

SELEÇÃO PARA TOLERÂNCIA AO ENCHARCAMENTO EM MILHO (*Zea mays* L.)

Sidney Netto Parentoni¹

Elto Eugenio Gomes e Gama, Ricardo Magnavaca

Paulo César Magalhães²

RESUMO

Devido à importância do estresse hídrico (excesso de água), comum nos trópicos úmidos, semi-áridos e em regiões temperadas, e por ser um fator limitante à produtividade de culturas de importância econômica, vários métodos têm sido propostos para reduzir seu efeito sobre as plantas. Sabe-se que existe dentro das espécies de plantas variabilidade genética para características que estão ligadas a esse tipo de estresse, o que torna possível o melhoramento genético para essa condição de solo. Muitos pesquisadores têm enfatizado a necessidade de se selecionar diretamente para alguns caracteres morfológicos e fisiológicos de plantas e, também, que, aliadas à tolerância, práticas agronômicas podem ser implementadas para reduzir o efeito do encharcamento do solo. No CNPMS, iniciou-se, em 1986, um trabalho de seleção massal em um composto de milho, onde, após alguns ciclos, foram identificados os caracteres transpiração, resistência difusiva, porosidade de raiz e produção como indicadores para a seleção de tolerância ao encharcamento. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo primordial relatar a experiência com o trabalho de seleção efetuado para tolerância ao encharcamento e mostrar os principais resultados.

¹ Eng-Agr., M.Sc., Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG

² Eng-Agr., Ph.D., Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG

SELECTION FOR TOLERANCE TO WATERLOGGING IN MAIZE (*Zea mays* L.)

Sidney Netto Parentoni¹

Elto Eugenio Gomes e Gama, Ricardo Magnavaca

Paulo César Magalhães²

ABSTRACT

Due to the importance of waterlogging in humid and semi-arid tropics and in temperature regions as a limiting factor for yield of cultivated plants, several methods to reduce its effect have been proposed. Since within plant species there is enough genetic variability for traits linked to water stress* which allows genetic improvement, direct selection for some physiological and morphological characteristics to increase waterlogging resistance has been emphasized by many researchers. Furthermore agricultural practices can be used to serve as an aid to tolerance in reducing this kind of stress. In 1986, at the National Maize and Sorghum Research Center - CNPMS, mass selection was initiated for tolerance to waterlogging in a composite of maize. After several cycles of selection, the characteristics transpiration, diffusion resistance, root porosity and yield were identified as indicative parameters to be used in waterlogging selection. The purpose of this work is to report the experiences acquired from a selection work to improve tolerance in plants of maize to waterlogging conditions and to show the main results.

¹ Eng-Agr., M.Sc., Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG

² Eng-Agr., Ph.D., Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG

INTRODUÇÃO

Com exceção do arroz (*Oryza sativa* L.), as plantas cultivadas são, em geral, prejudicadas pelo encharcamento dos solos, sendo que algumas espécies de plantas são mais sensíveis e dependentes de certas variáveis, como a fase do ciclo vegetativo, duração do encharcamento e a presença de fatores que influem no seu desenvolvimento, provocados pelo encharcamento.

Nas espécies vegetais, são conhecidas variações de tolerância às condições de inundação, o que torna possível a seleção e o melhoramento genético para essa condição do solo. Essa variação de tolerância às condições de inundação, em milho, já foram enfatizadas por vários autores (Silva, 1984; Atwell et al., 1985; Carangal, 1988; Kanwar et al., 1988; Wu et al., 1987).

O objetivo deste trabalho é relatar a experiência no CNPMS com o trabalho de seleção para tolerância ao encharcamento, em um composto de milho de base ampla, e mostrar alguns resultados alcançados.

MATERIAL E MÉTODOS

Em 1986, foi criado no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, da EMBRAPA, um composto de milho de ampla base genética (mistura balanceada de 36 populações amarelas). Esse composto foi submetido a quatro ciclos de seleção massal, em área de várzea mal drenada. No inverno de 1989 foi conduzido um ensaio no CNPMS/EMBRAPA, em Sete Lagoas, MG, onde foram avaliados esses quatro ciclos de seleção e uma cultivar de milho suscetível ao encharcamento do solo (BR 107). Esses materiais foram testados em dois ambientes: no primeiro, foi feita irrigação normal e, no segundo, dito encharcado, a partir de trinta dias de germinação, próximo ao florescimento, fase crítica para esse tipo de estresse (Cannel et al., 1975; Jackson, 19779; Russel, 1977) onde as cultivares recebiam uma lâmina d'água de 20 cm (inundação do tabuleiro), três vezes por semana, até a maturação fisiológica. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com três repetições por ambiente. A parcela foi constituída por uma fileira de sete metros, sendo que os dois metros iniciais foram utilizados para amostragens, ficando como área útil os cinco metros finais. A adubação utilizada foi a

formulação 4-14-8 de NPK, com 200 kg por hectare. O stand ideal foi cinco plantas por metro quadrado (50.000 plantas/ha).

Os parâmetros fisiológicos transpiração (T) e resistência difusiva (RD) foram avaliados nos quatro ciclos de seleção, utilizando-se porômetro LICOR. As medidas foram tomadas no início da fase de enchimento de grãos, utilizando-se a terceira folha de cima para baixo na planta, sendo que a área da folha onde foi feita a leitura encontrava-se sempre perpendicular à incidência dos raios solares e as leituras foram tomadas em dias totalmente claros. Nos ambientes normal e encharcado foram amostradas seis plantas ao acaso por tratamento, em cada bloco, num total de dezoito plantas por tratamento.

A porosidade de raiz foi avaliada segundo metodologia descrita por Jensen et al., (1969). As plantas foram coletadas no estágio de grãos leitosos, tomando-se 2 g de amostra de raízes por planta, selecionando-se raízes de cor clara e funcionais. Foram avaliadas seis plantas por cultivar.

Foram, ainda, avaliados os seguintes parâmetros fenológicos: florescimento masculino e feminino, altura de planta, altura de espiga, acamamento e quebramento, peso de grãos, em kg/ha e em g/planta, peso médio de 500 sementes, número de grãos por planta, índice de espigas, comprimento de espigas e número de fileiras da espiga.

Por ocasião da colheita, foram avaliadas as concentrações de N, P, K, Mg, Ca e S nos grãos e na parte aérea (colmos, folhas, pendão e palhas da espiga).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos dados obtidos para a transpiração (T) dos quatro ciclos de seleção avaliados no ambiente normal (AN) e ambiente encharcado (AE) encontram-se na Tabela 1. Não houve diferença significativa entre os ciclos no AN, apesar de existir uma tendência de C1 para o C4 de aumento da T. No AE, houve diferença significativa entre os dois ciclos, onde C4 apresentou um maior valor que C1, mostrando que a seleção foi efetiva para adaptação a esse ambiente.

Para resistência difusiva (RD), os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2. Para AN, não houve diferença

significativa entre os ciclos de seleção, porém houve uma tendência de redução da RD do C1 para C4. Já no AE, houve diferença significativa entre os ciclos, exceto entre C3 e C4, e com C4 apresentando menor RD que C1.

Condições deficientes de drenagem são acompanhadas de redução de oxigênio no solo, troca gasosa entre o solo e atmosfera, causando uma diminuição na absorção de água pelas raízes e um aumento da resistência no transporte de água e nutrientes na planta (Scott Russel 1990; Crucian 1985). Plantas com menor RD e maior T indicam que o material C4 mais adaptado ao ambiente encharcado consegue manter um metabolismo mais intenso nessas condições. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Schravendijh & Van An del (1985), em estudo efetuado em plantas de feijão sob encharcamento.

TABELA 1. Transpiração (em $Vg/cm^2 * S^{-1}$) da folha de milho, avaliada em dois ambientes, de quatro ciclos de seleção massal, sob encharcamento, no Composto CMS 54.

	Ambientes	
	Normal	Encharcado ¹
	T	T
Ciclos		
C1	5.509	5.287 b
C2	5.603	6.773 a
C3	6.954	7.213 a
C4	7.827	7.307 a
Média	6.473	6.645
CV%	17,41	8,63
Sig.(F)	n.s.	*

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5%.

Fonte: Parentoni et al. (1989)

TABELA 2. Resistência difusiva (em Sec/cm) da folha de milho, avaliada em dois ambientes de quatro ciclos de seleção massal sob encharcamento, no composto CMS 54.

	Ambientes	
	Normal	Encharcado ¹
	R.D.	R.D.
Ciclos		
C1	2.942	3.943 a
C2	2.657	2.890 ab
C3	2.406	2.337 b
C4	2.046	2.467 b
Média	2.513	2.909
CV%	14,03	22,11
Sig.(F)	n.s.	*

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5%.

Fonte: Parentoni et al. (1989)

Os resultados de porosidade de raiz (PR), dos quatro ciclos de seleção avaliados nos dois ambientes, encontram-se na Tabela 3. Observa-se que, no AN, não houve diferença significativa entre os ciclos e o valor médio foi de 10,61%. Já no AE, foi verificado que a seleção causou um aumento na PR do C1 (10,05%) para o C4 (16,87%), sendo que os maiores aumentos foram de C2 para o C3 e deste para o C4, não havendo, entretanto, diferença significativa entre C2 e C3. Resultados semelhantes demonstrando a importância da porosidade de raiz em cultivares de milho para tolerância ao encharcamento foram encontrados por Das & Jat (1977) e Sing & Ghidyal (1980). Plantas como o arroz podem crescer em condições de encharcamento, devido à sua habilidade de difundir oxigênio das folhas, via espaços intercelulares, até às raízes (Sanches 1981). Kawase (1981), Kawase & Whitmoyer (1980) e Sifton (1945) enfatizam que, em plantas mesófitas, o aumento da porosidade de raiz tem sido considerado um mecanismo de adaptação às condições de estresse temporário de oxigênio. Assim, a tolerância ao encharcamento do C₄ foi também atribuída ao aumento da porosidade da raiz.

TABELA 3. Porosidade de raiz (em %), avaliada em dois ambientes, de quatro ciclos de seleção massal, sob encharcamento, no Composto CMS 54.

	Ambientes	
	Normal	Encharcado ¹
	P.R.	P.R.
Ciclos		
C1	10.81	10.05 b
C2	11.26	10.79 ab
C3	9.31	13.23 ab
C4	11.09	16.87 a
Média	10.61	12.73
CV%	25,11	31.78
Sig.(F)	n.s.	*

¹Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5%.

Fonte: Parentoni et al. (1989)

Na Tabela 4, são apresentados os dados fenológicos dos cinco materiais avaliados nos dois ambientes. No AN, houve diferença significativa entre ciclos, para dias até o florescimento masculino (FM), e foi também significativo para dias até o florescimento feminino (FF), nos ambientes AN e AE. No AN, do C1 para o C4, o FM e FF atrasaram 3,5 dias. No AE, o FM não diferiu entre ciclos, enquanto o FF atrasou cerca de dois dias do C1 para o C4. Na média, houve um atraso de sete dias para o FM e de 9,5 dias para o FF, do AN para o AE. Geralmente, um estresse provocado por determinado fator (densidade, nutriente, seca, frio etc.) produz um retardamento no florescimento feminino, aumentando o intervalo de tempo entre o FM e o FF (Bolaños & Lafitte 1988). Assim, são concordantes os resultados obtidos neste trabalho, onde, para FF, nos ambientes AN e AE, houve um retardamento de dez dias para os materiais BR 107 e C1 e de 8,7 dias para o C4, sendo, ainda, que o intervalo entre o FM e FF, no AE, foi de 7,6 e 6,3 dias para BR 107 e C1, respectivamente, e de 8,1 dias para o C4.

Em nenhum dos ambientes AN e AF houve diferença significativa entre os materiais para os parâmetros altura de planta e altura de espiga. A seleção provocou uma redução no índice de

acamamento e quebramento do C1 para o C4, no AN, enquanto no AE não houve diferença significativa entre os materiais (Tabela 4).

Na Tabela 5, são apresentados os dados de sete parâmetros de produção. Para PG (kg/ha), verifica-se que a produção média dos materiais no AN foi de 6.923 kg/ha, enquanto que no AE foi de 5.066 kg/ha, com uma redução média de 27%. No AE, as cultivares BR 107 (4.469 kg/ha) e C1 (4.518 kg/ha) foram as menos produtivas, enquanto a cultivar de maior produção foi a C4 (5.540 kg/ha). O ganho de seleção no AE, do C1 para o C4, em kg/ha, foi de 22,64%, com média de 7,54% por ciclo, em termos de produção, em g/planta. O C1 e o BR 107, no AE, foram os menos produtivos, enquanto o C3 apresentou a maior produção. O ganho de seleção foi de 15,84%, com média de 5,28% por ciclo. O encharcamento provocou uma redução de 22% na produção média, em g/planta.

O encharcamento reduziu em 9% o peso médio de 500 sementes (P500). Não houve diferença significativa entre os ciclos: entretanto, no AE, os ciclos de seleção tiveram um P500 maior que a BR 107.

O número de grãos por planta (NG) não variou entre os materiais, no AN. Já no AE, houve diferença entre ciclos, exceto entre C3 e C4, sendo que o C3 foi o material com o maior NG, enquanto que de C1 para C4 houve um ganho de 12%. O encharcamento provocou uma redução média de 13% no NG. Do mesmo modo, como foi observado para os parâmetros PG e g/planta, do C1 para o C4, existe uma tendência de redução entre os ambientes também para o parâmetro NG.

Não houve diferença significativa para o parâmetro índice de espiga (prolificidade), nos ambientes AN e AF, para os cinco materiais.

TABELA 4. Florescimento masculino e feminino (dias), altura de planta (AP) e altura de espiga (AE) raiz quadrada do número de plantas quebradas e acamadas mais um (RQAQ), para cinco genótipos de milho avaliados em dois ambientes: normal (N) e encharcado (E).

	Amb	BR 107	C1	C2	C3	C4	Média	Sig. F	C V. (%)
Flor. Masc. (dias)	N	80,5 bc	79,5c	83,5 a	80,7 bc	83,0 ab	81,3	*	2,1
	E	88,0	88,0	89,6	89,0	88,6	88,6	n.s.	1,1
Flor. Femin. (dias)	N	85,2 bc	84,7 c	89,2 a	87,7 ab	88,0 ab	86,7	*	2,1
	E	95,6 ab	94,6 b	97,3 at	98,6 a	96,7 ab	96,2	*	1,6
AP (cm)	N	216	221	232	220	226	222	n.s.	5,8
	E	205	217	220	221	214	213	n.s.	7,4
AE (cm)	N	131	137	144	143	142	138	n.s.	8,2
	E	124	127	133	131	123	126	n.s.	9,5
RACQ	N	1,21 b	1,73 a	1,49 ab	1,49 ab	1,21 b	1,39	*	22,7
	E	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,18	n.s.	17,6

*Significativo a 5% pelo teste de Duncan. Médias na linha seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Duncan a 5%.

Fonte: Parentoni et al. (1989).

TABELA 5. Peso de grãos (PG), em kg/ha e em g/planta, peso de 500 sementes (P500), número de grãos por planta (NG), índice de espigas (IE), comprimento de espigas (CE) e número de fileiras da espiga (NFE), avaliados em dois ambientes, normal (N) e encharcado (E).

	Amb	BR 107	C1	C2	C3	C4	Média	Sig. F	C.V. (%)
PG (kg/ha)	N	6.335	6.580	7.307	6.993	7.388	6.923 A	n.s.	0.1
	E	4.469 b	4.518 b	5.216 ab	5.334 a	5.541 a	5.066 B	*	8.0
PG (g/pl)	N	127	141	154	142	150	144 A	n.s.	9.0
	E	103 bc	101 c	113 abc	121 a	117 ab	113 B	*	6.9
P500 (g)	N	159 b	182 a	182 a	183 a	186 a	179 A	**	3.1
	E	147 b	167 a	166 a	166 a	170 a	162 B	*	5.4
NG	N	401	389	425	389	402	404 A	n.s.	8.4
	E	355 ab	304 c	342 ab	366 bc	346 bc	352 B	*	7.3
IE (esp/pl)	N	1.18	1.15	1.27	1.20	1.10	1.19 A	n.s.	9.3
	E	1.15	1.06	1.06	1.09	1.09	1.11 B	n.s.	7.2
CE (cm)	N	14.8	15.7	16.0	14.7	16.2	14.07 A	n.s.	6.5
	E	14.6	14.2	14.5	14.0	14.5	13.77 B	n.s.	6.0
NFE	N	13.56 c	13.55 c	14.05 abc	13.85 bc	14.85 a	14.10 A	*	3.9
	E	13.33 b	13.47 b	13.33 b	13.60 b	14.20 ab	13.80 A	*	3.8

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na linha, ou maiúscula, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5%.

²Médias na linha seguidas por * diferem estatisticamente pelo teste de F a 5% (*) ou a 1% (**)

Fonte: Parentoni et al. (1989).

Para o parâmetro comprimento de espiga (CE), não houve diferença significativa entre os materiais, para os dois ambientes; entretanto, o encharcamento provocou uma redução de 6% no CE médio.

Quanto ao número de fileiras de espiga (NFE), a seleção provocou um aumento do C1 para o C4 e esse efeito foi manifestado nos dois ambientes. O NFE, entretanto, foi o único parâmetro de produção que não apresentou diferença significativa entre os ambientes. A BR 107 apresentou a menor NFE e o C4, o maior NFE. Espigas com maior número de fileiras, sob condições de estresse, poderiam garantir a fecundação de um maior número de grãos, em maior espaço de tempo. Isso porque a emissão dos estilo-estigmas ocorre da base para o ápice da espiguetta e, em condições normais, são necessários de três a cinco dias para a completa emergência (Goodman et al. 1987).

Os efeitos do encharcamento na disponibilidade de nutrientes e também na mudança das condições metabólicas das plantas são específicos para cada tipo de solo e não podem ser generalizados (Reid 1977).

O parâmetro absorção de nutriente, em mg/planta, avalia a quantidade total de nutriente extraída pela planta e é função da interação entre a capacidade de acumulação de massa seca e a concentração de nutrientes no tecido da planta. As alterações na concentração de nutrientes nos tecidos vegetais indicam mudanças no padrão metabólico da planta, através da absorção ou da translocação de nutrientes da parte aérea para os grãos.

As absorções de nutrientes na parte aérea e no grão, em mg/planta, encontram-se nas Tabelas 6 e 7. O encharcamento diminuiu a absorção total de N (mg/planta). Tal resultado foi devido à mineralização do nitrogênio, a partir da matéria orgânica no solo encharcado, ser lenta e o nitrato perder-se rapidamente. A absorção de N na parte aérea e no grão não apresentou diferença entre ciclos de seleção nos ambientes AN e AE. A absorção de P aumentou sob encharcamento e esse nutriente absorvido em excesso acumulou-se na parte aérea. Não houve diferenças entre os ciclos na absorção desse elemento nos grãos, nos ambientes AN e AE, e o C4 acumulou mais P que a testemunha BR 107. A absorção de P em excesso no AE pode estar ligada à maior disponibilidade desse nutriente nessa condição ou, ainda, à menor eficiência energética da planta nesse

ambiente (Stumn & Morgan 1970). As absorções de K na parte aérea e no grão não apresentaram variações significativas entre os ciclos, nos ambientes AN e AE. Existe uma tendência de o C₄ absorver mais K que o C₁, no AE. Segundo Sing & Ghydyal (1980), o principal efeito do encharcamento na absorção de K é devido à translocação deficiente desse elemento no interior da planta desse ambiente. O Ca absorvido ficou todo na parte aérea, sendo detectados nos grãos somente traços desse elemento, nos ambientes AN e AE. Existe uma tendência de o C₄ absorver menos Ca que o C₁, nos dois ambientes. O Mg teve sua absorção aumentada do C₁ para C₄ na planta e esse elemento absorvido acumulou-se na parte aérea, no AE. O Mg no grão aumentou significativamente do C₁ para o C₄ e o padrão BR 107 foi semelhante ao C₂. O acúmulo de Mg na parte aérea dos materiais testados pode estar ligado a alterações nos padrões de clorofila nesse ambiente. O S, de C₁ para C₄, foi grandemente acumulado na parte aérea e reduzida sua absorção nos grãos, indicando que seu padrão de translocação da parte aérea para o grão é drasticamente afetado pelo encharcamento. Existe uma tendência de a seleção praticada sob encharcamento reduzir o S no grão, apesar de esse efeito não ter sido significativo. Sendo o S requerido para a síntese de proteína, então o encharcamento deve diminuir a qualidade do grão.

Apesar de algumas tendências neste estudo terem sido evidentes, não houve grande variação entre os cinco materiais quanto à nutrição mineral, no AE. Ficaram também definidas as alterações básicas que ocorrem nos padrões de absorção e translocação de nutrientes pelas plantas de milho quando cultivadas em AE.

TABELA 6. Nutrientes (mg/planta) na parte aérea de cinco genótipos de milho de seleção em ambiente encharcado, avaliado em dois ambientes: normal (N) e encharcado (E).

	Amb	BR 107	C1	C2	C3	C4
N	N	726	743	798	803	736
	E	543	522	615	552	584
P	N	352	408	369	406	370
	E	482b ¹	574ab	737a	627ab	674ab
K	N	2.577	3.090	2.670	2.901	2.601
	E	2.093	2.197	2.551	2.456	2.455
Ca	N	1.031ab	1.307a	1.220ab	1.270a	1.163ab
	E	731	1.192	1.384	1.284	1.031
Mg	N	209	259	244	271	256
	E	205c	267abc	348a	330ab	289abc
S	N	314b	366b	714a	367b	502ab
	E	527	602	676	687	729

¹Médias na linha seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% (*).

Fonte: Parentoni (1989).

TABELA 7. Nutrientes (mg/planta) no grão de cinco genótipos de milho, de seleção em ambiente encharcado, avaliado em dois ambientes, normal (N) e encharcado (E).

	Amb	BR 107	C1	C2	C3	C4
N	N	1.670	1.764	1.960	1.833	1.858
	E	1.123	1.054	1.170	1.302	1.243
P	N	433	522	513	512	515
	E	376	343	375	397	425
K	N	297	382	357	342	357
	E	256	231	282	265	276
Mg	N	156	188	182	178	185
	E	120ab	114b	138ab	143a	145a
S	N	357	559	462	381	450
	E	197	362	229	198	204

¹Médias na linha seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 5% (*)

Fonte: Parentoni et al. (1989).

CONCLUSÕES

A seleção em ambiente encharcado provocou um aumento da porosidade de raiz do C1 para o C4.

O parâmetro número de fileiras de grãos da espiga foi o componente de produção, no ambiente encharcado, de maior efeito isolado no peso de grãos, em g/planta. A seleção para esse parâmetro implicará um aumento da produtividade.

O encharcamento reduziu a absorção de nitrogênio, mas não alterou o padrão de translocação do mesmo, da parte aérea para os grãos.

O encharcamento aumentou a absorção de S, P e Mg. O P e o Mg foram absorvidos em excesso, acumulados na parte aérea. A translocação de S da parte aérea para os grãos foi reduzida drasticamente.

O encharcamento reduz a qualidade biológica dos grãos de milho, através de dois mecanismos distintos: a proteína total do grão diminui, devido à redução na absorção de nitrogênio, e a relação N/S no grão aumenta, indicando redução da fração protéica contendo aminoácidos sulfurados, que é a de mais alto valor biológico em relação à proteína total.

REFERÊNCIAS

- ATWELL, B.J. 1985. A study of the impaired growth of root of *Zea mays* seedlings at low oxygen concentration. *Plants, Cell and Environment*. 8:179-188.
- BOLAÑOS, J. y LAFITTE, R. Efectos del exceso de humedad y altas temperaturas durante la floración en maíz. s.n.t. 10p (mimiografado).
- CANNELL, R.Q., GALES, K., SUAYDON, R.M. and SUHAIL, B.A. 1979. *Ann. Appl. Biol.* 93:327-335.
- CARANGAL, V.R. 1988. Maize in rice-based cropping systems. In: *ASIAN REGIONAL MAIZE WORKSHOP 3.*, Mexico, 1988. *Proceedings*. Mexico. CIMMYT. p.119-190.
- CRUCIANI, D. E. 1985 A drenagem na agricultura. Nobel 3 edição. p.40.
- DAS, D.K. and JAT, R.L.. 1977. Influence of three soil-water regimes on root porosity and growth of four rice varieties. *Agron. J.*, 69(2):197-200.
- GOODMAN, M.M. and SMITH, J.S.C. 1978. Botanica do milho. IN: *Melhoramento e produção de milho no Brasil*. IN: *Melhoramento e produção de milho no Brasil*. Piracicaba/ESALQ. Marprint, 1978. p.44-78).
- JENSEN, C.R.; LUXMOOR, R.J.; VAN GUNDY, S.D. E STOLZY, H.L. 1969. Root air space measurements by a pycnometer method. *Agron. J.* 61(3). 474-475.
- JACKSON, M.B. 1979. Is the diageotropic tomato ethylene deficient?. *Physiol. Plant* 46:347-351.

- JENSEN, C.R.; LUXMOOR, R.J.; VAN GUNDY, S.D. e STOLZY, H.L. 1969. Root air space measurements by a pycnometer method. *Agron. J.* 61(3) 474-475.
- KAWASE, M. & WHITMOYER, R.E. 1945. *Am. J. Bot.* 67:18-22. 1980 - Sifton, H.B. *Bot. Rev.* 11:108-143.
- KAWASE, M.J. 1981. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. *Hort. Science.* 16(1):30-34.
- KANWAR, R.S. and SIAL, J.K. 1988 Effects of waterlogging on growth on corn. In: ICID EUROPEAN REGIONAL CONFERENCE, 15, Dubrovnik, Yugoslavia, 1988. *Proceeding...* Dubrovnik: Luterrational Commission on Irrigation and Drainage. V2, p 167-171.
- PARENTONI, S.N.; GAMA, E.E.G.; MAGNAVACA, R.; LOPES, M.A.; BAHIA FILHO, A.F. de C.; PAIVA, E. 1990. Variabilidade genética e modificação morfológicas e fisiológicas para tolerância ao encharcamento do solo em milho. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS. 29p. (EMBRAPA. PNP de Milho. Projeto 00382022/2). Relatório.
- REID, D.M. 1977. In *Physiological Aspects of Crop Nutrition and Resistance*. U.S. Gupta, Ed. Atma Ram & Sons, New Delhi, pp 252-310.
- RUSSELL, R.S. 1977. *Plant Root Systems: Their function and interaction with the soil*. MC Graw-Hill, New York, pp. 90-112.
- STUMN, W. and MORGAN, J.J. 1970. *Aquatic Chemistry*. Miley (Interscience) New York.
- SANCHEZ, A.P. 1981. *Suelos del Trópico. Características y Manejo*. 1 ed. San José de la Costa Rica. IICA.
- SILVA, A.R. Tolerância ao encharcamento. s.n.t. 22 p. (mimeografado) Trabalho apresentado no 1 Simpósio sobre alternativa ao sistema tradicional de utilização das várzeas do Estado do Rio Grande do Sul.
- SINGH, R. and GHILDAYL, B.P. 1980. Soil submergence effects on nutrient uptake, growth and yield of five corn cultivars. *Agronomy Journal*, 75(5):737-741.

- SCHRAVENDIZK, H.W.V. and ANDEL, O.M.V. 1985. Interdependence of growth, water relations and abscisic acid level in *Phaseolus vulgaris* during waterlogging. *Physiol. Plant.* 63:215-220.
- SCOTT RUSSELL, R. 1980. Plant root systems: Their function and interaction with the soil. McGraw-Hill Book Company (UK) Ltd. London. pp.193-212.
- WU, M.S.; JIANG, C.G. and SONG, Z.W. 1987. Control of waterlogging in summer maize and its effect on yield. *Jiangsu - Mongye - Kexue*, n 4, p.13-15.

