# EFEITO DO CÁLCIO SOBRE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS E MORFOLÓGICAS DE PLANTAS DE MILHO BRS-4154 SUBMETIDAS AO ALAGAMENTO DO SOLO

JORGE LUIS ROMERO[1], PAULO CÉSAR MAGALHÃES[2], JOSÉ DONIZETI ALVES[3], FREDERICO O. M. DURÃES[2], CARLOS ALBERTO VASCONCELLOS[2].

*[1]Corporación Colombiana de Investigación Agropecuária "CORPOICA", C. I. Turipaná, Km 13 vía Montería-Cereté, A. A: 602 Montería, Córdoba, Colombia. E-mail: jorgeromeroferrer@yahoo.com*
*[2]Pesquisadores Embrapa Milho e Sorgo. Caixa Postal 151, CEP. 35701-970 Sete Lagoas, MG. E-mail: pcesar@cnpms.embrapa.br (autor para correspondência).*
*[3]Departamentpo de Biologia, Universidade Federal de Lavras. Caixa Postal 37, CEP. 37200-000 Lavras, MG, Brasil. E-mail: jdalves@ufla.br.*

*Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.2, n.3, p.21-33, 2003*

**RESUMO -** O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio no solo, em condições de alagamento, no comportamento de algumas características biofísicas e morfológicas de plantas de milho, cultivar Saracura, medidas na floração. O experimento foi conduzido em condições controladas de casa de vegetação, na Embrapa Milho e Sorgo. As sementes utilizadas foram de milho Saracura BRS 4154, ciclo 14; o solo empregado foi de várzea. Os tratamentos utilizados foram: duas fontes de cálcio ($CaCl_2$, 300 kg $ha^{-1}$ e gesso, 500 e 1500 kg $ha^{-1}$) e três formas de aplicação (incorporado nos primeiros 8 cm da superfície, em todo o solo e sobre a superfície), em condições normais de irrigação e sob alagamento iniciado no estádio V6, permanecendo até a floração. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado e as análises foram feitas na floração, avaliando-se área foliar, acúmulo de matéria seca da parte aérea da planta, eficiência fotoquímica do fotossistema II, características biofísicas, tais como, resistência estomática e transpiração, algumas características morfológicas, como porosidade de raízes e raízes adventícias, intervalo entre florescimento masculino e feminino e análise do teor de macronutrientes. Basicamente, o alagamento influenciou negativamente o acúmulo de matéria seca, as características biofisicas e os teores de macronutrientes. O gesso incorporado em todo o solo e a lanço promoveu aumento no acúmulo de matéria seca das plantas submetidas ao alagamento. Os níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio sob condições de alagamento influenciaram na eficiência fotossintética do fotossistema II e na diminuição da porcentagem de porosidade das raízes; no entanto, não houve influência desses tratamentos no crescimento vegetativo, nas características biofísicas e nos teores de macronutrientes como nitrogênio e fósforo.

**Palavras-chave:** *Zea mays* L., estresse abiótico, encharcamento do solo, gesso.

# EFFECT OF CALCIUM ON SOME BIOPHYSICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MAIZE PLANTS BRS-4154 SUBMITTED TO WATER LOGGING

**ABSTRACT -** The objective of this work was to evaluate, in greenhouse, the effect of different levels, sources and modes of calcium application under flooding, on the behavior of some biophysical and morphological characteristics in maize plants, cultivar Saracura, at flowering

stage. The experiment was carried out at Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. The seeds were from cultivar Saracura and the soil was a low land type. The treatments used were: two sources of calcium ($CaCl_2$, 300 kg $ha^{-1}$ and lime at 500 and 1500 kg $ha^{-1}$) and three modes of application (incorporated on the first 8 cm from soil surface, in all soil profile and on the soil surface). The water treatments were regular irrigation and flooding, starting at V6 growth stage up till flowering. The experimental design used was fully randomized, being the evaluations accomplished at flowering, and the parameters were: leaf area, dry matter accumulation of plants, photochemical efficiency of photosystem II, stomatal resistance and transpiration, root porosity, presence of adventitious roots and flowering development. The results showed that in a general way flooding influenced negatively the vegetative growth, some biophysical characteristics, and macronutrient contents as well. Lime, incorporated in all soil profile and broadcasted, promoted an increase on dry matter accumulation of plants grown under flooding. The levels, sources and ways of calcium application in flooding conditions, influenced the photochemical efficiency of photosystem II and decreased the root porosity percentage. These treatments, however, did not influence vegetative growth, biophysical characteristics and macronutrients content, such as nitrogen and phosphorus levels.

**Key words**: *Zea mays* L., abiotic stress, flooding tolerance, lime.

Nos ambientes com excesso de água no solo, há um estresse pelo decréscimo da concentração de oxigênio no meio (Jackson & Drew, 1984), acarretando uma série de distúrbios no metabolismo das plantas, que se manifestam por meio de alterações no crescimento e no desenvolvimento (Kozlowski & Pallardy, 1984; Crane & Davies, 1988), o que pode afetar a condutância estomática, diminuindo a perda de água pela transpiração e também a assimilação do carbono necessário ao crescimento (Naidoo, 1983; Tsukahara & Kozlowski, 1986; Crane & Davies, 1988) e reduzir o crescimento da raiz e da parte aérea das plantas (Huang & Jhonson, 1995; Huang *et al.*, 1995; Liao & Lin, 2001). A paralisação do crescimento e da respiração das raízes conduz a uma queda drástica na absorção e no transporte de nutrientes minerais para a parte aérea. Mesmo se a matéria seca da parte aérea continuar aumentando, a concentração de nutrientes reduz-se, devido à diluição (Marscher, 1995). Uma redução acentuada do crescimento da planta, folhas, diâmetro do caule, diminuição do peso seco e taxa de crescimento relativo foi observada em *Betula papyifera*, sob condições de alagamento (Tsukahara & Kozlowski, 1986). Segundo Voesenek *et al.* (1989), o crescimento da planta em condições de solos inundados deve-se, principalmente, à formação de raízes adventícias, que são responsáveis por manter a absorção de água e nutrientes da solução do solo. Huang *et al.* (1995) afirmaram que o alagamento reduziu as concentrações de N, P, K, Mg e Zn nos tecidos da parte aérea, enquanto que, na raiz, ocorreu um incremento desses. No entanto, o alagamento teve efeito inibitório menos pronunciado sobre a acumulação do Ca e Mg do que para o N, P e K.

O cálcio, além da sua função como elemento estrutural constituinte da parede celular, tem também importante participação como mensageiro secundário, em resposta às mais diferentes condições de estresse. Em condições de deficiência de oxigênio, a variação na concentração desse cátion precede a expressão de genes que codificam peptídeos anaeróbicos. Existem relatos na literatura de que, após dois minutos em condições de anoxia, ocorre uma elevação na concentração de cálcio no citoplasma (Subbaiah *et al*. 1994). A maior tolerância à baixa pressão de oxigênio está relacionada, portanto, com o metabolismo de parede celular, visto

que o cálcio atua como elemento estrutural, conferindo maior resistência a essa parede (Grant *et al*. 1973; Damarty *et al*. 1984).

O alagamento como um fator de estresse causa ação inibitória na fase bioquímica da fotossíntese. Sabendo-se que o fotossistema II (PSII) é responsável pelo fornecimento de energia para a fotossíntese, a avaliação de sua eficiência pode tornar-se um indicador da tolerância em plantas sob alagamento. Esse monitoramento pode ser obtido pela fluorescência da clorofila (Schreiber *et al.*, 1997). A fluorescência da clorofila *a* pode ser utilizada na avaliação de danos causados pelo estresse hídrico. O principal parâmetro utilizado para a avaliação desses danos no sistema fotossintético é a razão $F_v/F_m$, indicando a eficiência fotoquímica do fotossistema II, sendo $F_v$ a fluorescência variável e $F_m$ a fluorescência máxima. Embora a razão $F_v/F_m$ normalmente decresça em plantas submetidas a algum tipo de estresse (Krause & Weis, 1991; Cornic & Briantais, 1991), alguns autores não detectaram reduções na eficiência fotoquímica do fotossistema II, em plantas sob déficit hídrico (Bjorkman & Powles, 1984; Epron & Dreyer, 1990, 1993). Em gramíneas, Heckathorn *et al.* (1997), utilizando análise da fluorescência, detectaram pouco prejuízo fotossintético durante a seca. Há relatos na literatura de que o período compreendido entre a emergência dos estilo-estigmas e a extrusão de anteras com a conseqüente liberação de grãos de pólen é denominado Intervalo entre os Florescimentos Masculino e Feminino - IFMF (DuPlessis & Dijkhuis, 1967; Bolaños & Edmeades, 1996; Durães *et al.*, 1997 e 1998). Para o milho, o IFMF é considerado um eficaz indicador fenotípico de tolerância ao déficit hídrico e vem sendo utilizado em programas de melhoramento que têm como objetivo aumentar a estabilidade na produção sobre condições de seca (Durães *et al.*, 1997; Labory *et al.*, 1997). Baixo valor de IFMF indica um sincronismo no florescimento, que traduz uma adaptação a um dado estresse e está associado ao rendimento de grãos sob condições adversas. A redução do IFMF é parcialmente uma conseqüência do maior potencial hídrico da planta durante o florescimento. Nesse contexto, o IFMF pode ser considerado uma estratégia de diagnóstico no desenvolvimento de uma cultivar mais eficiente em relação à emissão de estilo-estigma em si, uma vez que o IFMF é totalmente independente das diferenças de maturação entre os genótipos (Bolaños & Edmeades, 1993).

A baixa pressão de oxigênio nos solos promovida pelo alagamento é um dos estresses ambientais que reduzem severamente o crescimento e a produtividade da cultura do milho, pois esse cereal é classificado como não tolerante a essa condição. No entanto, têm-se encontrado cultivares que apresentam certa tolerância à hipoxia, o que tem sido atribuído à presença de diferentes mecanismos bioquímicos e fisiológicos, tais como, fechamento estomático e também alterações morfológicas como, por exemplo, a formação de raízes adventícias e aerênquima nas raízes (Drew *et al.*, 1979; Dantas *et al.*, 2001) e alteração da expressão gênica que leva à síntese de polipeptídios anaeróbicos, desviando o metabolismo para a via anaeróbica (Chang *et al.*, 2000; Alves *et al.*, 2000; Liao & Lin, 2001). Assim, a Embrapa Milho e Sorgo lançou no mercado, em 1997, a cultivar BRS 4154, conhecida como Saracura, que possui, como principal característica, tolerância a períodos intermitentes de encharcamento do solo, por ser menos susceptível a alterações no seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (Parentoni *et al.*, 1995).

Tomando como base os trabalhos que relacionaram a maior tolerância à baixa pressão de oxigênio com o metabolismo de parede celular, surgiu a necessidade de verificar qual a participação do cálcio nesse mecanismo, visto que esse íon atua como elemento estrutural, conferindo maior resistência à

parede celular (Damarty *et al.*, 1984; Grant *et al.*, 1973). A adição de cloreto de cálcio à solução de germinação promoveu o aumento na sobrevivência das plântulas, sob condições de hipoxia, tanto do Saracura como da variedade BR 107, classificada como não tolerante a este tipo de estresse (Gouvêa, 2001; Purcino *et al.*, 2001b; Vitorino *et al.*, 2001). Apesar da adição de cálcio à solução de germinação ter aumentado a tolerância da cv. "Saracura", quando em condições de déficit de oxigênio, todos os experimentos realizados até o presente foram conduzidos em laboratório, nas fases de germinação e desenvolvimento inicial das plântulas. Pelo exposto, há necessidade de maiores investigações sobre como esse elemento influencia a tolerância ao alagamento em plantas adultas. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio em condições de alagamento, sobre algumas características biofísicas e morfológicas em plantas de milho "Saracura", medidas na floração, em condições de casa de vegetação.

## Material e Métodos

Este estudo foi conduzido em condições controladas de casa de vegetação da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas, MG, com altitude de 732 m, latitude Sul 19°28', longitude Oeste 44°15'.

O solo de várzea utilizado foi o classificado como Neossolo Flúvico Tb, Eutrópico Típico, textura argilosa, fase relevo plano, de campos de várzea (Embrapa Solos, 1999).

A amplitude das temperaturas máxima e mínima no interior da casa de vegetação durante o período de avaliação foram de 30º-36ºC e 9,5º-15,5ºC, respectivamente. A umidade relativa oscilou de 52% a 78%. Foram utilizados vasos com 20 kg de solo, 32 cm de altura e 27 cm de diâmetro e duas plantas/vaso. A adubação do solo foi feita de acordo com os resultados da análise química (Tabela 1). No momento da semeadura, aplicou-se uma adubação básica com 5-20-20+Zn na dose de 700 kg $ha^{-1}$. Após a germinação, fizeram-se coberturas semanais com sulfato de amônio, na dose de 10 kg $ha^{-1}$ de N, até totalizar a dose total de 100 kg $ha^{-1}$ de N. As sementes utilizadas foram de milho cv. Saracura BRS 4154, ciclo 14. Os tratamentos foram constituídos por uma variação de duas fontes de cálcio: cloreto de cálcio, $CaCl_2$, com 19% de cálcio, na dose de 300 kg $ha^{-1}$ e gesso, cujo teor de cálcio é de 16%, nas doses de 500 e 1.500 kg $ha^{-1}$) e três formas de aplicação (incorporado aos primeiros 8 cm da superfície, incorporado em todo o solo e sem incorporar). As plantas foram submetidas a dois ambientes até o florescimento: condições normais de irrigação e alagamento imposto no estádio V6, caracterizado por seis folhas totalmente desenvolvidas. O encharcamento do solo foi realizado lentamente até a saturação, sendo que a umidade do vaso foi mantida através de irrigações diárias até próximo à avaliação das plantas. A irrigação normal foi realizada através de duas irrigações semanais (Resende *et al*., 1992). O delineamento experimental utilizado para os dois ambientes de irrigação foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo que cada vaso representava um tratamento com duas plantas. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey, com probabilidade de 5%. A análise estatística para o experimento foi feita pelo programa SISVAR (Ferreira, 2000).

As avaliações foram realizadas em uma planta de cada vaso, durante o período de floração, tomando-se a área foliar com um integrador da marca LICOR (Licor-1000); resistência estomática e transpiração da folha, utilizando-se um porômetro (Steady State Porometer, Licor 1600).

A eficiência fotoquímica do fotossistema II foi avaliada por meio de um fluorômetro PEA II (Hansatech Instruments Co. UK). Para tal, antes da

**TABELA 1**. Resultado da análise no solo utilizado. Lavras, MG, 2003.

| pH | H + Al | Al | Ca | Mg | K | P | M.O | Sat. Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cmolc $dm^{-3}$ | | | | mg $dm^{-3}$ | | dag $kg^{-1}$ | % |
| 5.7 | 2.13 | 0.0 | 3.28 | 0.66 | 86 | 3 | 3.56 | 0 |

leitura, as folhas permaneceram no escuro por 30 minutos, utilizando-se clipes foliares para a estabilização dos fotossistemas. Posteriormente, emitiu-se uma intensidade luminosa de 60% da capacidade total do aparelho, durante cinco segundos. As características medidas foram a fluorescência inicial ($F_0$), a fluorescência máxima ($F_m$) e a fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$). Para avaliar a eficiência fotoquímica propriamente dita, foi utilizada a relação $F_v/F_m$. As avaliações de fluorescência e trocas gasosas foram realizadas no horário das 9:00 às 11:00 horas, na terceira folha, no sentido do ápice para a base da planta (Durães *et al*. 2000).

A avaliação da matéria seca foi realizada na parte aérea das plantas, a uma temperatura de 70ºC até peso constante. Os macronutrientes foram determinados também na parte aérea, baseado na porcentagem do peso seco (g $kg^{-1}$), seguindo-se a metodologia descrita por Sarruge & Haag (1974).

O intervalo de florescimento masculino e feminino (IFMF) foi determinado pela diferença de dias entre a floração masculina e feminina, tal como descrito por Durães *et al.* (1998). A porosidade da raiz foi obtida pelo método do picnômetro (Jensen *et al.*, 1969). Para a avaliação das raízes adventícias, foi utilizada a seguinte escala de notas: 1- sem raízes adventícias; 2- raízes adventícias finas; 3- raízes adventícias finas e aéreas e 4- raízes adventícias normais.

## Resultados e Discussão

Observou-se que a área foliar e a eficiência do fotossistema II, medida pela relação $F_v/F_m$, apresentaram uma tendência de menores valores nos tratamentos submetidos ao alagamento. Já para a resistência estomática e transpiração, sob esse mesmo regime hídrico, foram obtidos, em geral, respectivamente maiores e menores valores do que no regime de irrigação normal (Tabela 2).

A literatura aponta diversos trabalhos em que se verifica que essas características são fortemente afetadas pelo excesso de água no solo. Crane & Davies (1988) e Huang *et al.* (1994), ao avaliarem plantas alagadas de *Rabbiteye blueberry* e *Triticum aestivum*, respectivamente, observaram, a exemplo deste trabalho, uma diminuição significativa na área foliar e na condutância estomática à medida que o tempo de alagamento foi prolongado. Para Naidoo (1983), aumentos na resistência estomática de plantas de *Bruguiera gymnorrhiza* (L) alagadas se devem a aumentos nos níveis de ácido abcísico na folha.

Ao se compararem os efeitos dos diversos tratamentos com cálcio, dentro dos tratamentos alagados e irrigados normalmente, observa-se que, para estes últimos, os tratamentos com cálcio não afetaram os valores de área foliar e a eficiência fotoquímica do fotossistema II. Quando as plantas foram submetidas ao alagamento, verificou-se que a aplicação de cálcio, de maneira geral, melhorou a resposta a esse tipo de estresse, uma vez que, para as variáveis área foliar, $F_v/F_m$ e resistência estomática, houve diferenças significativas entre vários tratamentos em relação à testemunha (Tabela 2).

Estes resultados demonstram que o cálcio melhorou a tolerância das plantas ao estresse por excesso de água. Destacam-se aqui os valores da eficiência fotossintética das plantas oriundas dos

**TABELA 2**. Médias de área foliar ($cm^2$), eficiência fotoquímica do fotossistema II ($F_v/F_m$), resistência estomática ($s\ mm^{-1}$), e transpiração ($mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$), avaliadas na época da floração, em plantas de milho Saracura submetidas ao alagamento e irrigação normal com diferentes níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio. Lavras, MG, 2003.

| Tratamento | Ambiente | Área foliar | Fv/Fm | Resistência estomática | Transpiração |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Alagado | 545c* | 0,636d | 4,9c* | 3,6ab* |
| 2 | Alagado | 1940abc* | 0,752ab | 11,5a* | 1,5ab* |
| 3 | Alagado | 4082a | 0,68cd | 12,6a* | 1,1ab* |
| 4 | Alagado | 2250abc* | 0,752ab | 11,3ab* | 0,7b* |
| 5 | Alagado | 3198abc* | 0,696bcd | 5,7bc* | 3,7ab* |
| 6 | Alagado | 2939abc* | 0,718abc | 5,5c* | 1,4ab* |
| 7 | Alagado | 3636ab* | 0,751ab | 3,6c* | 2,2ab* |
| 8 | Alagado | 1403abc* | 0,767a | 8,9abc* | 1,3ab |
| 9 | Alagado | 1979abc* | 0,737abc | 6,9abc* | 1,9ab |
| 10 | Alagado | 1292bc* | 0,674bcd | 4,7c* | 4,0a |
| Média | | 2329* | 0,72 | 7,6* | 2,2 |
| CV (%) | | 40 | 3,30 | 26,6 | 49,9 |
| 1 | I. Normal | 5996abc | 0,791ab | 2,5b | 5,8a |
| 2 | I. Normal | 6400ab | 0,791ab | 2,2b | 4,9abc |
| 3 | I. Normal | 4462c | 0,795a | 2,1b | 5,0abc |
| 4 | I. Normal | 5359bc | 0,792ab | 3,1ab | 3,3abcd |
| 5 | I. Normal | 5796abc | 0,785abc | 2,3b | 5,3ab |
| 6 | I. Normal | 7072a | 0,769bc | 3,8ab | 2,2cd |
| 7 | I. Normal | 6632ab | 0,769bc | 6,5a | 1,3d |
| 8 | I. Normal | 7069a | 0,782abc | 4,2ab | 1,6d |
| 9 | I. Normal | 6243ab | 0,775abc | 3,3ab | 2,4bcd |
| 10 | I. Normal | 5739abc | 0,674cd | 2,3b | 3,2abcd |
| Média | | 6077 | 0,781 | 3,2 | 3,2 |
| CV (%) | | 9,5 | 1,1 | 37 | 29,8 |

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si dentro de cada ambiente de irrigação (alagado e normal), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. *Diferença entre o tratamento alagado e irrigação normal. Tratamentos: 1) Sem Cálcio (testemunha); 2) 500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 3) 500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado em todo o solo; 4) 500 kg $ha^{-1}$ de gesso – sem incorporar; 5) 1500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 6) 1500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado em todo o solo; 7) 1500 kg $ha^{-1}$ de gesso – sem incorporar; 8) 300 kg de cloreto de Cálcio – incorporado a 8 cm da superfície; 9) 300 kg de cloreto de Cálcio – incorporado em todo o solo; 10) 300 kg de cloreto de Cálcio – sem incorporar.

tratamentos 2, 4, 7 e 8, os quais foram iguais ou superiores a 0,75, índice considerado limite para provocar dano no fotossistema II (Bolhar-Nordenkampf, *et al*. 1989), assim como os valores de área foliar dos tratamentos 3 e 7, que foram estatisticamente superiores à testemunha.

O alagamento influenciou negativamente o acúmulo de matéria seca da parte aérea da planta (Tabela 3). Vários autores afirmam que essa característica é a mais afetada pelo alagamento, porque esse estresse atua sobre vários processos fisiológicos das plantas (Huang & Johnson, 1995; Huang *et al.*, 1995; Albrecht *et al.*, 1997). De acordo com Summer *et al.* (2000) e Alves *et al.* (2000), essa condição de estresse leva à utilização de vias alternativas da respiração aeróbica, com uma produção deficiente de energia (2 ATPs). Observa-se, entretanto, que, quando aplicou-se o cálcio na forma de gesso ($T_3$, $T_6$ e $T_7$), as plantas atingiram um valor de fitomassa superior a da testemunha ($T_1$).

O alagamento aumentou de 2,5 dias, em condições de irrigação normal, para 3,3 dias o intervalo entre floração masculina e feminina (IFMF) (Tabela 3). Bolaños & Edmeades (1993) e Durães *et al.* (2000) apresentam essa variável como uma importante ferramenta na seleção de plantas de milho sob déficit hídrico, que pode ser utilizada como parâmetro de seleção sob condições de excesso de água. Não se apresentaram diferenças entre os tratamentos alagados e irrigados normalmente, quando comparados com suas respectivas testemunhas ($T_1$). Com esse resultado, sugere-se que o cálcio nas fontes e formas utilizadas sob condições controladas não influenciou esse parâmetro.

O alagamento faz com que aumente a porosidade de raízes na cultivar de milho Saracura, conforme demonstrado por Magalhães *et al.* (2000 e 2001). Entretanto, no presente trabalho, observou-se que a porosidade das raízes de plantas dos tratamentos com cálcio submetidas ao alagamento, foi inferior à de sua testemunha ($T_1$). Este resultado pode ser explicado pelo trabalho de Dantas *et al.* (2001), que trabalharam com plântulas de milho Saracura submetidas ao alagamento e observaram o efeito do cálcio na diminuição de aerênquimas, o qual foi atribuído como aporte desse íon sobre a redução da atividade de enzimas relacionadas à degradação da parede celular.

Quanto à presença de raízes adventícias, verifica-se que não houve diferença estatística entre as médias dos tratamentos submetidos à irrigação normal ou alagado. A literatura relata, em determinados casos, que, sob a influência do alagamento, determinadas plantas desenvolvem um maior número de raízes adventícias (Esau, 1993). Para Gibberd *et al.* (2001), as formações dessas estruturas melhoram a adaptação das plantas a condições de alagamento, as quais beneficiam a distribuição de oxigênio e a assimilação de nutrientes no sistema radicular.

O alagamento fez com que diminuíssem os teores de N e P e aumentassem os teores de Ca e S na parte aérea da planta (Tabela 4). Apesar de este trabalho apresentar decréscimo do N total nos tratamentos alagados, Magalhães *et al*. (1995) relataram, em um estudo realizado em solução nutritiva, que o milho Saracura provavelmente tem um mecanismo alternativo de assimilação de $NH_4$ e síntese de aminoácidos em condições de alagamento, o qual supera a toxicidade do $NH_4$ e a deficiência de oxigênio. A discordância entre os resultados encontrados na presente pesquisa e aqueles relatados por Magalhães *et al*. (1995) pode ser devido às condições distintas em que os estudos foram conduzidos.

Os teores de K e Mg não apresentaram alterações significativas nos dois ambientes de irrigação avaliados, quando comparados com suas respectivas testemunhas. A aplicação de cálcio não promoveu variações aparentes nos teores desses elementos, quando comparados com a sua respectiva

**TABELA 3**. Matéria seca da parte aérea (g), intervalo de floração masculina e feminina (IFMF) (dias), porcentagem de porosidade da raiz transformada por $\sqrt{X}$ e raízes adventícias transformados por $\sqrt{X}$ (escala de 1 a 4), avaliados na época de floração em plantas de milho Saracura submetidas ao alagamento e irrigação normal com diferentes níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio. Lavras, MG, 2003.

| Tratamento | Ambiente | Matéria Seca | IFMF | % Porosidade | Raízes adventícias |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Alagado | 38,6b* | 3,5a | 2,24a* | 1,73a |
| 2 | Alagado | 37,0b* | 3,2a | 1,38b* | 1,71a |
| 3 | Alagado | 106,6a | 3,2a | 1,54b* | 1,73a* |
| 4 | Alagado | 45,3b* | 3,7a | 1,25b* | 1,73a* |
| 5 | Alagado | 39,0b* | 3,0a | 1,53b* | 1,73a |
| 6 | Alagado | 97,0a* | 3,7a | 1,42b* | 1,86a* |
| 7 | Alagado | 95,3a* | 3,0a | 1,15b* | 1,79a* |
| 8 | Alagado | 38,3b* | 3,2a | 1,44b* | 1,86a |
| 9 | Alagado | 30,3b* | 3,2a | 1,55b* | 1,75a |
| 10 | Alagado | 59,3ab | - | 1,49b* | 1,73a |
| Média | | 58,7* | 3,3* | 1,49* | 1,76* |
| CV (%) | | 28,4 | 19,5 | 15,1 | 6,2 |
| 1 | I. Normal | 110,1c | 2,6a | 0,73a | 1,5a |
| 2 | I. Normal | 104,9c | 2,4a | 0,53a | 1,75a |
| 3 | I. Normal | 101,8c | 2,7a | 0,56a | 1,25a |
| 4 | I. Normal | 102,8c | 2,6a | 0,51a | 1,25a |
| 5 | I. Normal | 114,2c | 2,7a | 0,41a | 1,5a |
| 6 | I. Normal | 196,9a | 2,3a | 0,99a | 1,0a |
| 7 | I. Normal | 180,2ab | 2,5a | 0,98a | 1,0a |
| 8 | I. Normal | 171,1ab | 2,3a | 0,94a | 1,5a |
| 9 | I. Normal | 158,7b | 2,3a | 0,99a | 1,73a |
| 10 | I. Normal | 153,9b | 2,6a | 0,88a | 1,85a |
| Média | | 139,5 | 2,5 | 0,75 | 1,43 |
| CV (%) | | 6,8 | 23 | 42,9 | |

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si dentro de cada ambiente de irrigação (alagado e normal), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. * Diferença entre o tratamento alagado e irrigação normal. Tratamentos: 1) Sem Cálcio (testemunha); 2) 500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 3) 500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado em todo o solo; 4) 500 kg $ha^{-1}$ de gesso – sem incorporar; 5) 1500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 6) 1500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado em todo o solo; 7) 1500 kg $ha^{-1}$ de gesso – sem incorporar; 8) 300 kg de cloreto de Cálcio – incorporado a 8 cm da superfície; 9) 300 kg de cloreto de Cálcio – incorporado em todo o solo; 10) 300 kg de cloreto de Cálcio – sem incorporar.

**TABELA 4**. Macronutrientes (g $kg^{-1}$ MS) na biomassa seca da parte aérea de plantas de milho Saracura no estádio de floração, submetidas ao alagamento e irrigação normal, com diferentes níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio. Lavras, MG, 2003.

| Tratamento | Ambiente | N | P | K | Ca | Mg | S |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Alagado | 1,78a* | 0,09a* | 2,12ab | 0,96ab* | 0,14a | 1,10ab* |
| 2 | Alagado | 1,97a* | 0,09a* | 1,18ab | 0,99a* | 0,14a | 0,65bcd |
| 3 | Alagado | 2,54a | 0,12a* | 2,06ab | 0,78ab | 0,13a | 0,93abc* |
| 4 | Alagado | 1,82a* | 0,09a* | 1,94ab | 0,73ab | 0,12a | 0,69bcd |
| 5 | Alagado | 2,20a* | 0,12a* | 2,31a | 0,91ab* | 0,15a | 1,27a* |
| 6 | Alagado | 2,23a | 0,11a | 1,41b | 0,68b* | 0,13a | 0,48cd |
| 7 | Alagado | 2,27a* | 0,11a | 1,86ab* | 0,83ab* | 0,13a* | 0,62bcd* |
| 8 | Alagado | 2,04a* | 0,09a* | 2,19ab* | 1,00a* | 0,13a | 0,80abcd* |
| 9 | Alagado | 1,94a* | 0,09a* | 2,03ab | 0,72ab* | 0,14a | 0,72bcd* |
| 10 | Alagado | 1,69a* | 0,09a* | 2,00ab | 0,75ab* | 0,13a* | 0,32d |
| Média | | 2,05* | 0,10* | 1,98 | 0,84* | 0,13* | 0,76* |
| CV (%) | | 21,3 | 35,4 | 17,08 | 14,2 | 21,9 | 28,94 |
| 1 | I. Normal | 2,94a | 0,19abc | 2,15ab | 0,63a | 0,15a | 0,46abc |
| 2 | I. Normal | 2,90a | 0,23a | 1,18ab | 0,73a | 0,14a | 0,51ab |
| 3 | I. Normal | 2,91a | 0,18abc | 2,06abc | 0,62a | 0,15a | 0,35abc |
| 4 | I. Normal | 2,96a | 0,21ab | 2,10ab | 0,61a | 0,15a | 0,52a |
| 5 | I. Normal | 3,11a | 0,22a | 2,23a | 0,58a | 0,13a | 0,45abc |
| 6 | I. Normal | 2,42a | 0,13c | 1,61bc | 0,48a | 0,15a | 0,28c |
| 7 | I. Normal | 2,46a | 0,13c | 1,31c | 0,53a | 0,17a | 0,28c |
| 8 | I. Normal | 2,55a | 0,16abc | 1,59bc | 0,51a | 0,15a | 0,31bc |
| 9 | I. Normal | 2,60a | 0,14abc | 1,68abc | 0,57a | 0,14a | 0,42abc |
| 10 | I. Normal | 2,50a | 0,15abc | 1,88abc | 0,54a | 0,17a | 0,31bc |
| Média | | 2,73 | 0,17 | 1,83 | 0,59 | 0,15 | 0,39 |
| CV (%) | | 10,4 | 18,2 | 12,9 | 20,7 | 17,2 | 20,4 |

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si dentro de cada ambiente de irrigação (alagado e normal), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. * Diferença entre o tratamento alagado e irrigação normal. Tratamentos: 1) Sem Cálcio (testemunha); 2) 500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 3) 500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado em todo o solo; 4) 500 kg $ha^{-1}$ de gesso – sem incorporar; 5) 1500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 6) 1500 kg $ha^{-1}$ de gesso – incorporado em todo o solo; 7) 1500 kg $ha^{-1}$ de gesso – sem incorporar; 8) 300 kg de cloreto de Cálcio – incorporado a 8 cm da superfície; 9) 300 kg de cloreto de Cálcio – incorporado em todo o solo; 10) 300 kg de cloreto de Cálcio – sem incorporar.

testemunha, alagada ou não. A queda nos teores de N e P também foi observada por Huang *et al.* (1995), estudando dois genótipos de trigo alagado. A aplicação de cálcio não conseguiu reverter o efeito nocivo do alagamento para o milho. Quanto ao Ca, Moraes & Dynia (1992), embora não conseguissem explicar, detectaram aumentos desse nutriente na solução do solo e na planta de arroz, após a inundação. Esses resultados demonstram que, embora fosse verificado um aumento nas concentrações

de Ca e ausência de variações nos de K, Mg e S, quando as plantas se encontravam alagadas, este estresse, em termos dos dois importantes nutrientes, N e P, foi extremamente prejudicial. Pelo exposto, a deficiência desses dois macronutrientes ajuda a explicar a redução no crescimento e desenvolvimento do milho, em situação de alagamento.

## Conclusões

O alagamento influencia negativamente o crescimento vegetativo, as características biofísicas (resistência estomática e transpiração) e os teores de N e P.

O gesso, incorporado em todo o solo e a lanço, promove aumento no acúmulo de matéria seca das plantas submetidas ao alagamento.

Em geral, os tratamentos envolvendo os níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio sob condições de alagamento influenciam na eficiência fotossintética do fotossistema II.

Os níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio sob condições de alagamento influenciam na diminuição da porcentagem de porosidade das raízes submetidas ao alagamento.

## Literatura Citada

ALVES, J. D.; MAGALHÃES, M. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; VITORINO, P. F. P. G. Mecanismo de tolerância de plantas ao alagamento**. Universa,** Brasília, v. 8, n. 1, p. 221 - 242, mar. 2000.

ALBRECH, G.; BIEMELT, T. S.; BAUMGARTNER, S. Accumulation of fructans following oxygen defiency estress in related plant species with different flooding tolerance**. New Phytologist,** Cambridge, v. 136, n. 1, p. 137-144, May 1997.

BJÖRKMAN, O.; POWLES, S. B. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interation with light level. **Planta**, Berlin, v. 161, p. 490 - 504, Dec. 1984.

BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. O. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. II. Responses in reproductive behavior. **Field Crops Research,** Amsterdam, v. 31, n. 3/4, p. 253 - 268, Jan. 1993.

BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. O. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. **Field Crops Research,** Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 65 - 80, Sept.1996.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; OQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 497-514, 1989.

CHANG, W. W. P.; HUANG, L.; SHEN, M.; WEBSTER, C.; BURLINGAME, A. L.; ROBERTS, J. K. M. Patterns of protein synthesis and tolerance of anoxia in root tips of maize seedling acclimated to a low-oxygen environment, and identification of proteins by mass spectroetry. **Plant Physiology**, Rockville, v. 122, n. 2, p. 295 - 317, Feb. 2000.

CORNIC, C.; BRIANTAIS, J. M. Partitioning of photosynthetic electron flow between $CO_2$ and $O_2$ reduction in a $C_3$ leaf ( *Phaseolus vulgaris* L.) at different $CO_2$ concentrations and during drought stress. **Planta**, Berlin, v. 183, n. 2, p. 178 - 184, 1991.

CRANE, J. H.; DAVIES, F. S. Periodic and seasonal flooding effects on survival, growth, and stomatal conductance of young Rabbiteye Blueberry plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science,** Alexandria, v. 113, n. 4, p. 488 - 493, July 1988.

DAMARTY, M.; MORUAN, C.; THELLIER, M. Calcium and Cell. **Plant cell Environmental**, Oxford, v. 7, p. 441 - 448, 1984.

DANTAS, B. F.; ARAGÃO, C. A.; ALVES, J. D. Cálcio e o desenvolvimento de aerênquimas e atividade de celulase em plâtulas de milho submetidas a hipoxia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 251 - 257, abr./jun. 2001.

DREW, M. C.; JACKSON, M. B.; GIFFARD, S. Ethylene-promoted adventitious rooting and development of cortical air spaces (aerenchyma) in roots may be adaptive responses to flooding in *Zea mays* L. **Planta,** Berlin, v. 147, n. 1, p. 83 - 88, 1979.

DuPLESSIS, D. P.; DIJKHUIS, F. J. The influence of the time lag between pollen-shedding and silking on the yield of maize. **South African Journal Agricultural Science,** Pretoria, v. 10, p. 667 - 674, 1967.

DURAES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; FERRER, J. L. R.; MACHADO, R. A. F. Adaptação de milho às condições de seca: 2. Florescimento e maturidade fisiológica de sementes de linhagens contrastantes para o parâmetro fenotípico IFMF. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlandia. [**Resumos expandidos**.] Uberlandia: ABMS, 2000. CD-ROM.

DURAES, F. O. M.; MAGALHAES, P. C.; SANTOS, M. X.; LOPES, M. A.; PAIVA, E. Intervalo entre florescimentos masculino e feminino como parâmetro fenotípico útil ao melhoramento de milho tropical para tolerância à seca. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 22., 1998, Recife. **Globalização e segurança alimentar**: resumos... Recife: IPA, 1998. p. 27

DURAES, F. O. M.; PAIVA, E.; MAGALHAES, P. C.; SANTOS, M. X.; PEREIRA, J. J.; LABORY, C. R. G. Critérios morfo-fisiológicos utilizados para seleção de genótipos de milho visando tolerância à seca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLOGIA VEGETAL, 6., 1997, Belém. **Resumos...** Belém: SBFV, 1997. p. 291

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasilia, 1999. 412 p.

EPRON, D.; DREYER, E. Photosynthesis of oak leaves under water stress: maintenance of high photochemical efficiency of photosystem II and occurence of non-iniform CO2 assimilation. **Tree Physiology**, Victoria, v. 13, n. 2, p. 107 - 117, Sept. 1993.

EPRON, D.; DRYER, E. Stomatal and non stomatal limitation of photosynthesis by leaf water déficits in three oak species: a comparison of gas exchange and chlorophyll a fluorescence data. **Annals Science Forest,** Paris, v. 47, n. 5, p. 435-450, 1990.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com sementes.** 12. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1993. 293 p.

FERREIRA, D. F. Análises estatística por meio do Sisvar para Windows versão 4. 0. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos, p. 255 - 258, 2000.

GIBBERD, M. R.; GRAY, J. D.; COCKS, P. S.; COLMER, T. D. Waterlogging tolerance among a diverse range of *Trifolium accessions* is related to root porosity, lateral root formation "aerotropic rooting". **Annals of Botany,** London, v. 88, n. 4, p. 579 - 589, Oct. 2001.

GOUVÊA, J. A. **Crescimento inicial e sobrevivência do milho (*Zea mays* L.), cv. "Saracura" BR –154, em hipoxia sob condições de alagamento.** 2001. 33 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

GRANT, G. T.; MORRIS, D. A.; REES, P. J. P.; SMITH, K. A. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: The egg-box

model. **FEBS Letters**, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 195-198, 1973.

HECKATHORN, S. A.; DeLUCIA, E. H.; ZIELINSKI, R. E. The contribution of drougth-related decreases in foliar nitrogen concentration to decreases in photosynthetic capacity during and after drought in prairie grasses. **Physiology Plantarum**, Copenhagem, v. 101, n. 1, p. 173-182, Sept. 1997.

HUANG, B.; JHONSON, J. W. Root respiration and carbohydrate status of two wheat genotypes in response to hypoxia. **Annals of Botany,** London, v. 75, n. 4, p. 427 - 432, Apr. 1995.

HUANG, B.; JHONSON, J. W.; NeSMITH, T. S.; BRIDGES, D. C. Growth, physiological and anatomical responses of two wheat genotypes to waterlogging and nutrient supply. **Journal of Experimental Botany,** Oxford, v. 45, n. 281, p. 193 - 202, 1994.

HUANG, B.; JHONSON, J. W.; NeSMITH, T. S.; BRIDGES, D. C. Nutrient accumulation and distribution of wheat genotypes in response to waterlogging and nutrient supply. **Plant and Soil,** Dordrecht, v. 173, n. 1, p. 47-54, June 1995.

JACKSON, M. B.; DREW, M. C. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: KOSLOWSKI, T. T. **Flooding and plant growth**. London: Academic Press, 1984. p. 47-128.

JENSEN, C. R.; LUXMOORE, R. J.; VAN GUNDY, S. D.; STOLZY, L. H. Root air space measurements by a pycnometer method. **Agronomy Journal,** Madison, v. 61, n. 3, p. 474 - 475, 1969.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Effects of flooding on water, carbohydrate, and mineral relations. In: KOSLOWSKI, T. T. **Flooding and plant.** London: Academic Press, 1984. p. 129 - 163.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 313 - 349, 1991.

LABORY, C. R. G.; TEIXEIRA, F. F.; SANTOS, M. X.; MAGALHAES, P. C.; DURAES, F. O. M.; COUTO, L.; PAIVA,E. Estimativa de parâmetros genéticos de caracteres relacionados a tolerância ao déficit hídrico no milho tropical. In: CONGRESSO NACIONAL DE GENÉTICA, 43., 1997, Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas: SBG, 1997. p. 89.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proceedings of the National Science Council,** ROC (B), Taiper, v. 25, n. 3, p. 148 - 157, 2001.

MAGALHÃES, J. R.; TOLEDO, A .T.; HUBER, D. M. Similarities in response of maize genotypes to water logging and ammonium toxicity. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, n. 11, p. 2339 - 2346, 1995.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; ANDRADE, C. de L. T. de ; OLIVEIRA, A. C. de; GAMA E. E. G. Adaptação do milho a diferentes condições de alagamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlandia, MG. [**Resumos expandidos**.]. Uberlandia: ABMS, 2000. CD-ROM.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; ANDRADE, C. de L. T. de; OLIVEIRA, A. C. de; SOUZA, I. R. P. de; GAMA E. E. G. Adaptação do milho a diferentes condições de alagamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE FISIOLOGIA VEGETAL, 8., 2001, Ilhéus, BA. **Resumos expandidos...** Ilhéus: CNFV, 2001. CD-ROM.

MARSCHER, H. **Mineral nutricion of higher plants.** London: Academic Press, 1995. 889 p.

MORAES, J. F. V.; DYNIA, J. F. Alterações nas características químicas e físico-químicas de um solo Gley pouco húmico sob inundação e após drenagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 27, n. 2, p. 223 - 235, fev. 1992.

NAIDOO, G. Effects of flooding on leaf water potential and stomatal resistance in *Bruguira gymnorrhiza* (L.) Lam. **New Phytologist**, London, v. 93, n. 3, p. 369 - 376, Mar. 1983.

PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E. G.; MAGNAVACA, R.; MAGALHÃES, P. C. Seleção para tolerância ao encharcamento em milho (*Zea mays* L.). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL, 1., 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA - CNPMS / México: CIMMYT /UNDP, 1995. p. 433 - 449. Editado por Altair Toledo Machado, Ricardo Magnavaca, Shivaji Pandey, Arnaldo Ferreira da Silva.

PURCINO, R. P.; ALVES, J. D.; MAGALHÃES, M. M.; SILVEIRA, T.; FRIES, D. Efeito fisiológico do cálcio na germinação de sementes de milho da BR- 154 "Saracura" e na tolerância das plântulas ao alagamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLOGIA VEGETAL, 8., 2001, Ilhéus, BA. **Anais....** Ilhéus: SBFV, 2001b. CD-ROM.

RESENDE, M.; FRANÇA, G.E.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; ALVES, V.M.C. O momento de irrigar a cultura do milho de inverno na Região Sudeste. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19. 1992, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABMS, 1992. p. 144.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas.** Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SCHREIBER, U.; GAADEMANN, R.; RALF, P. J.; LARKUN, A. W. D. Assessment of photosynthetic performance of prochloron in lisocinum patella in hospite by chlorophyll fluorescence measurements. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 38, n. 8, p. 945 - 951, Oct. 1997.

SUBBAIAH, C. C.; ZHANG, J.; SACHS, M. M. Involvement of intracellular calcium in anaerobic gene expression and survival of maize seedling. **Plant Physiology**, Rockville, v. 105, n. 1, p. 369 - 376, May 1994.

SUMMER, J. E.; RATCLIFFE, R. G.; JACKSON, M. B. Anoxia tolerance in the aquatic monocot potamogeton pectinatus: absence of oxygen stimulates elongation in association with an unusually large Pasteur effect. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 349, p. 1413 - 1422, Aug. 2000.

TSUKAHARA, H.; KOZLOWSKI, T. T. Effect of flooding and temperature regime on growth and stomatal resistance of *Betula platyphylla* var. japonica seedlings. **Plant and Soil**, The Hagre, v. 92, p. 103 - 112, 1986.

VITORINO, P. G.; ALVES, J. D.; MAGALHÃES, P. C.; MAGALHÃES, M. M.; LIMA, L. C. O.; OLIVEIRA, L. E. M. Flooding tolerance and cell wall alterations in maize mesocotyl during hypoxia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 8, p. 1027 - 1035, ago. 2001.

VOESENEK, L. A. C. J.; BLOM, C. W. P. M.; POUWELS, R. H. W. Root and shoot development of *Rumex* species under waterlogged conditions. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, n. 6, p. 1865 - 1869, June 1989.