-	-	MT
Cevada	8,0	5,0	T
Feijoeiro	1,0	19,0	S
Girassol	-	-	MS
Guar	-	-	MT
Linho	1,7	12,0	MS
Milheto	-	-	MS
Milho	1,7	12,0	MS
Soja	5,0	20,0	MT
Sorgo	6,8	16,0	MT
Trigo	6,0	7,1	MT
Triticale	-	-	T
..... <i>Forrageiras</i>			
Alfafa	2,0	7,3	MS
Capim bermuda	6,9	6,4	T
Capim Sudão	2,8	4,3	MT
Fetusca alta	3,9	5,3	MT
Sesbânia	2,3	7,0	MS
Trevo ladino	1,5	12,0	MS
Trevo vermelho	1,5	12,0	MS
..... <i>Hortaliças e Fruteiras</i>			
Alface	1,3	13,0	MS
Aspargo	4,1	2,0	T
Batata	1,7	12,0	MS
Batata-doce	1,5	11,0	MS
Berinjela	-	-	MS
Brócolis	2,8	9,2	MS
Cebola	1,2	16,0	S
Cenoura	1,0	14,0	S
Couve-flor	-	-	MS
Ervilha	-	-	S
Espinafre	2,0	7,6	MS
Melancia	-	-	MS
Morango	1,0	33,0	S
Nabo	0,9	9,0	MS
Pepino	2,5	13,0	MS
Rabanete	1,2	13,0	MS
Repolho	1,8	9,7	MS
Tomateiro	2,5	9,9	MS

¹ S=sensível; MS=muito sensível; T=tolerante; MT=muito tolerante
 Fonte: Maas (1986).

11.3 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO

11.3.1 Aspectos gerais

A metodologia apropriada de avaliação é a primeira etapa no processo de desenvolvimento de genótipos de culturas tolerantes à salinidade. Não existe uma regra geral para avaliação de material genético quanto à tolerância à salinidade. A metodologia pode variar de acordo com as condições climáticas da região, o tipo de solo, o grau de salinidade do solo e a disponibilidade de recursos físicos, humanos e financeiros. Desse modo, a metodologia deve ser desenvolvida e adaptada para cada condição. Neste tipo de trabalho é necessário conduzir experimentos em campo e em casa de vegetação para alcançar resultados satisfatórios. Mas, sem dúvida, em todas as situações, alguns princípios de avaliação óptica devem ser levados em conta no processo de avaliação do material genético. Estes aspectos são:

1. Substrato de crescimento uniforme.
2. Genótipos de ciclo iguais no mesmo experimento.
3. Metodologia da validação deve ser simples e permitir avaliar grande número de genótipos com razoável precisão.
4. Parâmetros de avaliação bem definidos.
5. Se o experimento é conduzido em campo, deve-se determinar o nível de salinidade antes de instalar o ensaio. É necessário que exista, na área experimental, o problema de salinidade que a planta pode responder.
6. Determinar o nível de salinidade em que a produção de uma dada espécie de planta começa decrescer.
7. Na avaliação de genótipos para tolerância à salinidade é necessário que todos os nutrientes essenciais sejam aplicados em quantidades adequadas.
8. Os ensaios de avaliação devem ser acompanhados de práticas culturais adequadas como época de plantio, densidade, controle de doenças, pragas e invasoras e colheita na época apropriada.
9. Na avaliação devem ser incluídas uma cultivar tolerante e uma suscetível para se estabelecer a comparação.
10. A tolerância das culturas à salinidade varia com o estágio de crescimento.

A parte aérea é mais sensível à toxidez de salinidade do que as raízes, tanto nos experimentos de longa duração como nos experimentos de curta duração (Tabela 11.2, Figura 11.1). Portanto, nos experimentos de casa de vegetação, a parte aérea deve ser usada às vezes como parâmetro de avaliação das raízes. A Figura 11.1 mostra a resposta da parte aérea e das raízes de cultivares de arroz à salinidade. O peso da matéria seca da parte aérea foi reduzido mais do que o das raízes. Isto significa que a parte aérea é mais sensível à salinidade do que as raízes e, também, que o peso da matéria seca da parte aérea é um parâmetro melhor para classificar cultivares de cereais tolerantes à salinidade do que o peso da matéria seca das raízes. Para avaliar o efeito de salinidade em condições de campo, a produção de grãos é o melhor parâmetro para as culturas anuais.

Tabela 11.2 Nível de salinidade na redução de 50% do peso da matéria seca da parte aérea e das raízes de algumas culturas.

Cultura	Parte Aérea	Raízes
 dS m ⁻¹	
Cevada	16,9	19,2
Algodão	13,3	18,9
Milho	15,3	17,5
Milho verde	15,0	30,0
Sorgo	11,1	27,8

Fonte: Shalhevet *et al.* (1995).

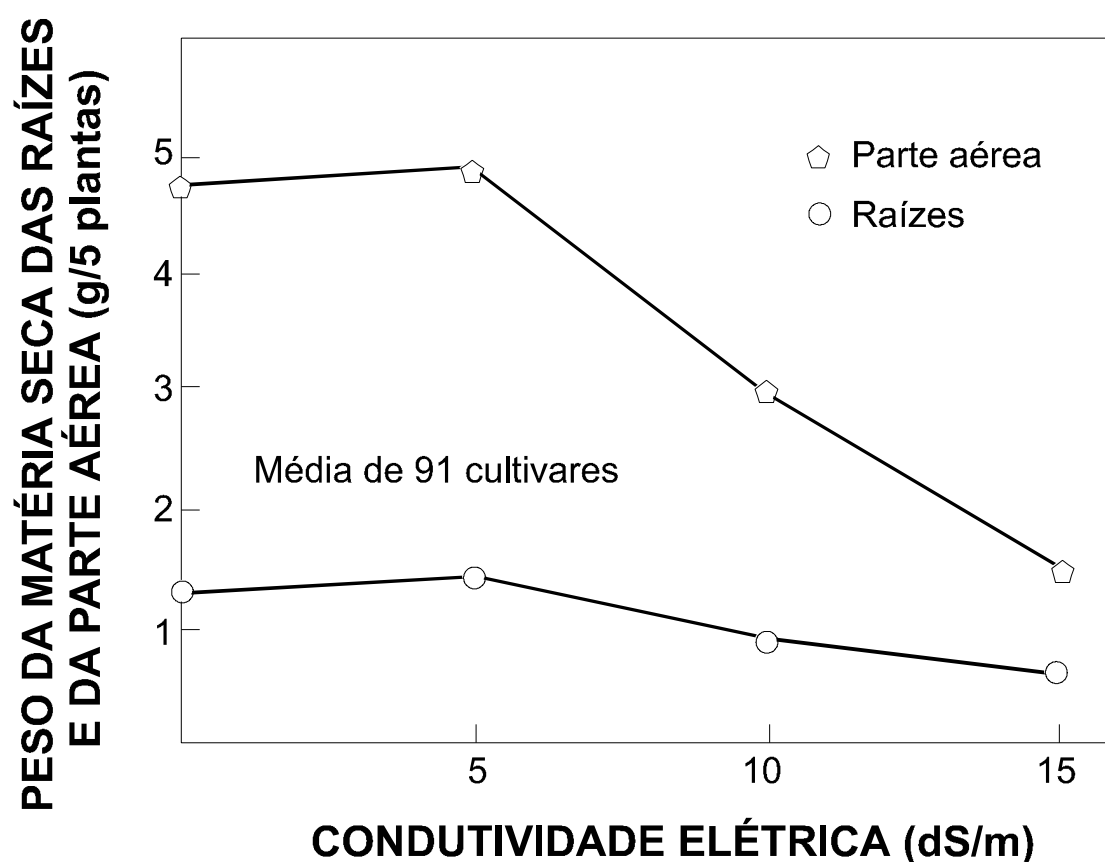


Figura 11.1 Influência da salinidade no peso da matéria seca das raízes e da parte aérea de cultivares de arroz (Adaptada de Fageria, 1992).

De acordo com Shalhevet *et al.* (1995), resultados de experimentos conduzidos em casa de vegetação mostram que o sorgo, o trigo e o caupi são mais sensíveis durante o estágio vegetativo e no início da fase reprodutiva, menos sensíveis no estágio de floração e insensíveis durante o enchimento de grãos (Figura 11.2). Nestas culturas, portanto, a seleção para tolerância à salinidade deve ser feita no estágio mais sensível. É possível também irrigar estas culturas com água salina durante o estágio de menor sensibilidade e usar água com baixa salinidade durante o estágio mais sensível.

O trabalho realizado por Grattan *et al.* (1987) mostra que a irrigação com água de 8 dS m⁻¹ no início da floração até a colheita não afeta significativamente a produção de melão e tomate, em comparação com a água de irrigação com salinidade de 0,2 dS m⁻¹.

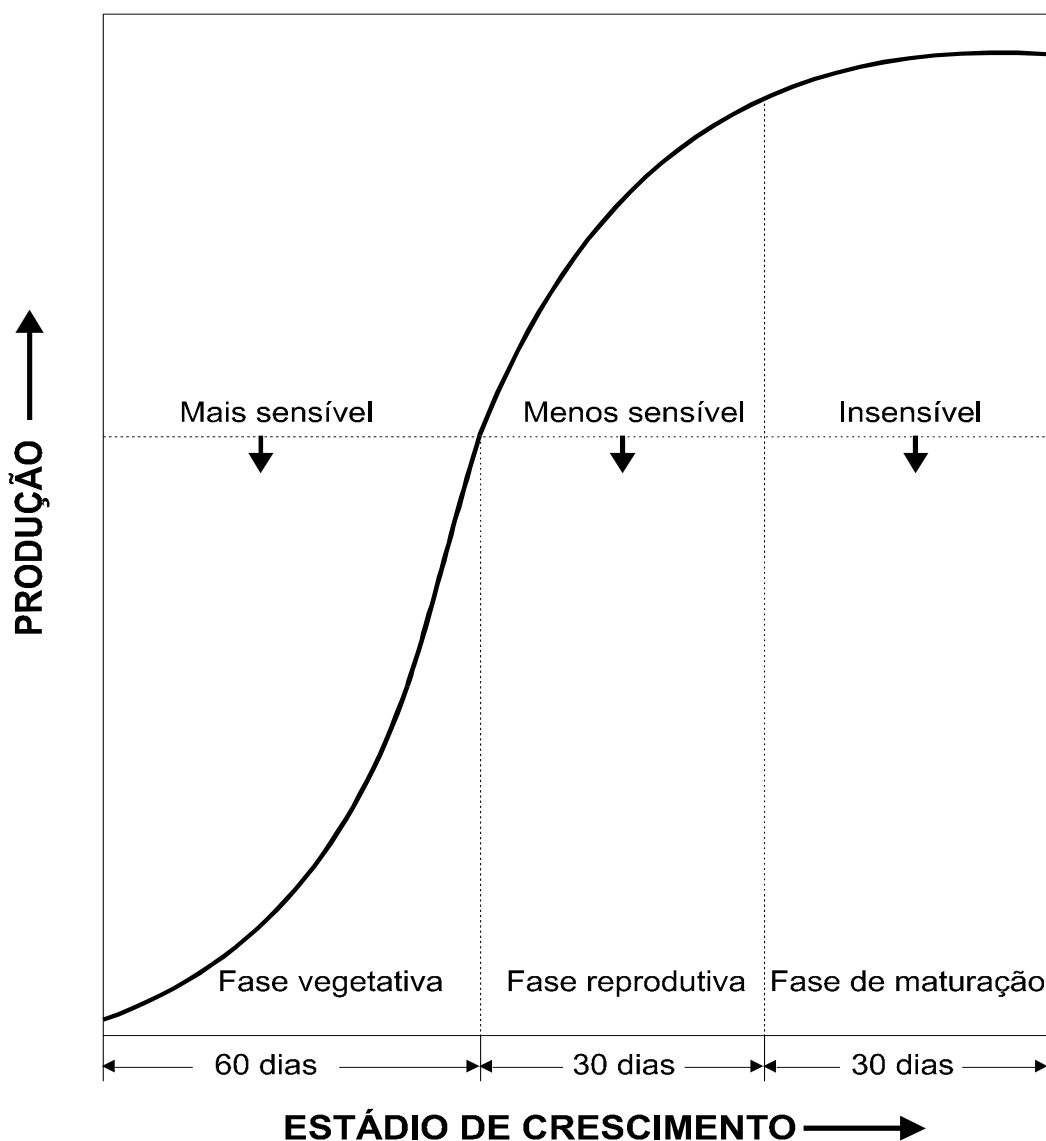


Figura 11.2 Relação hipotética mostrando a tolerância de uma dada cultivar à salinidade em função de ciclo de crescimento.

11.3.2 Análise e interpretação de dados

A tolerância de uma espécie ou cultivar a salinidade pode ser avaliada de três maneiras:

1. A tolerância pode ser considerada como a capacidade de sobrevivência da planta sob condições de elevada concentração salina. Uma espécie, em alta concentração de sal, pode crescer pouco ou não crescer, embora permaneça viva. Assim, a capacidade de sobrevivência de uma planta, quando submetida a aumentos crescentes de salinidade, é uma medida de tolerância a salinidade.

2. A tolerância a salinidade pode ser considerada do ponto de vista da capacidade produtiva da planta, quando sujeita a um dado nível de salinidade. Por exemplo, algumas cultivares de uma mesma espécie podem ser testadas em um solo contendo um certo nível de salinidade, e a cultivar mais produtiva pode ser considerada a mais tolerante.

3. Compara-se o comportamento de uma planta ou cultivar submetida a certo nível de salinidade com o seu comportamento em solo não-salino. Neste caso, a tolerância pode ser avaliada em relação ao baixo, médio e alto níveis de salinidade.

Após a condução de ensaios, os resultados de avaliação de genótipos a tolerância à salinidade devem ser analisados e interpretados adequadamente antes de serem aplicados na prática. Os critérios de avaliação podem ser as características morfológicas (folhas mortas, redução em peso da matéria seca da parte aérea ou grãos) e as características fisiológicas.

Características morfológicas

Uma das maneiras de avaliar as características morfológicas é baseada na resposta das folhas da cultivar em dado nível de salinidade. Baseando-se nas folhas mortas, os genótipos podem ser classificados como tolerantes, moderadamente tolerantes ou moderadamente suscetíveis, e suscetíveis (Tabela 11.3). Considerado este critério, foram classificados 11 genótipos de arroz irrigado (Tabela 11.4).

Tabela 11.3. Classificação de genótipos das culturas quanto à salinidade, baseando-se na porcentagem de folhas mortas.

Folhas Mortas (%)	Nota	Classificação
0-20	1	Tolerante
21-35	2	Tolerante
36-50	3	Tolerante
51-70	5	Moderadamente tolerante
71-90	7	Moderadamente suscetível
91-100	9	Suscetível

Fonte: Ponnampuruma (1977).

Tabela 11.4. Classificação de genótipos de arroz conforme a sua tolerância à salinidade.

Genótipo	Folhas Mortas (%)	Nota	Classificação
BG 11-11	18	1	Tolerante
IR 9129-102-2	12	1	Tolerante
TOX 711-6	25	2	Tolerante
IR 22	47	3	Tolerante
IR 3511-39-3-3	53	5	Moderadamente tolerante
Suale 1	59	5	Moderadamente tolerante
IR 2070-414-3-9	62	5	Moderadamente tolerante
De Abril	71	7	Moderadamente suscetível
Labelle	77	7	Moderadamente suscetível
BR 4	91	9	Suscetível
IR 8	100	9	Suscetível

Fonte: Fageria *et al.* (1981).

Outra característica morfológica é a redução na produção de matéria seca ou grãos, sob um certo nível de salinidade, em relação à testemunha. Este critério é considerado o melhor para a avaliação devido a sua aplicação em condições de campo. A fórmula para calcular a redução da produção e a maneira de interpretar os resultados são apresentados na Tabela 11.5. Os resultados obtidos através deste critério constam na Tabela 11.6. Além destes critérios, pode ser usado o Índice de Eficiência de Produção (IEF) para classificar os genótipos quanto à tolerância à salinidade. Este índice de eficiência pode ser calculado como descrito a seguir (Fageria, 1991):

$$\text{Índice de Eficiência de Produção (IEP)} = \frac{\text{Produção com alto nível de salinidade}}{\text{Produção média do experimento com alto nível de salinidade}} \times \frac{\text{Produção com baixo nível de salinidade}}{\text{Produção média do experimento com baixo nível de salinidade}}$$

Tabela 11.5 Classificação de genótipos quanto à salinidade, baseando-se na redução da matéria seca ou grãos.

Redução da Produção (%)	Classificação
0-20	Tolerante
21-40	Moderadamente tolerante
41-60	Moderadamente suscetível
> 60	Suscetível

$$\text{Redução de Produção} = \frac{\text{Produção sem tratamento de salinidade} - \text{Produção com tratamento de salinidade}}{\text{Produção sem tratamento de salinidade}} \times 100$$

Fonte: Fageria (1985).

Tabela 11.6 Influência de salinidade no peso da matéria seca da parte aérea (g/5 plantas) das cultivares de arroz e sua classificação para tolerância à salinidade.

Cultivar/ Linhagem	Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)			Redução da Matéria Seca (%)	
	Testemunha	5	10	5	10
CNA 810098	3,30	3,25	2,76	2 (T)	16 (T)
CNA 810112	3,76	2,85	0,97	24 (MT)	74 (S)
CNA 810115	4,66	3,33	1,67	29 (MT)	64 (S)
CNA 810129	2,99	2,89	1,13	3 (T)	62 (S)
CNA 810138	3,76	2,16	1,37	43 (MS)	64 (S)
CNA 810168	3,14	2,69	1,96	14 (T)	38 (MT)

T = Tolerante, MT = Moderadamente tolerante, MS = Moderadamente suscetível e S = Suscetível.

$$\text{Redução de Produção} = \frac{\text{Produção sem tratamento de salinidade} - \text{Produção com tratamento de salinidade}}{\text{Produção sem tratamento de salinidade}} \times 100$$

Fonte: Fageria (1985).

A classificação dos genótipos por este índice pode ser feita da seguinte maneira: genótipos tolerantes apresentam índice de eficiência maior que 1; genótipos moderadamente tolerantes, índices entre 0,5 e 1, e genótipos suscetíveis, índices de eficiência entre 0 e 0,5. Segundo esses critérios, as cultivares de arroz foram agrupadas conforme a sua tolerância à salinidade, em trabalho realizado em casa de vegetação utilizando um solo pertencente a ordem Inceptissolo (Tabela 11.7).

Tabela 11.7 Influência da salinidade no peso da matéria seca da parte aérea (g) de cultivares de arroz e sua classificação para tolerância à salinidade, conforme Índice de Eficiência de Produção (IEP).

Cultivar/ Linhagem	Nível de Salinidade (dS m ⁻¹)		IEP e Classificação ¹
	Testemunha	10	
	g		
GA 3459	1,16	0,42	0,60 (MT)
L 440	1,99	0,47	1,16 (T)
IET 2881	1,87	0,81	1,88 (T)
GA 3461	1,32	0,49	0,80 (MT)
CNA 12	1,92	0,56	1,33 (T)
GA 3452	1,96	0,59	1,53 (T)
CNA 294-B-BM-4-4	1,85	0,61	1,40 (T)
CNA 237-F-130-1	1,57	0,56	1,09 (T)
CNA 108-B-28-2-1	1,15	0,16	0,23 (S)
CNA 296-B-BM-M-4	1,63	0,28	0,56 (MT)
Média	1,64	0,49	

¹ T = Tolerante, MT = Moderadamente tolerante, MS = Moderadamente suscetível e S = Suscetível.
Fonte: Fageria (1985).

Características fisiológicas

A seleção baseada nos parâmetros fisiológicos pode obter mais sucesso no desenvolvimento de cultivares para tolerância à salinidade. Alguns trabalhos de revisão publicados neste sentido (Lauchli & Epstein, 1990; Noble & Rogers, 1992) mostram que vários mecanismos de tolerância são envolvidos. Ainda mais, a importância relativa de muitos mecanismos varia entre espécies de plantas (Rush & Epstein, 1981) e entre cultivares da mesma espécie (Yeo & Flowers, 1983). Faltam informações sobre o controle genético destes mecanismos. Alguns parâmetros fisiológicos de avaliação, como acumulação e exclusão de íons e ajustamento osmótico, são mais importantes.

As halofíticas acumulam certos íons inorgânicos em altas concentrações e se utilizam deles para manter o potencial osmótico de tecidos abaixo do que o potencial externo. Em muitas alicofíticas, a diferença entre cultivares tolerantes à salinidade é associada ao baixo teor de absorção e à acumulação de Na⁺ ou Cl⁻ em toda a planta ou na parte aérea. Neste caso, a tolerância é relacionada ao mecanismo de exclusão de

íons. A Tabela 11.8 mostra a acumulação de Na^+ na parte aérea de sete cultivares de arroz. Nas cultivares tolerantes, o teor de Na^+ na parte aérea foi muito menor que nas cultivares suscetíveis. Lauchli (1984) observou que a maioria das leguminosas responde à salinidade pela exclusão de sais das folhas. Tolerância à salinidade com soja, alfafa e trigo é também relacionada à exclusão de Na^+ e ou Cl^- na parte aérea (Noble & Rogers, 1992). Assim, a seleção destas espécies na base de exclusão de Na^+ ou Cl^- pode ser um bom critério.

Tabela 11.8 Concentração de Na^+ na parte aérea de cultivares de arroz e sua classificação quanto a tolerância à salindade.

Cultivar	Teor de Na^+ (mol m^{-3})	Classificação
Pokkali	39	Tolerante
Nova Bokra	62	Tolerante
IR 2153	50	Tolerante
IR 5	99	Moderadamente tolerante
IR 58	125	Moderadamente tolerante
IR 36	150	Suscetível
IR 22	247	Suscetível

Fonte: International Rice Research Institute (1994).

As plantas tolerantes à salinidade devem ser capazes de ajustar o potencial osmótico o que envolve tanto a absorção e a acumulação de íons como a síntese de solutos orgânicos. Embora estes dois mecanismos tenham sido usados como base de classificação de halofíticas (Waisel, 1972), eles geralmente operam juntos. O mecanismo dominante varia entre espécies de planta e, em alguns casos, entre partes da planta.

A contribuição relativa de vários íons no ajustamento osmótico depende do mecanismo regulador do transporte de íons, como permeabilidade da membrana, cinética de transporte, energia e seletividade. A taxa de absorção é variável de íon para íon e, por isso, influencia o balanço iônico na planta. O Cl^- contribui bem mais para o ajustamento osmótico que o SO_4^{2-} , porque a absorção de Cl^- é muito mais rápida que a de SO_4^{2-} . Quando a salinidade consiste predominantemente de cátions monovalentes e ânions divalentes, como Na_2SO_4 , a taxa de absorção de cátions é maior que a de ânions. Nesta situação, o balanço iônico é alcançado através da síntese e da acumulação de ácidos orgânicos (Maas & Nieman, 1978).

É possível que o mecanismo mais importante para regular o potencial osmótico seja a absorção seletiva de íons. Plantas tolerantes possuem capacidade de adquirir nutrientes essenciais na solução salina em que a concentração de íons não-essenciais (tóxicos) é muito maior que a de íons essenciais. Por exemplo, a concentração de Na^+ , em solução de solos salinos, é maior que a de K^+ . Entretanto, a relação $\text{Na} : \text{K}$, em plantas que crescem neste tipo de solo, é aproximadamente um ou menos. Esta alta especificidade para absorção de K^+ está presente em várias espécies de plantas (Pitman, 1970).

Entre as halofíticas, uma classe de eualofíticas ajusta-se ao ambiente salino pela acumulação de grande quantidade de sal, geralmente NaCl (Waisel, 1972). Estas plantas possuem mecanismo de adaptação para alta concentração de sais pelo aumento de suculência (exemplo: *Salicornia herbacea*), pelo acúmulo em partes

menos sensíveis (exemplo: *Atriplex* sp.), pela secreção do excesso de sais de seus órgãos (exemplo: *Spartina alterniflora*), ou por várias combinações deste mecanismo.

11.4 MELHORAMENTO GENÉTICO DAS PLANTAS

11.4.1 Variação em germoplasma

Existem grandes diferenças entre as espécies e entre as cultivares da mesma espécie com relação à tolerância à salinidade (Figuras 11.3 e 11.4)

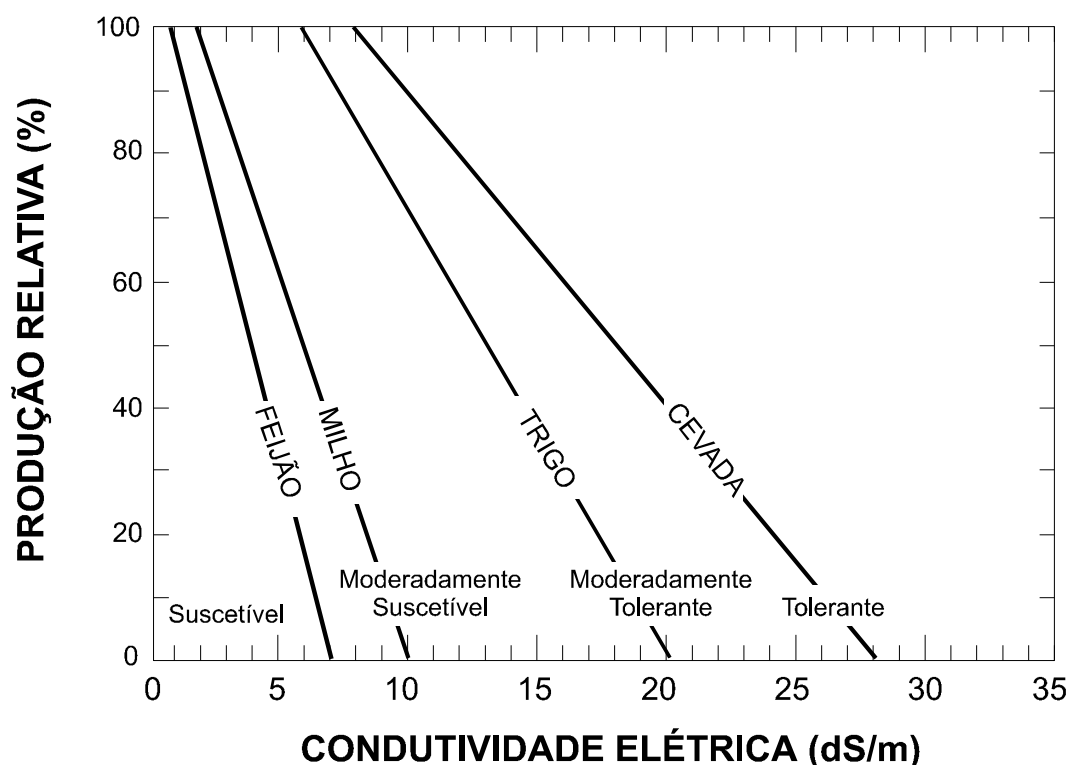


Figura 11.3 Curva de resposta de espécies de plantas à salinidade (Adaptada de Shannon, 1984).

François *et al.* (1989) estudaram os efeitos da salinidade na produtividade de centeio. A produção relativa de duas cultivares não foi afetada até $11,4 \text{ dS m}^{-1}$. Cada aumento de uma unidade de salinidade acima de $11,4 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu a produção em 10,8%. Estes resultados colocam o centeio na categoria de espécie tolerante à salinidade.

François *et al.* (1984) também estudaram os efeitos da salinidade na produção de duas cultivares de sorgo. A produtividade não foi afetada até $6,8 \text{ dS m}^{-1}$. Após este nível, cada aumento de uma unidade de salinidade diminuiu a produção em 16%. O sorgo foi classificado por esses autores como espécie moderadamente tolerante à salinidade.

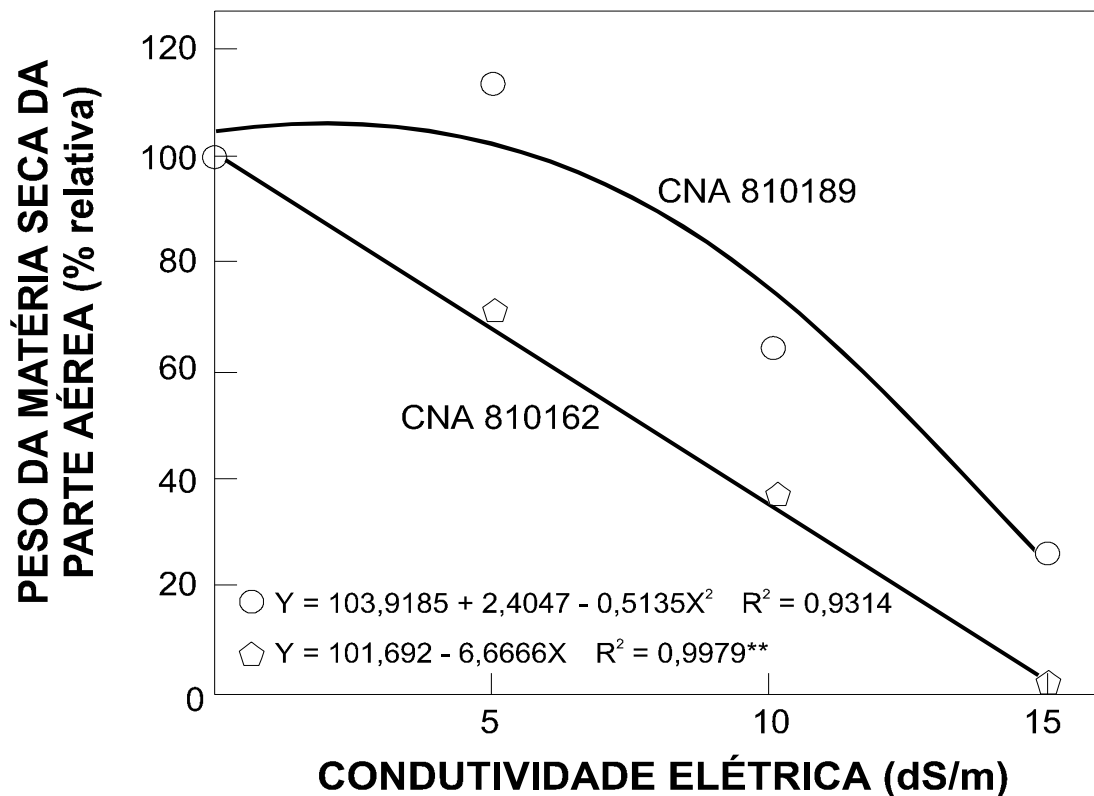


Figura 11.4 Influência da salinidade no peso da matéria seca da parte aérea de duas cultivares de arroz (Adaptada de Fageria, 1989).

Devitt *et al.* (1984) mostraram que, sob condições salinas, o sorgo é bem adaptado para explorar regiões com potencial osmótico mais favorável.

François *et al.* (1990) determinaram os efeitos da salinidade do solo sobre a produtividade de duas cultivares de guar e esta espécie foi classificada como moderadamente tolerante à salinidade.

Subbarao & Johansen (1994) também relataram diferenças significativas entre espécies leguminosas em relação a sua tolerância à salinidade.

11.4.2 Papel das plantas nativas e exóticas

As plantas nativas e exóticas são freqüentemente usadas como fonte de resistência ou tolerância no programa de melhoramento. Vários órgãos internacionais são responsáveis pela coleção, manutenção e distribuição destes tipos de germoplasma para pesquisadores em nível mundial para sua utilização no programa de melhoramento. Vários estudos mostram que plantas nativas e exóticas possuem alta tolerância à salinidade que pode ser transferida para culturas cultivadas através de melhoramento. Por exemplo, *Lycopersicon cheesmani*, uma planta exótica de tomate possui alta tolerância à salinidade e pode produzir satisfatoriamente, mesmo quando se utiliza água do mar, com nível de salinidade considerado altamente tóxico para tomates cultivados. Da mesma maneira, as exóticas cevada, como *Hordeum jubatum* e *Hordeum marinum* não possuem substancialmente alta tolerância a sais em comparação à espécie cultivada como *Hordeum vulgare*. A exótica espécie de trigo

como *Elytrigia elongata* também mostrou alta tolerância à salinidade em relação a *Triticum aestivum*, espécie cultivada (Subbarao & Johansen, 1994).

11.4.3 Estratégia para melhoramento

O melhoramento de cultivares para tolerância aos sais pode ser realizado, uma vez que não há relação de antagonismo entre alta produtividade e tolerância aos sais (Akbar & Ponnampertuma, 1980). Os híbridos provenientes do cruzamento entre cultivares de arroz tolerantes e suscetíveis aos sais, mostram-se com alta tolerância em relação aos sais. A geração F₂ apresentou ampla faixa de variação, permitindo seleção de plantas em F₃ e F₄ com a característica de tolerância aos sais (Akbar & Ponnampertuma, 1980).

A tolerância aos sais varia de acordo com o estágio de crescimento da planta; portanto, devem-se, no programa de melhoramento, concentrar esforços nos estádios críticos da planta. Não se deve esquecer de que a resposta da planta à salinidade está diretamente relacionada à duração da exposição, e que, na seleção, o desempenho geral deve ser baseado nos demais estádios de crescimento.

São poucos os trabalhos realizados em melhoramento para tolerância de cultivares aos sais. Há necessidade da formulação de métodos que permitam uma rápida e eficiente avaliação do material em teste.

As técnicas de seleção e os métodos de melhoramento para tolerância aos sais foram discutidos por vários pesquisadores (Nieman & Shannon, 1976; Ponnampertuma, 1977), tendo sido sugerido o uso de técnicas de genética quantitativa.

Para desenvolvimento de cultivares tolerantes à salinidade é importante definir o nível de salinidade para crescimento e desenvolvimento daquele material. Não é possível que só uma cultivar seja cultivada em todos os tipos de solos salinos. Portanto, é necessário avaliar a composição de sais que existe em solos afetados por sais. Após esta etapa é necessário a adoção de metodologia apropriada de avaliação de genótipos, como discutido anteriormente. Inicialmente o material pode ser avaliado sob condições controladas, entretanto, o teste final deve ser feito sob condições de campo para testar a produtividade.

Avaliação de germoplasma na solução nutritiva é a melhor opção para identificar genótipos ou material genético tolerantes à salinidade da germinação à maturação (Subbarao & Johansen, 1994).

O Instituto Internacional de Arroz (IRRI) desenvolveu a cultivar IR50 tolerante à salinidade. Esta variedade, em média, produziu 3 t ha⁻¹ em ensaios de rendimentos em locais onde as cultivares tradicionais não conseguiram sobreviver.

Também foi demonstrado pelo IRRI que, com o uso de cruzamento cumulativo com envolvimento de várias cultivares tolerantes à salinidade, é possível desenvolver cultivares mais tolerantes do que seus parentes. Cruzamentos entre duas cultivares tolerantes à salinidade mostraram alta tolerância em F₁ e F₃ em comparação aos seus parentes.

11.4.4 Introdução de cultivares tolerantes à salinidade

Apesar das evidências quanto à variabilidade genética na tolerância de salinidade entre espécies e cultivares da mesma espécie (Venables & Wilkins, 1978;

Norlyn, 1980; Fageria, 1985, 1991), poucos são os exemplos de lançamento de cultivares tolerantes à salinidade (Tabela 11.9).

Tabela 11.9. Algumas cultivares de diferentes espécies de plantas tolerantes à salinidade lançadas comercialmente.

Cultivar (Espécie)	Método de seleção	País (Ano de lançamento)
Arizona 8601 (Milho)	Programa de seleção natural	Estados Unidos (1987)
Arsola 1-18 (Abacate)	Cruzamento de variedades	Estados Unidos (1951)
AZ Germ Salt 1 (Alfafa)	Seleção recorrente	Estados Unidos (1983)
AZ Germ Salt 2 (Alfafa)	Seleção recorrente	Estados Unidos (1990)
BG 84-3 (Melão)	Seleção natural de ecotípica	Israel (1990)
Edkway (Tomate)	Programa de seleção natural	Egito (1982)
Giza 159 (Arroz)	Cruzamento de variedades	Egito (1966)
Giza 160 (Arroz)	Cruzamento de variedades	Egito (1984)
Nebraska 10 (Agropiro)	Seleção natural de ecotípica	Estados Unidos (1962)
Saltol (Festuca Vermelho)	Seleção natural de ecotípica	Canadá (1981)

Adaptado de Shannon (1990), Noble & Rogers (1992).

A variabilidade genética entre cultivares de culturas anuais, de que há relato, não foi suficientemente utilizada em programas de melhoramento. As razões disso são:

1. Falta de conhecimento da complexa natureza da tolerância e do modo como esta é modificada pelas condições ambientais.
2. Variável tolerância da planta à salinidade conforme a sua idade.
3. Os melhoristas estão preocupados geralmente com outros objetivos, como alta produtividade, resistência às doenças e ao acamamento e qualidade. Muito pouca atenção tem sido dada aos problemas do solo.

11.5 ESPÉCIES POTENCIAIS DE PLANTAS PARA CONDIÇÕES SALINAS

Várias espécies de plantas possuem alta tolerância à salinidade. Estas espécies podem ser utilizadas em solos salinos e são apresentadas na Tabela 11.10.

Tabela 11.10. Espécies de plantas tolerantes à salinidade.

Nome comum	Nome científico
<i>Culturas de fibra, sementes e açúcar</i>	
Algodoeiro	<i>Gossypium hirsutum</i>
Beterraba açucareira	<i>Beta vulgaris</i>
Cevada	<i>Hordeum vulgare</i>
Jojoba	<i>Simmondsia chinensis</i>
<i>Culturas forrageiras e gramíneas</i>	
Agropiro alto	<i>Agropyron elongatum</i>
Agropiro crestado	<i>Agropyron crestatum</i>
“Alkali sacaton”	<i>Sporobolus airoides</i>
Capim-bermuda	<i>Cynodon dactylon</i>
“Desert saltgrass”	<i>Distichlis stricta</i>
Elimo de Altai	<i>Elymus angustus</i>
Elimo da Rússia	<i>Elymus junceus</i>
Gramma “Karnal”	<i>Diplachne fusca</i>
“Nuttall”	<i>Puccinellia airoides</i>
<i>Hortaliças</i>	
Aspargo	<i>Asparragus officinalis</i>
<i>Fruteiras</i>	
Tamareira	<i>Phoenix dactylifera</i>

Fonte: Maas (1986).

11.6 PERSPECTIVAS FUTURAS

A salinização do solo e água tem sido um problema muito sério na produção agrícola, particularmente nas regiões áridas e semi-áridas. A avaliação de exóticos germoplasmas de várias culturas pode fornecer fontes para programa de melhoramento. Ainda o instrumento de biotecnologia não foi utilizado no programa de melhoramento para desenvolver cultivares tolerantes à salinidade. No futuro, o desenvolvimento de novos genótipos tolerantes à salinidade, dependerá de esforços conjuntos de pesquisadores nas áreas de solo, fisiologia e melhoramento.

11.7 CONCLUSÕES

O maior potencial de expansão da fronteira agrícola está situado nas regiões tropicais do mundo, inclusive do Brasil, onde existem grandes áreas afetadas por sais.

As práticas comuns de recuperação desses solos através do uso de corretivos e água para lixiviação de sais são caros. Portanto, o uso de espécies ou cultivares adaptáveis a tais condições adversas dos solos, pode ser uma estratégia promissora para melhorar a produção de alimentos.

No futuro, as áreas irrigadas devem ser aumentadas para produzir alimentos em quantidade suficiente para satisfazer à demanda da população. Nessa situação, o problema dos solos salinos e sódicos pode aumentar se não forem adotadas medidas adequadas de manejo do solo e da água. As práticas de manejo dos solos salinos

devem incluir as combinações de manejo do solo, da água e da planta integralmente. Embora as diferenças entre as espécies com relação a tolerância à salinidade sejam bem relatadas, há necessidade de trabalhos básicos e aplicados nas áreas de fisiologia, genética e melhoramento das plantas, para melhor entendimento dos processos envolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBAR, M.; PONNAMPERUMA, F.N. **Saline soils of South and Southeast Asia as potencial rice lands**. Paper presented at Special International Symposium Rice Research Strategies for the Future, IRRI, Los Baños, 21-25 April, 1980.

DEVITT, D.; STOLZY, L.H.; JARRELL, W.M. Response of sorghum and wheat to different K^+/Na^+ ratios at varying osmotic potentials. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p.681-688, 1984.

FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: Embrapa-DPU, 1989. 425p. (Embrapa-CNPAP. Documentos, 18).

FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274p.

FAGERIA, N.K. **Relatório do projeto “Avaliação de cultivares de arroz para condições adversas do solo”**. Goiânia: Embrapa-CNPAP, 1985.

FAGERIA, N.K. Salt tolerance of rice cultivars. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.88, n.2, p.237-243, 1985.

FAGERIA, N.K. Tolerância de cultivares de arroz à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.2, p.281-288, 1991.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; GHEYI, H.R. Avaliação de cultivares de arroz para tolerância à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, n.5, p.677-681, 1981.

FRANCOIS, L.E. Growth, seed yield, and oil content of canola grown under saline conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, n.2, p.233-237, 1994.

FRANCOIS, L.E. Salinity effects on four sunflower hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, n.2, p.215-219, 1996.

FRANÇOIS, L.E.; DONOVAN, T.J.; LORENK, K.; MAAS, E.V. Salinity effects on rye grain yield, quality, vegetative growth and emergence. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.707-712, 1989.

FRANÇOIS, L.E.; DONOVAN, T.J.; MAAS, E.V. Salinity effects on seed yield, growth and germination of grain sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, p.741-744, 1984.

- FRANÇOIS, L.E.; DONOVAN, T.J.; MAAS, E.V. Salinity effects on emergence vegetative growth and seed yield of guar. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, p.587-592, 1990.
- GRATTAN, S.R.; SHENNAN, C.; MAY, D.M.; MITCHELL, J.P.; BURAU, R.G. Using drainage water for irrigation of melons and tomatos. **California Agriculture**, Davis, v.41, p.27-28, 1987.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (Los Baños, Philippines). **Program Report February, 1993**. Los Baños, 1994. 317p.
- LAUCHLI, A. Salt exclusion: an adaptation of legumes for crops and pastures under saline conditions. In: STAPLES, R.C.; TOENNIESSEN, G.H., ed. **Salinity tolerance in plants: strategies for crop improvement**. New York: Wiley, 1984. p.171-187.
- LAUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Plant responses to saline and sodic conditions. In: TANJI, K.K., ed. **Agricultural salinity assesement and management**. New York: ASCE, 1990. p.113-137.
- MAAS, E.V. Salt tolerance of plants. **Applied Agricultural Research**, New York, v.1, p.12-25, 1986.
- MAAS, E.V.; NIEMAN, R.H. Physiology of plant tolerance to salinity. In: Crop tolerance to suboptimal land conditions. Madison: American Society of Agronomy, 1978. p.277-299. (ASA. Special Publication, 32).
- NIEMAN, R.H.Z.; SHANNON, M.C. Screening for salinity tolerance. In: WORKSHOP ON PLANT ADAPTION TO MINERAL STRESS, 1976, Beltsville, Maryland. **Proceedings**. Ithaca: Cornell University Agricultural Experiment Station, 1976. p.359-367.
- NOBLE, C.L.; ROGERS, M.E. Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.146, n.1-2, p.99-107, 1992.
- NORLYN, J.D. Breeding salt tolerant crop plants. In: RAINS, D.W.; VALENTINE, R.C.; HULLAENDER, A., ed. **Genetic engineering of osmoregulation: basic life science**. New York: Plenum Press, 1980. v.14, p.213-309.
- PITMAN, M. Ion transport in plant cell. In: SKORYNA, S.C.; EDWARD, D.W., ed. **Intestinal absorption of metal ions, trace elements and radionuclides**. London: Pergamon Press, 1970. p.115-133.
- PONNAMPERUMA, F.N. **Screening rice for tolerance to mineral stress**. Los Baños: International Rice Research Institute, 1977. 21p. (IRRI. Paper Series, 6).

- RUSH, D.W.; EPSTEIN, E. Breeding and selection for salt tolerance by the incorporation of wild germplasm into a domesticated tomato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.106, n.2, p.669-704, 1981.
- SHALHEVET, J.; MORRIS, G.H.; SCROEDER, B.P. Root and shoot growth response to salinity in maize and soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n.3, p.512-516, 1995.
- SHANNON, M.C. Breeding, selection, and the genetics of salt tolerance. In: STAPLES, R.C.; TOENNIESSEN, G.H., ed. **Salinity tolerance in plants**. New York: John Wiley & Sons, 1984. p.231-254.
- SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Glossary of soil science terms**. Madison: American Society of Soil Science, 1987. 44p.
- SUBBARAO, G.V.; JOHANSEN, C. Potential for genetic improvement in salinity tolerance in legumes: Pigeonpea. In: PESSARAKALI, M., ed. **Handbook of plant and crop**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.581-595.
- SUBBARAO, G.V.; JOHANSEN, C. Strategies and scope for improving salinity tolerance in crop plants. In: PESSARAKALI, M., ed. **Handbook of plant and crop**. New York: Marcel Dekker, 1994. p.559-579.
- VENABLES, A.V.; WILKINS, D.A. Salt tolerance in pasture grasses. **New Phytologist**, Oxford, v.80, n.3, p.613-622, 1978.
- WAISEL, Y. **Biology of halophytes**. New York: Academic Press, 1972. 395p.
- YEO, A.R.; FLOWERS, T.J. Varietal differences in the toxicity of sodium ions in rice leaves. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.59, n.2, p.189-195, 1983.