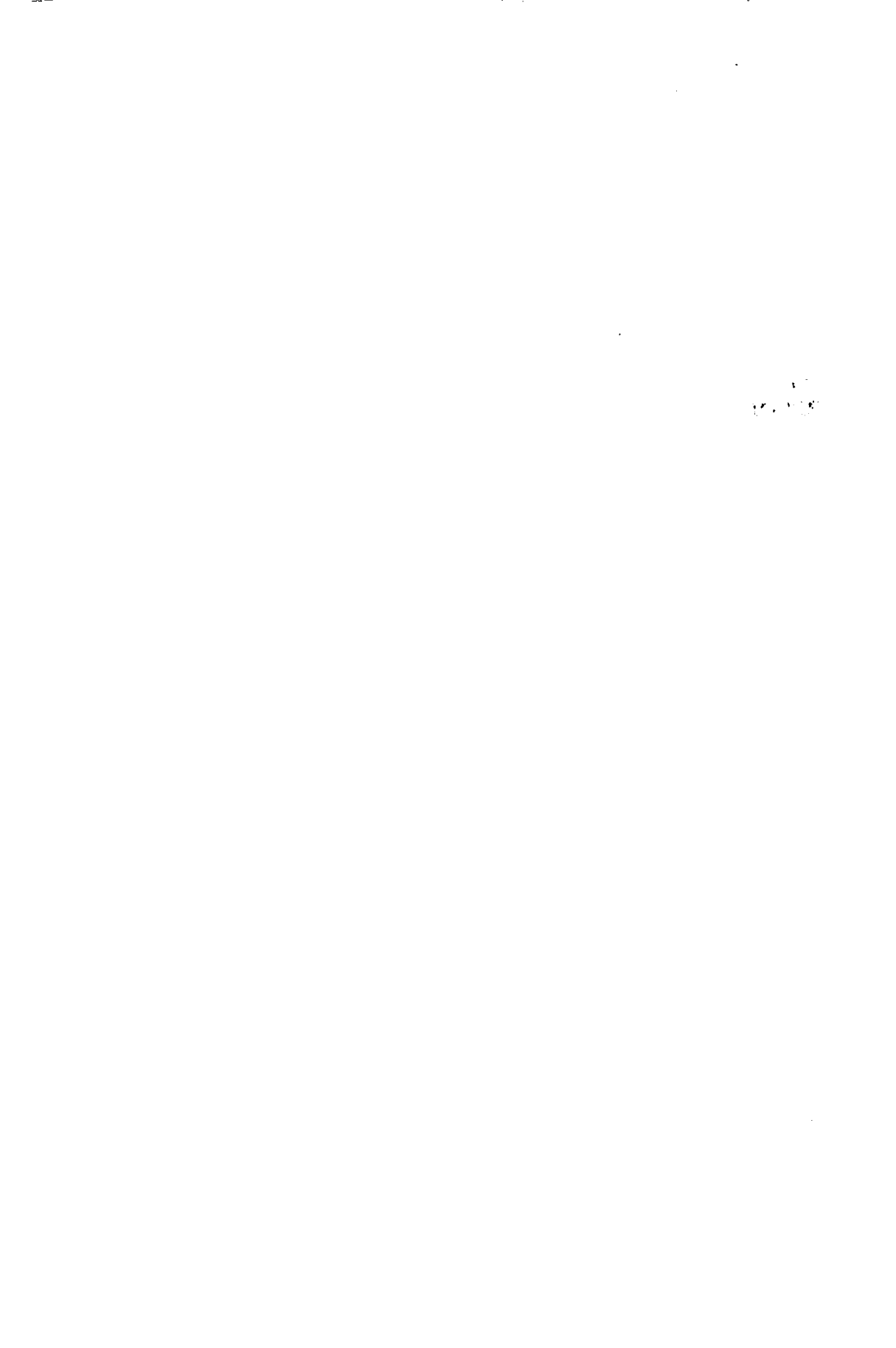


**O CÁLCIO NA TOLERÂNCIA DO MILHO  
(*Zea mays* L.) “SARACURA” BRS-4154 AO  
ALAGAMENTO DO SOLO EM CONDIÇÕES  
DE CAMPO E CASA DE VEGETAÇÃO**

**JORGE LUIS ROMERO FERRER**

**2003**



**JORGE LUIS ROMERO FERRER**

**O CÁLCIO NA TOLERÂNCIA DO MILHO (*Zea mays* L.) "SARACURA"  
BRS-4154 AO ALAGAMENTO DO SOLO EM CONDIÇÕES DE CAMPO  
E CASA DE VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador  
Dr. Paulo César Magalhães

Co-orientador  
Prof. Dr. José Donizeti Alves

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2003

Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA

Ferrer, Jorge Luis Romero

O cálculo na tolerância do milho (*Zea mays* L.) "Saracura" BRS-4154 ao alagamento do solo em condições de campo e casa-de-vegetação / Jorge Luis Romero Ferrer. -- Lavras : UFLA, 2003.

49 p. : il.

Orientador: Paulo César Magalhães.

Dissertação (Mestrado) — UFLA.

Bibliografia

1. Cálculo. 2. Alagamento. 3. Tolerância. 4. Milho Saracura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.15896

**JORGE LUIS ROMERO FERRER**

**O CÁLCIO NA TOLERÂNCIA DO MILHO (*Zea mays* L.) "SARACURA"  
BRS-4154 AO ALAGAMENTO DO SOLO EM CONDIÇÕES DE CAMPO  
E CASA DE VEGETAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 21 de fevereiro de 2003

Dr. Carlos Alberto Vasconcellos

Embrapa Milho e Sorgo

Prof. Dr. José Donizeti Alves (Co-orientador) UFLA



Dr. Paulo César Magalhães

Embrapa Milho e Sorgo  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

Ao meu filho Jorge Enrique, por ser a razão de meu viver.  
A Marta, minha esposa, pelo apoio e compreensão.  
A o meu pai José Ramón, pelo sentido de responsabilidade transmitido.  
Aos meus irmãos Marta, Rocio, Carmen, Silvia, Ramon e Carlos.  
A toda a minha família.

DEDICO.

A minha mãe Eloísa, "in memoriam", pelo amor e incentivo.

OFEREÇO.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

À Corporação Colombiana de Pesquisa Agropecuária "CORPOICA", à Universidade Federal de Lavras e à Embrapa Milho e Sorgo, pela oportunidade de realizar o curso.

Ao Dr. Pesquisador Paulo César Magalhães (Embrapa Milho e Sorgo), pela orientação e amizade.

Ao professor Dr. José Donizeti Alves, pela valorosa co-orientação e ensinamentos transmitidos.

Aos professores da Fisiologia Vegetal Luiz Edson, Ângela, Amauri, Renato, Marcelo e Nelson, pelos valiosos conhecimentos adquiridos durante o mestrado.

Aos Drs. Arturo Vega, Jorge Cadena e Antônio Martinez (CORPOICA - C.I. Turipaná), pelo apoio para a realização do curso.

Aos Drs. Antônio Álvaro Purcino, Carlos Alberto Vasconcellos e Antônio Carlos de Oliveira da Embrapa Milho e Sorgo pelas colaborações nas áreas de bioquímica, solos e estatística, respectivamente.

Ao professor Dr. Evaristo Mauro de Castro, pelo auxílio com a anatomia vegetal.

Aos funcionários e amigos da Embrapa Milho e Sorgo, José Moreira, José Eduardo Filho e Edna Patto de Pino, pela ajuda nas etapas de campo e laboratório, realizadas nesta instituição.

Aos estudantes de iniciação científica, Thiago, Tatiana e Ramon, pela ajuda nas quantificações enzimáticas e ao Carlos Vinícius, nos cortes anatômicos.

Aos amigos Sílvia e Vinícius, pelo apoio e tempo dedicado à correção do texto.

À amiga Daniela Fries, pelo auxílio nas análises bioquímicas.

À amiga Silvana, por ter sugerido a realização das análises anatômicas.

Ao amigo Aurélio por incondicional apoio na realização deste trabalho.

Aos colegas Cristiano e Morbeck, pela ajuda concedida em algumas etapas do trabalho.

Aos amigos Rúbia, Cíntia, Léo, Vânia, Gustavo e Sílvia, pelos momentos que tornaram minha estadia em Lavras mais agradável.

Aos colegas de turma Cristina, Daniela, Marina, Aurélio, Gustavo e Roberto, pela convivência.

Aos demais colegas da Fisiologia Vegetal que, de alguma maneira, contribuíram para a conclusão do curso.

Aos funcionários Izonel, Evaristo, Tanhan, Lena, Joel e Odorêncio, pelo convívio agradável.



## **BIOGRAFIA**

**Jorge Luis Romero Ferrer**, nascido em 08/08/1964, na cidade de Montería, Córdoba, Colômbia, filho de Eloísa Ferrer Sotelo e Jose Ramon Romero Morales. Graduou-se Engenheiro Agrônomo na Universidade de Córdoba, Colômbia no ano de 1992, destacando-se como monitor de hidráulica e membro organizador de eventos relacionados à pesquisa. No ano de 1991 ingressou na empresa Produmar S.A. e no período de 1993 a 1995 no C.I. Maragrica como engenheiro agrônomo, exercendo atividades inerentes ao manejo do solo em tanques de cultivo de camarão. Em janeiro de 1995 ingressou na Corporação Colombiana de Pesquisa Agropecuária "CORPOICA", sede Centro de Pesquisa Turipaná, localizada na cidade de Montería, Colômbia, onde exerce atividades de pesquisa na área de fisiologia vegetal. Em fevereiro de 2001 ingressou para o programa de pós-graduação em agronomia/Fisiologia Vegetal da UFLA, concluindo o curso em fevereiro de 2003.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	iii
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Alterações ambientais, fisiológicas e químicas em plantas sob alagamento.....	3
2.2 Alterações morfológicas e anatômicas .....	5
2.3 Importância do Cálcio em plantas sob alagamento .....	7
2.4 Intervalo entre a floração masculina e feminina (IFMF) .....	8
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3.1 Experimento de casa de vegetação .....	10
3.2 Experimento de campo .....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
4.1 Experimento de casa de vegetação .....	17
4.1.1 Crescimento vegetativo e características biofísicas .....	17
4.1.2 Acúmulo de matéria seca, características morfológicas e do desenvolvimento floral .....	19
4.1.3 Características bioquímicas .....	21
4.1.4 Teor de macronutriente .....	24
4.1.5 Características Anatômicas .....	25
4.2 Experimento de campo .....	30
4.2.1 Crescimento vegetativo .....	30
4.2.2 Crescimento reprodutivo .....	32
5 CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
ANEXOS.....	49

## RESUMO

FERRER, Jorge Luis Romero. **O cálcio na tolerância do milho (*Zea mays* L.) “Saracura” BRS-4154 ao alagamento do solo em condições de campo e casa de vegetação.** 2003. 49 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

O milho “Saracura” BRS-4154 apresenta-se como uma opção válida para as várzeas sujeitas ao alagamento temporário. Pesquisas têm demonstrado que a presença de  $\text{CaCl}_2$  no ambiente de germinação alagado aumenta a tolerância do milho “Saracura” a essa condição. No entanto, estes ensaios foram realizados em condições controladas, nas fases de germinação e desenvolvimento inicial das plântulas. Não existem, até o momento, pesquisas que mostrem a influência do cálcio na tolerância ao longo do desenvolvimento das plantas de milho. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar, ao longo de todo desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do milho “Saracura”, o efeito de diferentes níveis, fontes e modos de aplicação do cálcio em condições de alagamento. Para tanto, foram conduzidos dois experimentos, um em casa de vegetação e outro em condições de campo. Em ambos experimentos 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 ( $\text{CaCl}_2$ , 300 kg ha<sup>-1</sup> e gesso, 500 e 1500 kg ha<sup>-1</sup>) 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 imposto no estádio V6. Para casa de vegetação foi utilizado o DIC, com quatro repetições. As avaliações de crescimento foliar, trocas gasosas, eficiência do fotossistema II, matéria seca, absorção de macronutrientes, características morfológicas e desenvolvimento floral, assim como características anatômicas e bioquímicas das raízes, foram realizadas na floração. Em campo, utilizou-se um DBC e as análises foram feitas no momento da colheita, avaliando-se características relacionadas ao crescimento e desenvolvimento tais como altura da planta, altura de inserção da primeira espiga e diâmetro do caule e o rendimento e seus componentes. Os níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio sob condições de alagamento em casa de vegetação, de maneira geral, não influenciaram no crescimento vegetativo, nas características biofísicas e nos teores de macronutrientes. Entretanto, o gesso incorporado em todo o solo promoveu aumento no acúmulo de matéria seca das

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Dr. Paulo César Magalhães (Orientador) - Embrapa Milho e Sorgo, Prof. Dr. José Donizeti Alves (Orientador) – UFLA e Dr. Carlos Henrique Vasconcellos (Membro da banca) - Embrapa Milho e Sorgo

plantas submetidas ao alagamento. A presença do cálcio aumentou a atividade da carboxilase do fosfoenolpiruvato durante o alagamento para níveis próximos àqueles em condições aeróbicas. Por outro lado, não influenciou nos teores de açúcares solúveis totais e açúcares redutores nem na atividade das invertases. Nas características anatômicas, o cálcio influenciou o arranjo celular da epiderme e promoveu um menor espessamento da exoderme em condições normais de irrigação. No experimento de campo, o teor de cálcio presente no solo provavelmente foi suficiente para garantir o crescimento e desenvolvimento das plantas. Desse modo, os tratamentos alagados não apresentaram diferenças significativas entre as variáveis avaliadas.

*Palabras chaves:* Cálcio, alagamento, tolerância, milho “Saracura”.

## ABSTRACT

FERRER, Jorge Luis Romero. **The calcium in maize (*Zea mays* L.) Saracura BRS-4154 tolerance to flooding in soil field and greenhouse conditions.** 2003. 49 p. Dissertation (Master in Agronomy/ Plant Physiology) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>2</sup>

The Saracura BRS – 4154 maize is introduced as alternative for swampland areas subject to temporary flooding. Researches have shown that  $\text{CaCl}_2$  presence in flooding germination environment increase the tolerance of Saracura maize to this condition. Although, these experiments were realized in controlled conditions, in germination and initial developmental phases of plantlets. There are no papers until the present showing the influence of calcium during the maize development. So, the objective of this research was to evaluate during the vegetative and reproductive development of Saracura maize, the effect of different levels, sources and mode of calcium application in flooding conditions. For this purpose, there were conducted two experiments, one in greenhouse and other field conditions. In both experiments the seeds used were Saracura BRS 4154 maize, cycle 14, and the soil used was swampland. The treatments utilized; two calcium sources ( $\text{CaCl}_2$  300  $\text{kg.ha}^{-1}$  and gypsum, 500 and 1500  $\text{kg.ha}^{-1}$ ) and three ways of application (incorporated in the first 8 cm of surface, in all soil and on surface), in regular conditions of irrigation and under flooding imposed in V6 stage. In greenhouse condition was used the fully randomized design, with four replicates. The evaluations of leaf growth, gaseous exchange, efficiency of photosystem II, dry matter, absorption of macronutrients, morphologic characteristics and flower development, as well as anatomic characteristics and root biochemistry, were realized in flowering. In field, there was used the fully randomized block design and the analysis were made at harvest evaluating the characteristics related to growth and development, like plant height, height of first insertion of ear and stem diameter and the yield and its components.

The levels, sources and calcium mode of application under flooding conditions in greenhouse, generally, did not influence the vegetative growth, biophysics characteristics and in macronutrient level. Although the gypsum incorporated in all soil increased the plant dry matter accumulation subjected to flooding. The calcium presence increased the phosphoenolpyruvate carboxylase activity during the flooding in levels close to that one in aerobic conditions. In

---

<sup>2</sup> Guidance Comittee: Dr. Paulo César Magalhães (Adviser) - Embrapa Milho e Sorgo, Prof. Dr. José Donizeti Alves (Co-adviser) – UFLA e Dr. Carlos Henrique Vasconcellos - Embrapa Milho e Sorgo

the other way, did not influence the total sugar levels, reducing sugars and invertases activities. In anatomical characteristics, the calcium influenced the epiderm cellular arrangement and promoted a lower exoderm thickening in regular conditions of irrigation. In soil probably was sufficient to guarantee the plants growth and development. In this way, the flooded treatment did not show significative differences among the variables evaluated.

# 1 INTRODUÇÃO

As plantas estão distribuídas em ambientes muito diferenciados no globo terrestre, os quais oferecem distintas condições para o desenvolvimento vegetal. Uma dessas condições está associada com a deficiência de oxigênio no solo. A ausência parcial (hipoxia) ou total (anoxia) de oxigênio não somente afeta a distribuição de espécies no mundo, como também a produtividade de várias culturas comerciais implantadas em solos com baixa drenagem, inundados ou alagados, sujeitos a chuvas pesadas em períodos mais prolongados ou, até mesmo, que apresentem anaerobiose localizada, como os compactados. Em condições de anaerobiose, o comportamento das plantas difere muito entre e dentro das espécies, sendo possível destacar indivíduos extremamente sensíveis e tolerantes. Os tolerantes, ou até mesmo resistentes, apresentam mecanismos de adaptação que podem ser modificações morfológicas, bioquímicas e/ou fisiológicas, viabilizando a seleção e o melhoramento genético para essa condição do solo.

Aproximadamente 6% da superfície terrestre, dos quais 28 milhões de hectares no Brasil, estão sujeitos ao alagamento temporário e possuem potencial agrícola (Maltby, 1991; Silva 1984). O uso racional dessas áreas é de suma importância para o aumento da produção de grãos. Para atingir esse fim é necessário um estudo dos mecanismos de tolerância das espécies para sobreviver nesse meio.

A cultura do milho apresenta-se como uma opção válida para as várzeas sujeitas a encharcamento temporário. Assim, a Embrapa Milho e Sorgo, lançou no mercado em 1997, a cultivar BRS-4154, comumente conhecida como "Saracura", que possui como principal característica tolerância a períodos intermitentes de encharcamento do solo.

Devido à complexidade para elucidar a interação de mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares em plantas tolerantes à baixa disponibilidade de oxigênio ocasionada pelo alagamento, a Embrapa Milho e Sorgo em parceria com a Universidade Federal de Lavras, nos últimos seis anos, vem trabalhando com o intuito de esclarecer tais mecanismos bioquímicos e fisiológicos, que fazem com que o milho “Saracura” seja tolerante a este tipo de estresse.

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 também 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 tem-se a necessidade de maiores investigações sobre como esse elemento influencia a tolerância ao alagamento em condições de campo e casa de vegetação. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar, ao longo de todo desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do milho “Saracura”, o efeito de diferentes níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio em condições de alagamento.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Alterações ambientais, fisiológicas e químicas em plantas sob alagamento

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 desenvolvimento (Kozłowski & Pallardy, 1984; Crane & Davies, 1988).

A falta de oxigênio afeta a nutrição mineral, a produção e translocação de reguladores de crescimento, a fotossíntese, a respiração e a alocação de carboidratos. Em decorrência da modificação de vários processos na planta, podem ser observados os seguintes danos: clorose, epinastia e abscisão de folhas, diminuição da taxa de crescimento e hipertrofia do caule, formação de raízes adventícias e/ou superficiais, queda no crescimento de raízes e formação de aerênquimas. Assim, dependendo da duração e intensidade do estresse causado pela baixa disponibilidade de oxigênio, a planta pode até ser levada à morte (Kawase, 1987). Alguns desses danos, como clorose, murcha de folhas e aparecimento de raízes adventícias, foram observados em gramíneas por Platzeck (1989) e em arbóreas por Barbosa (1995) e Botelho (1996).

A baixa disponibilidade de oxigênio pode afetar a condutância estomática diminuindo a perda de água pela transpiração e também a assimilação do carbono necessário ao crescimento (Naidoo, 1983; Tsukahara & Kozłowski, 1986; Crane & Davies, 1988). As plantas inundadas apresentam uma rápida redução na taxa fotossintética devido à diminuição da absorção do CO<sub>2</sub> pelas folhas e também pelos danos ocasionados na ultra-estrutura dos

cloroplastos (Naidoo, 1983; Tang & Kozlowski, 1984; Tsukahara & Kozlowski, 1986).

Muitas espécies arbóreas e herbáceas conseguem sobreviver sob condições de baixa disponibilidade de oxigênio durante o estágio de crescimento vegetativo, enquanto outras morrem nas primeiras semanas de inundação dos solos (Hall & Smith, 1955; Crawford & Tyler, 1969). O grau de tolerância das plantas em condições de solos alagados e/ou encharcados varia entre as espécies (Gibbs & Leitão Filho, 1978; Kozlowski, 1984) e entre genótipos da mesma espécie (Gill, 1970).

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 este 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).

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 de danos, em plantas sob alagamento. Este 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 avaliação destes 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.

A cultivar “Saracura” foi caracterizada como tolerante a períodos intermitentes de alagamento do solo, por ser menos susceptível a alterações no seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (Parentoni et al., 1995).

Trabalhos de caracterização da maior tolerância e de quais mecanismos envolvidos neste processo surgiram da parceria da Embrapa Milho e Sorgo com o setor de Fisiologia Vegetal da UFLA. Em trabalho pioneiro com a cultivar “Saracura”, Vitorino et al. (2001) verificaram que este genótipo apresentou índice de sobrevivência de 42% em plântulas após três dias em condições de hipoxia, e que as plântulas não viáveis apresentavam aspecto translúcido na região do mesocótilo, a qual evolui para uma constrição após cinco dias de tratamento. Este fato foi atribuído à maior atividade de enzimas relacionadas ao metabolismo da parede celular. O envolvimento dessas enzimas foi confirmado pelo aumento na concentração de substâncias de baixo peso molecular, semelhantes à glicose, ao avaliar o perfil glicólico das frações pécnicas.

## **2.2 Alterações morfológicas e anatômicas**

A baixa concentração de oxigênio em solos alagados reduz o crescimento da raiz e parte aérea das plantas (Huang & Jhonson, 1995; Huang et al., 1995; Liao & Lin, 2001). A paralisação do crescimento e da respiração das

raízes conduza uma queda drástica na absorção e transporte de nutrientes minerais para a parte aérea. Mesmo se a matéria seca da parte aérea continuar aumentando, a concentração de nutrientes reduz, devido à diluição (Marscher, 1995). Uma redução acentuada do crescimento da altura 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.

Nas raízes formadas em condições de excesso de água, as maiores tendências são: aumentar o diâmetro, reduzir os pêlos absorventes, ramificar e ter raízes curtas, aumentar o número e a dimensão dos espaços intercelulares, diminuir o tamanho das células com o aumento da suberização e lignificação das paredes e reduzir o peso radicular o qual contribui para a diminuição da relação raiz/parte aérea (Durbim, 1971).

Baruch & Mérida (1995) observaram alterações provocadas pela inundação, principalmente em relação à proporção de aerênquimas. Em condições controladas, as gramíneas *Brachiaria mutica* e *Echinochloa polystachya* já apresentavam grande parte da sua área do sistema radicular destinada a aerênquimas. Menezes Neto (1994) também observou em plântulas de açafá, que estas apresentaram a formação de aerênquimas mesmo em condições normais de aeração. Esta constatação levou-o a concluir que os aerênquimas são constitutivos nesta espécie, possibilitando, assim que esta possua elevado grau de tolerância à baixa disponibilidade de oxigênio no solo. Em estudos com a cv de milho "Saracura", Dantas et al. (2001) observaram que, após 12 horas de hipoxia, as plântulas sobreviventes apresentavam cerca de 12% da área do córtex das raízes ocupadas por aerênquimas, principal adaptação

anatômica à baixa pressão de oxigênio, podendo esses espaços intercelulares chegarem a ocupar 50% dessa área após quatro dias de estresse.

### **2.3 Importância do Cálcio em plantas sob alagamento**

A função do cálcio como elemento estrutural, participando de ligações covalentes entre os grupos carboxílicos dos ácidos poligalacturônicos, constituintes da parede celular tem sido objeto de vários estudos (Grant et al., 1973; Damarty et al., 1984), uma vez que é o único elemento que possui atividade apoplástica (Seling et al., 2000). Nas áreas de pós-colheita e fitopatologia, os efeitos benéficos do cálcio têm sido muito bem caracterizados, pois as ligações intermediadas por esse elemento tornam a parede celular menos acessível às enzimas responsáveis por sua degradação, além de representar uma barreira física ao ataque de microrganismos (Conway & Watada, 1995; Siddiqui & Bangerth, 1996).

Outra importante função do cálcio na fisiologia das plantas é a sua participação como mensageiro secundário em resposta às mais diferentes condições de estresse (Hepler & Wayne, 1985; Smallwood et al., 1999). Em deficiência de oxigênio, a variação na concentração citoplasmática desse cátion precede a expressão de genes que codificam peptídeos anaeróbicos (Subbaiah et al., 1994a). Existem relatos na literatura que, após dois minutos em condições de anoxia, ocorre uma elevação na concentração de cálcio no citoplasma (Subbaiah et al., 1994b).

O alagamento reduz as concentrações nos tecidos de N, P, K, Mg e Zn na parte aérea, enquanto que na raiz ocorre 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 (Huang et al., 1995).

A maior tolerância à baixa pressão de oxigênio está relacionada 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). A adição de cloreto de cálcio à solução de germinação promoveu o aumento na sobrevivência das plântulas tanto da cv. “Saracura” como também da variedade BR-107, classificada como não tolerante a essa condição de estresse (Vitorino et al., 2001).

Gouvêa (2001) mostrou que, além de aumentar a sobrevivência, o cálcio promove alterações no desenvolvimento das plântulas, por reduzir o crescimento de raízes em até 37% em relação ao controle. Este autor reafirmou o papel do cálcio como elemento estrutural ao comparar o efeito da adição de manitol com a adição de cloreto de cálcio, encontrando um maior efeito na redução do tamanho das plântulas em presença deste íon. Entretanto, não foi explicada a ligação destes fatores com a maior tolerância apresentada em condições de hipoxia.

Em recente estudo, Purcino et al. (2001a) avaliaram alterações bioquímicas durante a fase de germinação e crescimento inicial de plântulas de milho “Saracura” em contato com solução de cloreto de cálcio. Estes autores estabeleceram uma relação positiva entre a redução do desenvolvimento das plântulas e o aumento da tolerância ao alagamento, ao se verificarem que o contato da plântula com o íon faz com que as reservas fiquem preservadas nas cariopses e que essas foram alocadas e utilizadas para manutenção do metabolismo quando submetidas a baixa pressão de oxigênio.

#### **2.4 Intervalo entre a floração masculina e feminina (IFMF)**

O período compreendido entre a emergência do estilo-estigmas e a extrusão de anteras com a conseqüente liberação de grãos de pólen é

denominado 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 sobre condições adversas. A redução do IFMF é parcialmente uma consequência do maior potencial hídrico da planta durante o florescimento. Neste 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).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido nas áreas experimentais da Embrapa Milho e Sorgo, localizadas no município de Sete Lagoas, MG, com altitude de 732 m, latitude Sul 19°28', longitude Oeste 44°15'.

Realizaram-se dois experimentos, um em casa de vegetação e outro em condições de campo. Em ambos os experimentos, as sementes utilizadas foram de Milho cv. "Saracura" BRS-4154, ciclo 14; sendo o solo de várzea classificado como Neossolo Flúvico Tb, Eutrópico Típico, textura argilosa, fase relevo plano campos de várzea (Embrapa Solos, 1999). As análises bioquímicas de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e invertases foram realizadas no Laboratório de Fisiologia Molecular de Plantas do Setor de Fisiologia Vegetal da UFLA, a atividade da enzima carboxilase de fosfoenolpiruvato e o teor de macronutrientes foram realizados nos Laboratório do Núcleo de Biologia Aplicada e Núcleo de Estresse Abiótico da Embrapa Milho e Sorgo, respectivamente.

#### 3.1 Experimento de casa de vegetação

A amplitude das temperaturas máxima e mínima no interior da casa de vegetação durante o período de avaliação foram de 30°-36°C e 9,5°-15,5°C, respectivamente. A umidade relativa oscilou de 52% a 78%. Foram utilizados vasos de 20 kg com solo proveniente de várzea e três plantas/vaso. A adubação do solo foi feita de acordo com os resultados da análise química (Anexo 1). No momento do plantio, aplicou-se adubação básica com 5-20-20+Zn em doses de 23 g 20 kg<sup>-1</sup> de solo. Após a germinação fizeram-se coberturas semanais com sulfato de amônio em doses de 5 g 20 kg<sup>-1</sup> de solo. Os tratamentos foram



constituídos por uma variação de duas fontes de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ , em dose de 300  $\text{kg ha}^{-1}$  e gesso, com 500 e 1500  $\text{kg ha}^{-1}$ ) 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, condições normais de irrigação e alagamento imposto no estádio V6, caracterizado por seis folhas totalmente desenvolvidas (Tabela 1). A água utilizada na região de Sete Lagoas possui altas concentrações de cálcio (200  $\text{mg L}^{-1}$ ). Assim, com a finalidade de reduzir o efeito deste cálcio sobre os tratamentos, utilizou-se água destilada para irrigação do ensaio. O delineamento experimental utilizado para os dois ambientes de irrigação foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Logo após, foram feitas análises conjuntas para algumas variáveis. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey, com exceção dos parâmetros anatômicos, onde se utilizou o teste de Scott-Knott. A probabilidade para todos os testes foi de 5%.

TABELA 1. Descrição dos tratamentos utilizados nos dois experimentos.

Tratamentos	
1	Sem cálcio (testemunha)
2	500 $\text{kg ha}^{-1}$ de gesso, incorporado a 8 cm da superfície do solo.
3	500 $\text{kg ha}^{-1}$ de gesso, incorporado em todo solo.
4	500 $\text{kg ha}^{-1}$ de gesso, sem incorporar (aplicado na superfície do solo).
5	1500 $\text{kg ha}^{-1}$ de gesso, incorporado a 8 cm da superfície do solo.
6	1500 $\text{kg ha}^{-1}$ de gesso, incorporado em todo solo.
7	1500 $\text{kg ha}^{-1}$ de gesso, sem incorporar (aplicado na superfície do solo).
8	300 $\text{kg ha}^{-1}$ de cloreto de cálcio, incorporado a 8 cm da superfície do solo.
9	300 $\text{kg ha}^{-1}$ de cloreto de cálcio, incorporado em todo solo.
10	300 $\text{kg ha}^{-1}$ de cloreto de cálcio, sem incorporar (aplicado na superfície do solo).

As avaliações foram realizadas 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 leitura, as folhas permaneceram no escuro por 30 minutos, utilizando-se cliques foliares para a estabilização dos fotossistemas. Posteriormente emitiu-se uma intensidade luminosa de 60% da capacidade total do aparelho, durante cinco segundos. As variáveis 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.

Procedeu-se também a análises bioquímicas de açúcares solúveis totais, açúcares redutores e invertases neutra do citosol (INC), ácidas do vacúolo (IAV) e ácida da parede celular (IAPC), utilizando-se raízes coletadas de uma planta por vaso. Após a coleta, as raízes foram lavadas em água corrente para retirada do solo. Em seguida, foram colocadas em recipientes contendo nitrogênio líquido, armazenadas a  $-80^{\circ}\text{C}$  e, posteriormente, liofilizadas usando o equipamento Labconco Freeze Dry System/Freezone O 4.5. Após a liofilização, as amostras foram novamente armazenadas em freezer a  $-20^{\circ}\text{C}$  até a realização das análises.

Para a atividade da enzima carboxilase do fosfoenolpiruvato (PEPcase) foi utilizada a metodologia descrita por Purcino et al. (1998).

Para determinar a atividade das invertases utilizou-se o método descrito por Zeng et al. (1999) e Cazetta et al. (1999) modificado por Fries (2003). A extração da invertase neutra do citosol (INC) e ácida do vacúolo (IAV) realizou-

se pela homogeneização de 0,1 g de raiz liofilizada em 4 mL do tampão de extração contendo 100 mM de HEPES (pH 7,5), 1 mM de PMSF, 5 mM de  $MgCl_2$ , 1 mM de DTT e 20 mM de ácido ascórbico, seguida pela centrifugação a 20.000 g, a 4°C, por 20 minutos. O sobrenadante foi coletado para as análises das invertases solúveis e o pellet foi ressuspensão e homogeneizado durante 7 minutos com 4 mL de tampão citrato 200 mM (pH 4,8), 1 mM de PMSF, 5 mM de  $MgCl_2$ , 1 mM de DTT, 20 mM de ácido ascórbico e 1 M de NaCl, para a extração da invertase ácida da parede celular (IAPC), seguido de centrifugação a 20.000 g, a 4°C por 20 minutos, coletando-se o sobrenadante para a análise da enzima .

O meio de incubação para medir atividade das enzimas continha: 1 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) para a INC e 1 mL de tampão citrato de sódio 200 mM (pH 4,8) para a IAV e IAPC, acrescidos de 5 mM de  $MgCl_2$  e 200 mM de Sacarose, sendo incubadas em banho-maria a 30°C por 40 minutos ( $t_{40}$ ). A reação foi paralisada pela submersão do eppendorf em  $N_2$  líquido. As reações sem incubação (tempo zero -  $t_0$ ) foram paralisadas para abater os açúcares redutores pré-existentes. A atividade das enzimas foi dada pelo resultado do  $t_{40}$  menos o  $t_0$ .

Os açúcares redutores (AR) foram quantificados de acordo com a metodologia descrita por Miller (1959), utilizando-se alíquota de 500  $\mu$ L do extrato, 1 mL de  $H_2O$  destilada e 1 mL de reagente de DNS. Os tubos foram agitados e colocados em banho-maria a 100°C por cinco minutos e depois resfriados a temperatura ambiente. As leituras foram feitas a 540 nm, sendo os resultados calculados com base em uma solução padrão de glicose.

Os açúcares solúveis totais foram quantificados pelo método de Yemm & Willis (1954), utilizando-se alíquotas de 50  $\mu$ L do extrato, 950  $\mu$ L de  $H_2O$  destilada e 2 mL de reagente de antrona. Os tubos foram mantidos no gelo para evitar o aquecimento das amostras, agitados e colocados em banho-maria a

análise química (Anexo 1). No momento do plantio aplicou-se adubação básica com 5-20-20+Zn em doses 400 kg.ha<sup>-1</sup>, após a germinação, procedeu-se a duas coberturas com sulfato de amônio em doses de 20 g m<sup>-1</sup> lineal, sendo a primeira 20 dias após germinação (estádio V6) e a segunda 6 dias após a primeira (estádio V8).

O alagamento foi iniciado no estágio V6, passando pela floração, fase crítica para este tipo de estresse (Jackson, 1979), até a maturação fisiológica, recebendo uma lâmina de 20 cm (inundação de tabuleiro) três vezes por semana. Foi utilizada para irrigação a água de um reservatório próximo ao experimento. As variáveis analisadas foram rendimento de grão e seus componentes, e características relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, tais como altura da planta, altura de inserção da primeira espiga e diâmetro do caule.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, em que se distribuíram os mesmos tratamentos utilizados no experimento de casa de vegetação (Tabela 1). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias separadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A análise estatística para ambos experimentos foi feita pelo programa SISVAR (Ferreira, 2000).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Experimento de casa de vegetação

#### 4.1.1 Crescimento vegetativo e características biofísicas

Observa-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 que receberam água em excesso (Alagados). Já para a resistência estomática, sob este mesmo regime hídrico, foram obtidos, em geral, maiores valores do que no regime de irrigação normal; embora não tenham se observado diferença na transpiração (Tabela 2).

A literatura aponta diversos trabalhos em que se verifica que estas 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 abscísico 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 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 este 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).

TABELA 2. Médias de área foliar ( $\text{cm}^2$ ), eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), resistência estomática ( $\text{s mm}^{-1}$ ), e transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) 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	$F_v/F_m$	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*	4,0 <sup>a</sup>
Média		2329*	0,716	7,6*	2,2
CV		40	3,3	26,6	49,9
1	I. Normal	5996abc	0,791ab	2,5b	5,8 <sup>a</sup>
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  $\text{ha}^{-1}$  de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 3) 500 kg  $\text{ha}^{-1}$  de gesso – incorporado em todo o solo; 4) 500 kg  $\text{ha}^{-1}$  de gesso – sem incorporar; 5) 1500 kg  $\text{ha}^{-1}$  de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 6) 1500 kg  $\text{ha}^{-1}$  de gesso – incorporado em todo o solo; 7) 1500 kg  $\text{ha}^{-1}$  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

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 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, 1989), assim como os valores de área foliar dos tratamentos 3 e 7 que foram estatisticamente superiores a testemunha.

#### **4.1.2 Acúmulo de matéria seca, características morfológicas e desenvolvimento floral**

O alagamento influenciou negativamente o acúmulo de matéria seca da parte aérea da planta (Tabela 3). Vários autores afirmam que esta 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), esta 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 em todo o volume do solo (T<sub>3</sub> e T<sub>6</sub>) as plantas atingiram um valor de fitomassa superior à testemunha (T<sub>1</sub>).

O alagamento aumentou de 6,2 dias em condições de irrigação normal para 10,8 dias o intervalo entre floração masculina e feminina (IFMF) (Tabela 3). Bolaños & Edmeades (1993) e Durães et al. (2000) apresentam esta 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<sub>1</sub>). Com esse resultado, sugere-se que o cálcio nas fontes e formas utilizadas sob condições controladas não influenciou este parâmetro.

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	23,0	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<sup>-1</sup> de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 3) 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado em todo o solo; 4) 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – sem incorporar; 5) 1500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 6) 1500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado em todo o solo; 7) 1500 kg ha<sup>-1</sup> 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



O alagamento faz com que aumente a porosidade de raízes. Não houve diferença significativa entre os tratamentos submetidos a irrigação normal. Entretanto, observou-se que a porosidade das raízes de plantas dos tratamentos com cálcio submetidas ao alagamento, superaram a sua testemunha (T<sub>1</sub>). Dantas et al. (2001), ao trabalharem com plântulas de milho “Saracura” submetidas ao alagamento, observaram o efeito do cálcio na diminuição de aerênquimas, o qual foi atribuído como aporte deste íon sobre a redução da atividade de enzimas relacionadas à degradação de parede celular. Magalhães et al. (2000 e 2001), ao submeterem o milho “Saracura” ao efeito de diferentes níveis de alagamento, reportaram a porosidade nas raízes como uma importante característica adaptativa a esse estresse.

Quanto à presença de raízes adventícias, verifica-se que houve diferença estatística entre os diferentes tratamentos submetidos a irrigação normal ou alagado. Não entanto, não se apresentaram diferenças entre os tratamentos que receberam ou não o cálcio nos dois ambientes de irrigação avaliados. A literatura aponta, 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 assimilação de nutrientes no sistema radicular.

#### **4.1.3 Características bioquímicas**

Em geral, os valores de açúcares solúveis totais e os de açúcares redutores nas raízes, no período de floração, não foram afetados pelo alagamento e nem pela presença do cálcio (Tabela 4). Su et al. (1998), ao avaliarem duas variedades de cucurbitáceas de diferentes comportamentos ao alagamento,

TABELA 4. Açúcares solúveis totais (AST) (mg de glicose g de MS<sup>-1</sup>), açúcares redutores (AR) (mmol de glicose g de MS<sup>-1</sup>) e atividade da enzima invertase neutra do citossol (INC), invertase ácida do vacúolo (IAV) e ácida da parede celular (IAPC) (μmol de glicose g de MS<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), carboxilase do fosfoenolpiruvato (PEPcase) (μmol de CO<sub>2</sub> g de MS<sup>-1</sup> min<sup>-1</sup>) 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	AST	AR	INC	IAV	IAPC	PEPcase
1	Alagado	3,19a	0,22 <sup>a</sup>	32,6c	97,8a	59,2b	0,72b*
2	Alagado	8,26a	0,42 <sup>a</sup>	48,0bc*	122,1a	68,3ab	5,21a*
3	Alagado	6,13a	0,36 <sup>a</sup>	68,2abc	88,9a	66,1ab	3,76ab
4	Alagado	3,93a	0,24 <sup>a</sup>	56,9abc	106,3a	80,0a	3,47ab
5	Alagado	5,98a	0,29 <sup>a</sup>	50,8abc	87,1a*	41,8b*	2,02ab
6	Alagado	7,74a	0,49 <sup>a</sup>	89,5a	78,1a	69,3ab	3,32ab
7	Alagado	7,40a	0,37 <sup>a</sup>	59,8abc	124,0a	65,3ab	4,92a
8	Alagado	7,77a	0,41 <sup>a</sup>	82,7ab	92,8a*	67,8ab	3,04ab
9	Alagado	6,02a	0,34 <sup>a</sup>	78,3ab*	106,7a	68,2ab	3,32ab
10	Alagado	6,73a	0,34 <sup>a</sup>	51,8abc	77,0a	80,1a*	2,31ab
Média		6,32	0,35	61,9	98,1	66,6	3,21
CV		30,5	30,7	27,6	33,7	21,5	35,5
1	I. Normal	5,76a	0,32 <sup>a</sup>	46,9a	101,3a	65,9a	3,32a
2	I. Normal	6,23a	0,35 <sup>a</sup>	96,9a	143,6a	64,9a	3,03a
3	I. Normal	5,35a	0,36 <sup>a</sup>	73,2a	93,8a	59,5a	3,47a
4	I. Normal	4,77a	0,24 <sup>a</sup>	61,7a	142,0a	46,8a	3,18a
5	I. Normal	6,42a	0,36 <sup>a</sup>	52,0a	140,2a	72,7a	3,42a
6	I. Normal	7,32a	0,37 <sup>a</sup>	71,9a	106,5a	69,6a	4,82a
7	I. Normal	7,54a	0,49 <sup>a</sup>	60,9a	111,5a	61,4a	3,37a
8	I. Normal	7,54a	0,38 <sup>a</sup>	86,0a	143,6a	59,9a	3,76a
9	I. Normal	7,38a	0,38 <sup>a</sup>	42,0a	142,0a	39,0a	3,32a
10	I. Normal	6,14a	0,31 <sup>a</sup>	46,1a	112,3a	59,3a	3,04a
Média		6,67	0,36	63,8	123,7	59,9	3,47
CV		29,3	22,3	36,2	22,1	24,2	31,1

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<sup>-1</sup> de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 3) 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado em todo o solo; 4) 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – sem incorporar; 5) 1500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 6) 1500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado em todo o solo; 7) 1500 kg ha<sup>-1</sup> 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

observaram que os teores de açúcares em raízes aumentaram no início da imposição do alagamento, diminuindo posteriormente a valores iguais ou inferiores à testemunha.

De maneira geral, nem o alagamento e nem a presença do cálcio no meio de cultivo afetam a atividade das enzimas, invertase neutra do citossol, invertase ácida do vacúolo e ácida da parede celular (Tabela 4). Estes resultados foram similares aos obtidos para os açúcares solúveis totais e redutores, que também não variaram em função dos tratamentos, já que uma das funções destas enzimas é hidrolizar sacarose em glicose e frutose, tal como apresentado por Delú Filho (2000). Sendo assim, a atividade do grupo das invertases, para o milho "Saracura" nas condições estudadas, parece ser uma característica constitutiva de seu genótipo, não sendo um dos componentes responsáveis pela base fisiológica da tolerância ao alagamento.

A atividade da enzima carboxilase do fosfoenolpiruvado (PEPcase) apresentou diferentes respostas entre os tratamentos avaliados (Tabela 4). Em condições de alagamento, apenas os tratamentos onde foi aplicado o cálcio em níveis de 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso nos primeiros 8 cm da superfície do solo (T<sub>2</sub>) e 1.500 de gesso kg ha<sup>-1</sup> na superfície do solo (T<sub>7</sub>) superaram a testemunha (T<sub>1</sub>). Já em condições normais de irrigação, não houve diferença entre os tratamentos ao serem comparados com sua testemunha.(T<sub>1</sub>). Estes resultados levam a supor que o cálcio, em níveis adequados, aumenta a atividade desta enzima nas plantas alagadas, permitindo, com isso, uma maior regeneração do poder redutor (NAD<sup>+</sup>) segundo a rota alternativa proposta por Crawford (1966 e 1967). Desta forma, ocorreria o efeito Pasteur, que é, segundo alguns autores, uma alternativa de sobrevivência das plantas submetidas ao alagamento (Summers et al., 2000).

#### 4.1.4 Teor de macronutrientes

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 5).

TABELA 5. Macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$  MS) na biomassa seca da parte aérea de plantas de milho "Saracura" no estágio de floração, submetidas ao alagamento e irrigação normal, com diferentes níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio. Lavras, MG, 2003.

Ttos	Ambiente	N	P	K	Ca	Mg	S
1	Alagado	1,78a*	0,087a*	2,12ab	0,96ab*	0,14a	1,1ab*
2	Alagado	1,97a*	0,085a*	1,18ab	0,99a*	0,14a	0,65bcd
3	Alagado	2,54a	0,117a*	2,06ab	0,78ab	0,13a	0,93abc*
4	Alagado	1,82a*	0,087a*	1,94ab	0,73ab	0,12a	0,69bcd
5	Alagado	2,20a*	0,117a*	2,31a	0,91ab*	0,15a	1,27a*
6	Alagado	2,23a	0,105a	1,41b	0,68b*	0,13a	0,48cd
7	Alagado	2,27a*	0,105a	1,86ab*	0,83ab*	0,13a*	0,62bcd*
8	Alagado	2,04a*	0,087a*	2,19ab*	1,00a*	0,13a	0,8abcd*
9	Alagado	1,94a*	0,087a*	2,03ab	0,72ab*	0,14a	0,72bcd*
10	Alagado	1,69a*	0,095a*	2,00ab	0,75ab*	0,13a*	0,32d
X		2,05*	0,097*	1,98	0,837*	0,13*	0,762*
CV		21,3	35,4	17,08	14,2	21,9	28,94
1	I. Normal	2,94a	0,190abc	2,15ab	0,63a	0,15a	0,46abc
2	I. Normal	2,90a	0,225a	1,18ab	0,73a	0,14a	0,51ab
3	I. Normal	2,91a	0,185abc	2,06abc	0,62a	0,15a	0,35abc
4	I. Normal	2,96a	0,210ab	2,10ab	0,61a	0,15a	0,52a
5	I. Normal	3,11a	0,220a	2,23a	0,58a	0,13a	0,45abc
6	I. Normal	2,42a	0,125c	1,61bc	0,48a	0,15a	0,28c
7	I. Normal	2,46a	0,130c	1,31c	0,53a	0,17a	0,28c
8	I. Normal	2,55a	0,156abc	1,59bc	0,51a	0,15a	0,31bc
9	I. Normal	2,60a	0,142abc	1,68abc	0,57a	0,14a	0,42abc
10	I. Normal	2,50a	0,152abc	1,88abc	0,54a	0,17a	0,31bc
X		2,73	0,173	1,83	0,587	0,152	0,392
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<sup>-1</sup> de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 3) 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado em todo o solo; 4) 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – sem incorporar; 5) 1500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 6) 1500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado em todo o solo; 7) 1500 kg ha<sup>-1</sup> 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

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 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. Estes 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 destes dois macronutrientes ajuda a explicar a redução no crescimento e desenvolvimento do milho, em situação de alagamento.

#### **4.1.5 Características anatômicas**

A epiderme da raiz apresentou-se uniestratificada, com células de paredes finas (Figuras 1A, 1B, 1C e 1D), tal como, relatado por Esaú (1993). Entretanto, observou-se diferença nas paredes das células epidérmicas e que diferem em espessura, nos tratamentos com irrigação normal (Figuras 1A e 1B) quando comparados com as condições alagadas (Figuras 1C e 1D). Estes resultados foram quantificados (Tabela 6), notando-se um decréscimo nos tratamentos em que foi aplicado o cálcio (Figuras 1B e 1D).

Nas raízes do tratamento com irrigação normal sem cálcio, notaram-se células da epiderme mais heterodiamétricas (Figura 1A) e mais espessas que nas demais raízes que receberam os outros tratamentos (Tabela 6).

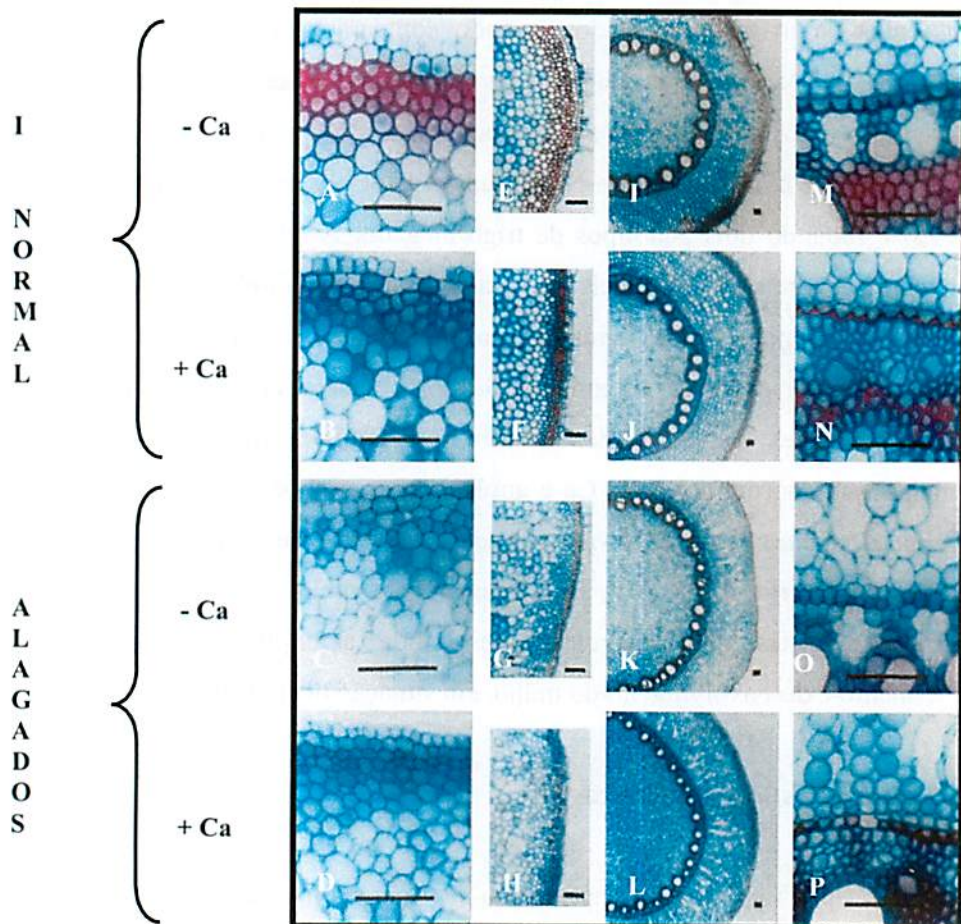


FIGURA 1. Seções transversais de raiz do milho “Saracura” na época de floração, submetido ao alagamento e adição de cálcio. Lavras, MG, 2003. Barras = 100  $\mu$ m.

Primeira coluna: epiderme; segunda coluna: detalhe do córtex; terceira coluna: cilindro vascular; quarta coluna: detalhe da endoderme.

Primeira linha: irrigação normal sem cálcio; segunda linha: Irrigação normal com cálcio; terceira linha: alagado sem cálcio; quarta linha: alagado com cálcio.

Quando foi aplicado cálcio, essas mesmas células (epiderme) apresentaram uma camada mais compacta, variando no tamanho e arranjo (Figuras 1B e 1D). Deduz-se, assim, a possibilidade de existir uma influência desse íon no arranjo celular.

Notam-se ainda, nas Figuras 1A, 1B, 1C, e 1D, as diferenças anatômicas entre os tratamentos em relação ao córtex externo. As raízes desenvolveram uma camada especializada, a exoderme, abaixo da epiderme uniseriada, com diferenças entre os tratamentos. As raízes do tratamento com irrigação normal e sem cálcio (Figura 1A) apresentaram-se mais lignificadas e/ou suberificadas e com três camadas do córtex externo com células heterodiamétricas e com espessamentos de lignina e/ou suberina nas paredes das células parenquimáticas bem mais espessas, comparando com os demais tratamentos. Seago & Marsh (1989), estudando o desenvolvimento de raízes adventícias em *Thypha glauca* com ênfase na descrição da exoderme, relataram que esta camada constitui uma proteção mecânica para controle do fluxo hídrico nas raízes, tendo como principal função a proteção das células do córtex contra um colapso e contra a dissecação. Este espessamento participa, assim, de uma estratégia para a sobrevivência em condições adversas de disponibilidade hídrica (Hays et al., 1991; Huang & Fry, 1998; Silva et al., 2003).

O tratamento com irrigação normal e presença de cálcio (Figuras 1B e 1F) resultou em uma exoderme e córtex externos menos espessos quando comparados com o controle (Figuras 1A e 1E). Para Subaiah et al. (1994a), a aplicação exógena de cálcio promove um aumento nos níveis desse elemento na parede celular e citosol. De acordo com Alves et al. (2002), esse aumento dos níveis de cálcio pode levar a um acúmulo nas células da exoderme, o que provocaria uma função estrutural, conferindo maior resistência à parede celular. Desse modo, supõe-se que o cálcio pode promover uma redução no gasto de energia para a produção de lignina e/ou suberina. Este acúmulo pode exercer o mesmo papel estrutural da camada lignificada do tratamento controle. Nos tratamentos alagados com e sem cálcio (Figuras 1H e 1G), nas mesmas camadas da exoderme, este revestimento não foi tão marcante como nos tratamentos anteriormente comentados. Notou-se que, em condições de alagamento sem

cálcio (Figura 1G), as células apresentaram-se com mais espaços intercelulares e maior espessura quando comparado ao tratamento alagado com cálcio (Figura 1H e Tabela 6). As células da exoderme no tratamento alagado sem cálcio (Figura 1G) apresentaram pouca lignificação, o que não ocorreu no tratamento alagado com cálcio (Figura 1H). Supõe-se que isso ocorra, neste tratamento, em função das condições de excesso de água a que as plantas foram submetidas. Isto indica que as mesmas não necessitam gastar energia com produção de lignina e/ou suberina, ou seja, elas não necessitam se proteger contra a dissecação.

TABELA 6. Espessura da epiderme e córtex, diâmetro do cilindro vascular em micrômetro e porcentagem de aerênquimas em raízes de milho "Saracura" na época de floração, submetidas ao alagamento, irrigação normal e aplicação de cálcio. Lavras, MG, 2003.

Tratamentos	Ambiente	Espessura Epiderme	Espessura Córtex	Diâmetro C.Vascular	Aerênquima (%)
1	I. Normal	27,083a	652,50b	1931,25a	0,00
9	I. Normal	23,333b	790,35a	2043,75a	0,00
1	Alagado	19,167c	733,13a	2576,25a	13,7
9	Alagado	17,500c	648,75b	2317,50a	8,8
Média		21,77	706,18	2217,18	
CV		10,07	8,14	14,37	

Tratamentos; 1: Irrigação normal sem cálcio, 9: Irrigação normal com 300 kg ha<sup>-1</sup> de CaCl<sub>2</sub> incorporados em todo o solo. As médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Observa-se que, de maneira geral, as raízes das plantas de todos os tratamentos apresentaram diferenças no córtex (Tabela 6); no entanto as que receberam irrigação normal sem e com cálcio (Figuras 1I e 1J), não apresentaram aerênquimas, quando comparadas com aquelas sob os tratamentos alagados (Figuras 1K e 1L). Estes resultados mostram que os aerênquimas não são constitutivos desta espécie, tal como relatado por Esau (1993). Na literatura, a presença de aerênquima é caracterizada como resposta favorável das plantas à



baixa oxigenação (Kawase, 1987; Baruch & Mérida, 1995; Drew 1997; Moraes et al., 2001) uma vez que diminui a resistência da difusão do oxigênio entre órgãos aerados e não aerados (Drew, 1997). Sendo assim, confirma-se, mais uma vez, a tolerância do “Saracura” a esta condição de estresse. Na comparação entre os tratamentos alagados sem e com adição de cálcio (Figuras 1K e 1L), observa-se uma diminuição de 36% do total de aerênquimas para o tratamento onde foi aplicado o cálcio (Tabela 6). Dantas et al. (2001) ao trabalharem com plântulas de milho “saracura” submetidas ao alagamento e na presença de cálcio, concluíram que o cálcio é o inibidor da formação de espaços intercelulares quando aplicado exogenamente. Já Saab & Sachs (1996), atribuem esta resposta ao fato da hipoxia provocar “desarranjos” nos componentes da parede celular. O cálcio ao se comportar como um elemento importante na manutenção da integridade desta estrutura durante o período de hipoxia, reduz o colapso celular e o desenvolvimento de aerênquimas.

Para o tratamento alagado sem adição de cálcio, a formação de aerênquimas no córtex das raízes alcançou 13,7% do total do córtex, superando em 64% o tratamento alagado e com incorporação de cálcio em todo o solo (Tabela 6). Estes dados têm a mesma tendência aos encontrados por Dantas et al. (2001), os quais afirmaram que, sob condições de hipoxia, o milho “Saracura” induziu o desenvolvimento de aerênquimas lisígenos, tanto em raízes quanto em coleóptilo e que a aplicação de cálcio exógeno diminuiu seu desenvolvimento. A formação de aerênquimas é relatada como uma adaptação das plantas a ambientes alagados com baixa pressão de oxigênio (Kolb et al., 1998).

Em todos os tratamentos, apresentou-se a endoderme caracterizada por faixa de Caspary e o espessamento adquiriu forma de U. Entretanto, nos tratamentos com irrigação normal sem ou com adição de cálcio (Figuras 1M e 1N), esta estrutura apresentou-se bem mais espessa com revestimento de lignina e/ou suberina, quando comparada com os tratamentos alagados sem ou com

adição de cálcio (Figuras 1O e 1P). Assim, pode-se deduzir que o alagamento tem uma influência direta ao impedir a formação desta barreira.

No sistema vascular, as raízes dos tratamentos sob irrigação normal sem ou com adição de cálcio (Figuras 1I e 1J) apresentaram o periciclo e parênquima medular bem mais espessos quando comparados com aquelas alagados (Figuras 1K e 1L).

A epiderme apresentou-se estatisticamente diferente entre os tratamentos alagados e com irrigação normal (Tabela 6). No entanto, somente os tratamentos com irrigação normal promoveram diferenças entre si, o que leva a concordar com os resultados obtidos por Purcino et al. (2001b), no qual o cálcio diminuiu o desenvolvimento dessas estruturas por reduzir o metabolismo. Posteriormente, este fato auxilia na sobrevivência das plantas de “Saracura” sob alagamento. O diâmetro do cilindro vascular segue a mesma tendência (Tabela 6), não apresentando diferença estatística.

## **4.2 Experimento de campo**

### **4.2.1 Crescimento vegetativo**

As variáveis altura de planta, altura da primeira espiga e diâmetro do caule medidas em plantas submetidas a irrigação normal ou alagamento, independente dos níveis, fontes e formas de aplicação, não mostraram diferenças significativas em relação às suas testemunhas (Tabela 7). A análise de solo revelou um teor de cálcio de  $3,28 \text{ cmolc dm}^{-3}$  (Anexo 1), considerado um valor médio a adequado para o crescimento e desenvolvimento da cultura do milho (CFSEMG, 1999). Esses resultados, assim como os teores de cálcio contidos na água usada para irrigação ( $200 \text{ mg L}^{-1}$ ), podem explicar a ausência de resposta em relação à aplicação do cálcio.

TABELA 7. Altura da planta e altura da primeira espiga (cm) e diâmetro do caule (mm) de plantas de milho "Saracura" no momento da colheita e submetidas ao alagamento e irrigação normal, com diferentes níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio. Lavras, MG, 2003.

Tratamento	Ambiente	Altura da planta	Altura 1ª espiga	Diâmetro do caule
1	Alagado	163,1 <sup>a*</sup>	95,7a*	13,0a*
2	Alagado	175,3 <sup>a*</sup>	101,5a*	13,7a*
3	Alagado	174,7 <sup>a*</sup>	93,7a*	13,5a*
4	Alagado	183a*	107,3a*	14,2a*
5	Alagado	199,9 <sup>a*</sup>	98,7a*	13,7a*
6	Alagado	202,9 <sup>a*</sup>	104,7a*	14,0a*
7	Alagado	175,5 <sup>a*</sup>	98,5a*	13,7a*
8	Alagado	185,6 <sup>a*</sup>	89,17a*	13,0a*
9	Alagado	199,2 <sup>a*</sup>	110,4a*	14,5a*
10	Alagado	183,2 <sup>a*</sup>	93,2a*	13,2a*
Média		184,2*	99,3*	13,6*
CV		10,77	12,93	8,8
1	I. Normal	218,2 <sup>a</sup>	121,0a	15,7a
2	I. Normal	221,0 <sup>a</sup>	126,2a	16,0a
3	I. Normal	219,5 <sup>a</sup>	127,2a	15,5a
4	I. Normal	226,7 <sup>a</sup>	130,7a	15,2a
5	I. Normal	221,0 <sup>a</sup>	126,0a	15,4a
6	I. Normal	221,3 <sup>a</sup>	125,5a	15,7a
7	I. Normal	215,3 <sup>a</sup>	120,2a	14,7a
8	I. Normal	221,7 <sup>a</sup>	121,7a	15,7a
9	I. Normal	219,5 <sup>a</sup>	129,0a	15,7a
10	I. Normal	228,7 <sup>a</sup>	133,7a	15,2a
Média		221,3	126,1	15,5
CV		3,51	5,52	5,67

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<sup>-1</sup> de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 3) 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado em todo o solo; 4) 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – sem incorporar; 5) 1500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 6) 1500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado em todo o solo; 7) 1500 kg ha<sup>-1</sup> 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

As plantas submetidas ao alagamento, para as mesmas variáveis citadas anteriormente, apresentaram menor valor (crescimento) do que aquelas cultivadas com irrigação normal.

Ao se comparar as duas testemunhas ( $T_1$ ), alagadas e condições de irrigação normal, observaram-se diferenças estatísticas para as variáveis, altura da planta altura da primeira espiga e diâmetro do caule, podendo concluir assim, que o alagamento prejudicou o crescimento das plantas. Isto pode ser explicado pela pouca energia produzida pelas plantas ao seguirem rotas alternativas para suprir a atividade metabólica quando submetidas ao estresse por deficiência de oxigênio, levando a uma diminuição do crescimento vegetativo (Alves et al., 2000; Summers et al., 2000; Liao & Lin, 2001).

#### **4.2.2 Crescimento reprodutivo**

A aplicação do cálcio, independente dos níveis, fontes e formas de aplicação no solo, não mostraram diferenças significativas em relação às suas testemunhas quando a lavoura foi cultivada sob condições, tanto de irrigação normal quanto alagada (Tabela 8). Estes resultados, a exemplo do que aconteceu com a altura da planta, revelam que o nível natural de cálcio no solo já estava adequado para a cultura do milho.

É importante destacar que o milho “Saracura” sofreu influência do alto nível de umidade do solo imposto pelo alagamento. Entretanto, observou-se que, nesta condição estressante, o “Saracura” apresentou um decréscimo na produção de aproximadamente 30%. Este fato revela a tolerância desta cultivar ao alagamento intermitente do solo. Parentoni et al. (1995), Souza et al. (2000) e Magalhães et al. (2000 e 2001), trabalhando com milho “Saracura” sob

alagamento, relataram que, apesar do “Saracura” tolerar o alagamento, pode ser afetado em função da duração do estresse.

TABELA 8. Rendimento de grão ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) com 15% de umidade em milho “Saracura” submetido ao alagamento e irrigação normal, com diferentes níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio. Lavras, MG, 2003.

Tratamentos	Ambiente	Rendimento de Grão
1	Alagado	4362a*
2	Alagado	5869a*
3	Alagado	6519a*
4	Alagado	6812a*
5	Alagado	5754a*
6	Alagado	6148a*
7	Alagado	6390a*
8	Alagado	4950a*
9	Alagado	6442a*
10	Alagado	3717a*
Média		5696,7
CV		37,58
1	I. Normal	10381a
2	I. Normal	10582a
3	I. Normal	11037a
4	I. Normal	10467a
5	I. Normal	10508a
6	I. Normal	10393a
7	I. Normal	10573a
8	I. Normal	9812a
9	I. Normal	10114a
10	I. Normal	10167a
Média		10403
CV		7,95

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)  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 3)  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso – incorporado em todo o solo; 4)  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso – sem incorporar; 5)  $1500 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 6)  $1500 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso – incorporado em todo o solo; 7)  $1500 \text{ kg ha}^{-1}$  de gesso – sem incorporar; 8)  $300 \text{ kg}$  de cloreto de Cálcio – incorporado a 8 cm da superfície; 9)  $300 \text{ kg}$  de cloreto de Cálcio – incorporado em todo o solo; 10)  $300 \text{ kg}$  de cloreto de Cálcio – sem incorporar

Plantas que se desenvolvem em condições de déficit de oxigênio têm o crescimento vegetativo e reprodutivo reduzidos significativamente, de forma que a permanência prolongada sob essa deficiência pode levá-las à morte (Crane & Davies, 1988; Huang et al., 1994; Moraes et al., 2001). Em baixa pressão de oxigênio, a expressão gênica é alterada e os produtos desses genes induzem mudanças metabólicas e/ou morfológicas que permitem a sobrevivência das plantas por períodos de tempo não muito prolongados (Alves et al., 2000; Chang et al., 2000).

O cálcio é um elemento que participa de vários processos fisiológicos nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas. Sua atividade depende da concentração e localização na célula (Trewavas, 1999). Ao contrário dos outros nutrientes, a maior proporção encontra-se localizada no apoplasto (Seling et al., 2000), estabilizando ligações entre as substâncias pécticas da parede celular que, ao atuar como componente estrutural, influencia nos processos que levam ao crescimento celular. Trabalhos realizados com a aplicação de cálcio exógeno demonstraram que houve um aumento na concentração deste elemento na parede celular quando em condições de alagamento (Subbaiah et al. 1994a e 1994b). Na literatura são encontrados resultados em que a adição do  $\text{CaCl}_2$  atenua o efeito de outros sais, como o  $\text{NaCl}$ , mas como este processo ocorre ainda não está claro. O cálcio, presente no  $\text{CaCl}_2$ , é um nutriente conhecido por atuar na permeabilidade e seletividade das membranas e na regulação da pressão de turgor das células (Hoffmam & Besson, 1998, citados por Purcino et al., 2001a).

Estudos com o milho “Saracura” em condições controladas reportaram uma maior sobrevivência desta cultivar, quando submetida ao alagamento na presença de cloreto de cálcio (Vitorino et al., 2001; Gouveia, 2001; Purcino et al., 2001b). Pelo exposto, não pode ser descartada a hipótese de que a tolerância

do milho “Saracura” ao alagamento, nas condições em que foi realizado o experimento, se deva ao efeito positivo do cálcio.

Os componentes de rendimento, peso do grão (P.G.), número de grãos por fileiras (GxF), número de fileiras por espiga (NFxE) e peso de 1000 grãos (P1000G), comportaram-se com a mesma tendência dos resultados obtidos para rendimento do grão (Tabela 9). O índice de espiga (IE) não apresentou diferença significativa entre tratamentos nas duas condições de irrigação. Isto pode ser explicado pelo fato do milho “Saracura” ser uma cultivar selecionada por meio de vários ciclos de seleção massal, partindo de uma mistura de 36 populações diferentes sob alagamento, o que propicia uma forte estabilidade genética (Parentoni et al., 1995, Parentoni et al., 1998).

O número de grãos abortado aumentou nas plantas sob condições de alagamento. Este fato foi comprovado por Souza et al. (2000) ao observarem um aumento de grãos de pólen degenerados e anteras estéreis quando o milho “Saracura” foi submetido a um forte e prolongado estresse por alagamento a partir do estágio V6.

Estes resultados revelaram que os níveis, fontes e formas de aplicação de cálcio utilizados, não influenciaram as variáveis avaliadas, em função, provavelmente, do conteúdo de cálcio que possuía o solo utilizado ou a concentração de cálcio na água utilizada para irrigação. Rosolem et al. (1994) concluíram que raízes de milho têm resposta em crescimento em função de valores elevados de cálcio, na ordem de  $15 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ .

TABELA 9. Componentes de rendimento baseados na média de 10 espigas: peso do grão com 15% de umidade (P.G) em g, número de grãos por fileiras (GxF), número de fileiras por espiga (N.FxE), número de grãos abortados (G. Abort), peso de 1000 grãos com 15% de umidade em g (P1000G); e índice de espiga (I.E), em milho "Saracura" submetido ao alagamento e irrigação normal, com diferentes níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio. Lavras, MG, 2003.

Tto	Ambiente	P. G.	GxF	N.FxE	G. Ab.	P1000G	I. E.
1	Alagado	59,4a*	19,3a*	13,3a*	28,0a*	283,2a*	0,95a*
2	Alagado	61,1a*	19,3a*	13,3a*	36,8a*	285,6a*	0,91a*
3	Alagado	68,8a*	20,6a*	13,3a*	30,0a*	290,1a*	0,88a*
4	Alagado	75,2a*	22,3a*	13,6a*	24,8a*	298,5a*	0,97a*
5	Alagado	63,4a*	20,3a*	13,5a*	19,4a*	283,4a*	0,93a*
6	Alagado	69,3a*	21,5a*	13,5a*	30,7a*	274,3a*	0,97a*
7	Alagado	72,2a*	22,7a*	13,7a*	34,3a*	278,2a*	0,95a*
8	Alagado	61,7a*	16,2a*	13,3a*	37,7a*	297,5a*	0,89a*
9	Alagado	81,1a*	22,8a*	13,8a*	22,8a*	287,9a*	0,91a*
10	Alagado	54,9a*	16,2a*	13,5a*	29,9a*	290,8a*	0,88**
Média		66,73*	20,1*	13,48*	29,47*	286,9*	0,92*
CV		29,99	25,54	3,10	50,41	5,13	12,93
1	I. Normal	116,2a	30,5a	14,2a	13,88a	320,4a*	1,06a
2	I. Normal	111,1a	30,5a	13,6a	11,98a	318,3a*	1,08a
3	I. Normal	123,4a	30,6a	14,1a	12,67a	318,2a*	1,09a
4	I. Normal	118,3a	29,9a	13,8a	13,45a	309,3a*	1,07a
5	I. Normal	115,7a	29,9a	14,3a	11,80a	308,8a*	1,09a
6	I. Normal	122,0a	31,0a	14,4a	14,60a	309,4a*	1,09a
7	I. Normal	120,3a	31,6a	13,5a	10,25b	318,2a*	1,08a
8	I. Normal	120,3a	30,5a	13,8a	14,27a	325,5a*	1,06a
9	I. Normal	115,8a	30,2a	14,3a	13,58a	320,1a*	1,09a
10	I. Normal	120,8a	32,3 <sup>a</sup>	14,0a	12,63a	315,9a*	1,06a
Média		118,3	25,4	14,19	21,19	316,4	1,07
CV		6,38	14,4	6,6	65,1	3,68	5,03

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<sup>-1</sup> de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 3) 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado em todo o solo; 4) 500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – sem incorporar; 5) 1500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado a 8 cm da superfície; 6) 1500 kg ha<sup>-1</sup> de gesso – incorporado em todo o solo; 7) 1500 kg ha<sup>-1</sup> 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



## 5 CONCLUSÕES

- Os níveis, fontes e formas de aplicação do cálcio sob condições de alagamento em casa de vegetação, de maneira geral, não influenciaram no crescimento vegetativo, nas características biofísicas e nos teores de macronutrientes.

- O gesso incorporado em todo o solo promoveu aumento no acúmulo de matéria seca das plantas submetidas ao alagamento.

- A adição de cálcio no solo aumentou a atividade da carboxilase do fosfoenolpiruvato durante o alagamento para níveis próximos àqueles em condições aeróbicas. Por outro lado, não influenciou nos teores de açúcares solúveis totais e açúcares redutores, nem na atividade das invertases.

- O cálcio influenciou no arranjo celular da epiderme e promoveu um menor espessamento da exoderme em condições normais de irrigação.

- O teor de cálcio presente no solo foi suficiente para garantir o crescimento e rendimento das plantas em condições de campo. Assim, os tratamentos alagados não apresentaram diferenças significativas entre as variáveis avaliadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. D.; MAGALHÃES, M. M.; GOULART, P. F. P.; DANTAS, B. F.; GOUVÊA, J. A.; PURCINO, R. P.; MAGALHÃES, P. C.; FRIES, D. D.; LIVRAMENTO, D. E.; MEYER, L. E.; SEIFFERT, M.; SILVEIRA, T. Mecanismos de tolerância da variedade de milho "Saracura" (BRS 4154) ao alagamento. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas*, v. 1, n. 1, p. 33-40, jan./abr. 2002.
- 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, mar. 2000.
- ALBRECH, G.; BIEMELT, T. S.; BAUMGARTNER, S. Accumulation of fructans following oxygen deficiency estress in related plant species with different flooding tolerance. *New Phytologist, Cambridge*, v. 136, n. 1, p. 137-144, May 1997.
- BARBOSA, A. P. **Estudos de espécies florestais amazônicas visando a revegetação de áreas de depleção da usina hidrelétrica de Camargos, Itutinga (MG)**. 1995. 95 p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- BARUCH, Z.; MÉRIDA, T. Effects of drought and flooding on root anatomy in four tropical forage grasses. *International Journal Plant Science, Chicago*, v. 156, n. 4, p. 514-521, July 1995.
- 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, Setp.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.

BOTELHO, M. N. Características morfo-anatômicas e atividade da redutase do nitrato em plantas jovens de ingá (*Inga Vera Willd.*), virola (*Virola surinaminensis* (Rol.) wath) e seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) submetidas a diferentes níveis e tempos de inundação. 1996. 49 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

BUKATSH, F. Benerkungren zur doppelfarbung astrablausafrina. *Microkosmos*, Stuttgart. v. 61, p. 255, 1972.

CAZETTA, J. O.; SEEBAUER, J. R.; BELOW, F. E. Sucrose and nitrogen supplies regulate growth of maize kernels. *Annals of Botany*, London, v. 84, n. 6, p. 747-754, Dec. 1999.

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.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação.** Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CONWAY, W. S. C. E.; WATADA, A. E. Relationship between total and cell wall bound calcium in apples following postharvest pressure infiltration of calcium cholidre. *Acta Horticulturae*, The Hague, v. 398, p. 31-39, 1995.

CORNIC, C.; BRIANTAIS, J. M. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> reduction in a C<sub>3</sub> leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO<sub>2</sub> 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.

- CRAWFORD, R. M. M. Alcohol dehydrogenase activity in relation to flooding tolerance in roots. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 18, n. 56, p. 458-464, 1967.
- CRAWFORD, R. M. M. The control of anaerobic respiration as a determining factor in the distribution of the genus *Senecio*. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 54, n. 2, p. 403-413, 1966.
- CRAWFORD, R. M. M.; TYLER, T. D. Organic acid metabolism in relation to flooding tolerance in roots. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 57, n. 1, p. 237, 1969.
- 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 plântulas de milho submetidas a hipoxia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 251-257, abr./jun. 2001.
- DELÚ FILHO, N. **Estudos funcionais da proteína S-64 da soja, isolamento e caracterização molecular de seus clones genômicos**. 2000. 88 p. Tese (Doutorado) – Universidade federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- 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
- DREW, M. V. Oxigen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. **Annual review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 48, p. 223-250, 1997.
- 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 delinhagens contrastantes para o parâmetro fenotípico IFMF. In: **XXIII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO**, 23., 2000, Uberlândia, MG. **Resumos expandidos...** Uberlândia: 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, PE. 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 FISILOGIA VEGETAL, 6., 1997, Belém, PA. Resumos.... Belém: SBFV, 1997. p. 291

DURBIN, R. D. Abiotic diseases induced by unfavorable water relations. In: KOZLOWSKI, T. T. *Water Deficits and Plant Growth. Water and Plant Disease*. New York: Academic Press, 1971. v. 5, 101 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de solo. (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EPRON, D.; DREYER, E. Photosynthesis of oak leaves under water stress: maintenance of high photochemical efficiency of photosystem II and occurrence of non-uniform CO<sub>2</sub> 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 deficits 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. p. 255-258.

FRIES, D. D. *Comportamento de  $\alpha$  amilase/invertases e mudanças anômicas associadas ao cálcio exógeno no período de germinação e/ou alagamento de plântulas do milho (*Zea mays* L.) “Saracura” –BRS-4154*. 2003. 49 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

- 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.
- GIBBS, P. E.; LEITÃO FILHO, H. F. Floristic composition of na área of gallery Forest near Mogi-Iguaçu, state of São Pablo, S. E. Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 151-156, dez. 1978.
- GILL, C. J. The flooding tolerance of woody species a review. *Forestry Abstracts*, Farnham Royal, v. 31, p. 671-688, 1970.
- GOUVÊA, J. A. Crescimento inicial e sobrevivência do milho (*Zea mays* L.), cv. "Saracura" BR -154, em hipoxia sob condições de alagamento. 2001. 33 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- 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.
- HALL, T. F.; SMITH, G. E. Effects of flooding on woody plants, west sandy dewatering project, Kentucky Reservoir. *Journal of forestry*, Washington, v. 53, p. 281-235, 1955.
- HAYS, K. L.; BARBER, J. G.; KENNA, M. P.; McCOLLUM, T. G. Drought avoidance mechanisms of seleted bermudagrass genotypes. *HortScience*, Alexandria, v. 26, n. 2, p. 180-182, Feb. 1991.
- HECKATHORN, S. A.; DeLUCIA, E. H.; ZIELINSKI, R. E. The contribution of drought-related decreases in foliar nitrogen concentration to decreases in photosynthetic capacity during and after drought in prairie grasses. *Physiology Plantarum*, Copenhagen, v. 101, n. 1, p. 173-182, Sept. 1997.
- HEPLER, P. K.; WAYNE, R. O. Calcium and plant development. *Annual review Plant Physiology and Plant molecular Biology*, Palo Alto, v. 36, p. 397-439, 1985.
- HUANG, B.; FRY, J. D. Root anatomical physiological, and morphological to drought stress for tall fescue cultivars. *Crop science*, Madison, v. 38, n. 4, p. 1017-1022, July/Aug. 1998.

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. Is the diageotropic tomato athylene deficient? **Plant Physiology**, Rockville, v. 46, n. 2, p. 347-351, Aug. 1979.

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.

JOHANSEN, D. A. **Plant Microtechnique**. 2. ed. New York: Mc Graw-Hill Publishing company, 1940. 523 p.

KAWASE, M. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. **HortScience**, Alexandria, v. 16, n. 1, p. 30-34, Jan. 1987.

KOLB, R. M.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; GILONI, P. C.; CORREA, G. T. Anatomia ecológica de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae) submetida ao alagamento. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 21, n. 3, dez. 1998.

KOZLOWSKI, T. T. Response of woody plants to flooding. In: KOSLOWSKI, T. T. **Flooding and plant**. London: Academic Press, 1984. p. 129-163.

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, MG. Resumos... Poços de Caldas: SBG, 1997.**

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

**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 FISILOGIA VEGETAL, 8., 2001, Ilhéus, BA. Resumos expandidos... Ilhéus: CNFV, 2001. CD-ROM.**

**MALTBY, E. Wetlands-their status and role in biosphere. In: JACSON, M. B.; DAVIES, D. D.; LAMBERS, H. Plant life under oxygen stress. The Netherlands: SPB Academic Publishing, 1991. p. 3-21.**

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

**MENEZES NETO, M. A. Influência da disponibilidade de oxigênio sobre a germinação, crescimento e atividade das enzimas álcool desidrogenase e lactato desidrogenase em açaí (Euterpe oleracea Mart.). 1994. 50 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.**

**MILLER, G. L. Use dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Biochemistry, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.**



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.

MORAES, M. G.; ALVES J. D.; OLIVEIRA, L. E. M. Efeito da anaerobiose induzida por alagamento em plântulas de seis espécies herbáceas. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 25, n. 4, p. 941-951, jul./ago. 2001.

NAIDOO, G. Effects of flooding on leaf water potential and stomatal resistance in *Bruguira gymnorhiza* (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. selection for tolerance to waterloggings in maize (*Zea mays* L.). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE ABIÓTICO, 1995, Belo Horizonte, MG., Brasil. p. 434-449.

PARENTONI, S. N.; GAMA, E. E. G.; LOPES, M. A.; SANTOS, M. X. dos; GUIMARÃES, P. E. de O.; PACHECO, C. A. P.; MEIRELLES, W. F.; SOUZA, I. R. P. de; CORREA, L. A. Nove ciclos de seleção para tolerância ao encharcamento na variedade de milho CMS54- "Saracura". In: BRAZILIAN CONGRESS OF MAIZE AND SORGHUM, 22., 1998, Recife – PE. Resumos... Recife: ABMS, 1998. p. 12.

PLATZECK, C. O. Efeito da inundação sobre o estabelecimento de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickerdt e *Setaria anceps* Stapf ex Massey c. v. *Kazungula*. 1989. 163 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

PURCINO, A. A. C.; ARELLANO, C.; ATHWAL, G. S.; HUBER, S. C. Nitrate effect on carbon and nitrogen assimilating anzymes of maize hybrids representing seven eras of breeding. *Maydica*, Bergamo, v. 43, n. 2, p. 83-94, 1998.

PURCINO, R. P.; ALVES, J. D.; MAGALHÃES, M. M.; SILVEIRA, T.; FRIES, D. Efeito do cloreto de cálcio na germinação de sementes de milho da variedade BR- 154 ""Saracura"" In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8., 2001, Ilhéus, BA. *Anais...* Ilhéus: SBFV, 2001a. CD-ROM.

- 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 FISILOGIA VEGETAL, 8., 2001, Ilhéus, BA. Anais.... Ilhéus: SBFV, 2001b. CD-ROM
- ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI-FILHO, H.; MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 18, n. 3, p. 491-497, set. 1994.
- SAAB, I. N.; SACHS, M. M. A flooding – induced xyloglucan endo-transglycosylase homolog in maize is responsive to ethylene and associated with aerenquima. *Plant Physiology*, Rockville, v. 112, n. 1, p. 385-391, Sept. 1996.
- SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba: Escola superior de Agricultura "Luiz Queiroz", 1974. 56 p.
- SEAGO, J. L.; MARSH, L. C. Adventitious root development in *Thypha glauca* with emphasis on the cortex. *American Journal of Botany*, Columbus, v. 76, n. 6, p. 909-923, June 1989.
- SELING, S.; WISSEMEIER, A. H.; CAMBIER, P.; CUTSEM, P. V. Calcium deficiency in potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) leaves and its effects on the pectic composition of the apoplastic fluid. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 109, n. 1, p. 44-50, May 2000.
- SIDDIQUI, S.; BANGERTH, F. The effect of calcium infiltration on structural changes in cell walls of stored apples. *Journal of Horticultural Science*, Kent, v. 71, n. 5, p. 703-708, Sept. 1996.
- SILVA, A. R. Tolerância ao encharcamento. In: SIMPÓSIO SOBRE ALTERNATIVAS AO SISTEMA TRADICIONAL DE UTILIZAÇÃO DAS VÁRZEAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. 1984. 22 p.
- SILVA, S.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M. efeito de diferentes regimes hídricos sobre características anatômicas de raiz de gramíneas promissoras para revegetação ciliar de reservatórios hidrelétricos. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 1, 2003. (no prelo)

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.

SMALLWOOD, M.F.; CALVERT, C.M.; BOWLES, D.J. (Ed.) **Plant responses to environmental stress**. Oxford: Bios Scientific Publihers, 1999. 224 p.

SOUZA, I. R. P. de; MAGALHÃES, P. C.; MEYER, L. E.; PIRES, N. M.; ANDRADE, C. L. T. de. Alterações morfo-fisiológicas no grão de pólen e atividade da álcool desidrogenase em milho sob diferentes frequências de encharcamento. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlandia, MG. **Resumos expandidos...** Uberlandia: ABMS, 2000. CD-ROM.

SU, P. H.; WU, T. H.; LIN, C. H. Root sugar level in luffa and bitter melon is not referential to their flooding tolerance. **Botanical Bulletin Academic Sinica**, Taipe, v. 39, n. 3, p. 175-179, July 1998.

SUBBAIAH, C. C.; BUSH, D. S.; SACHS, M. M. Elevation of cytosolic calcium precedes anoxic gene expression in maize suspension cultured cells. **The Plant Cell**, Rockville, v. 6, n. 12, p. 1747-1762, Dec. 1994a.

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

SUMMERS, 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.

TANG, Z. C.; KOZLOWSKI, T. T. Water relations, ethylene production, and morphological adaptation of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings to flooding. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 77, n. 2/3, p. 186-192, 1984.

TREWAWAS, A. Le Calcium C'est la vie. Calcim makes waves. **Plant Physiology**, Rockville, p. 1-6, 1999.

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**, Netherlands, 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, 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.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **The Biochemistry Journal**, London, v. 57, n. 5, p. 508-514, 1954.

ZENG, Y.; WU, Y.; AVIGNE, W. T.; KOCH, K. E. Rapid repression of Maize invertases by low oxygen. Invertase/sucrose synthase balance, sugar signaling potential, and seedling survival. **Plant Physiology**, Rockville, v. 121, n. 2, p. 599-608, Oct. 1999.

## ANEXOS

ANEXO 1	Análise de solo.....	Páginas 49
---------	----------------------	---------------

### ANEXO 1

#### 1. Análise de solo

pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P	M.O.	Sat. Al
	Cmolc/dm <sup>3</sup>				mg/dm <sup>3</sup>		dag/kg	%
5.7	2.13	0.0	3.28	0.66	86	3	3.56	0