



**RESPOSTAS DE PLANTAS JOVENS DE AÇAÍ À
ADUBAÇÃO FOSFATADA E À INUNDAÇÃO
EM SOLOS DE VÁRZEA**

LEILA SOBRAL SAMPAIO

1998



LEILA SOBRAL SAMPAIO

**RESPOSTAS DE PLANTAS JOVENS DE AÇAÍ À ADUBAÇÃO
FOSFATADA E À INUNDAÇÃO EM SOLOS DE VÁRZEA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientadora
Janice Guedes de Carvalho

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
1998

Ficha Catalográfica preparada pela Divisão de Processamento Técnico da
Biblioteca Central da UFLA

Sampaio, Leila Sobral

Respostas de plantas jovens de açaí à adubação fosfatada e à
inundação em solos de várzea/ Leila Sobral Sampaio. – Lavras:
UFLA, 1998.

150 p. : il.

Orientadora: Janice Guedes carvalho
Dissertação (Mestrado) – UFLA
Bibliografia

I. Açaí – Adubação fosfatada. 2. Inundação. 3. Solo de várzea. 5.
Característica fisiológica. 6. fotossíntese. 7. Fluorescência. 8.
Condutância estomática. 9. Transpiração. I Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD-634.9745041

LEILA SOBRAL SAMPAIO

**RESPOSTAS DE PLANTAS JOVENS DE AÇAÍ À ADUBAÇÃO
FOSFATADA E À INUNDAÇÃO EM SOLOS DE VÁRZEA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Aprovada em 28 de agosto de 1998

Angela Maria Soares.- UFLA

Paula Ângela Umbelino Guedes Alcoforado (UFAL).


Janice Guedes de Carvalho
Orientadora

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Aos meus pais, Jeruza e Manoel, pela dedicação;
Ao meu companheiro, Waldener, pelo amor e apoio;
Às minhas filhas, Anita, Sofia e Leticia, que estiveram sempre presentes,

Ofereço

“Tens o dom de seres muito
Onde muitos não tem nada
Uns te chamam açazeiro
Outros te chamam juçara”

(Nilson Chaves e Joãozinho Gomes)

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
CAPÍTULO 1	1
1 Introdução geral	2
2 Referencial teórico	4
2.1 A planta	4
2.1.1 Aspectos botânicos	4
2.1.2 Importância econômica e social	5
2.1.3 Adubação e nutrição mineral da palmeira açai	7
2.2 Efeito da inundação no solo	8
2.3 Efeito da inundação nas plantas	12
2.3.2 Alterações fisiológicas.....	12
2.3.3 Alterações na nutrição mineral das plantas	17
2.4 Resposta das plantas à adubação fosfatada em solos inundados	23
2.4.1 Importância do fósforo no crescimento das plantas	23
2.4.2 Dinâmica do fósforo no solo	25
2.4.3 Efeito do fósforo no crescimento e nutrição das plantas em solos inundados	27
3 Referências bibliográficas	32
CAPÍTULO 2: Aspectos fisiológicos de crescimento, trocas gasosas e fluorescência de plantas jovens de açai em resposta à adubação fosfatada e à inundação em solos de várzea	41
1 Resumo	42
2 Abstract	43
3 Introdução	44
4 Materiais e métodos	48
5 Resultados e discussão	51

6 Conclusões	67
7 Referências bibliográficas	68
CAPÍTULO 3: Alterações na fertilidade do solo e nutrição de plantas jovens de açaí em resposta à adubação fosfatada e à inundação em solos de várzea	72
1 Resumo	73
2 Abstract	75
3 Introdução	77
4 Materiais e métodos	84
5 Resultados e discussão	87
6 Conclusões	133
7 Referências bibliográficas	135
ANEXOS	140

RESUMO

SAMPAIO, L. S. Respostas de plantas jovens de açaí à adubação fosfatada e à inundação em solos de várzea. Lavras: UFLA, 1998. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*

O efeito da inundação e do fósforo foi estudado em plantas jovens de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) em dois solos de várzea (O e GP). O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciências do Solo da UFLA, em 1997. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, fatorial 4x2, com quatro repetições. Foram adicionados ao solo quatro doses de fósforo (0, 150, 300 e 450mg/kg de solo). A inundação ocorreu durante 90 dias, 240 dias após o transplântio das mudas. O efeito dos tratamentos, inundação e doses de fósforo, promoveram alterações na disponibilidade de nutrientes no solo, nas características fisiológicas de crescimento, de trocas gasosas e de fluorescência, e no estado nutricional das plantas, com diferentes respostas entre os solos. O efeito da inundação causou aumento na disponibilidade de nutrientes do solo, redução na fotossíntese líquida, na condutância estomática, na transpiração, na concentração de CO₂ na câmara subestomática, na fluorescência, na matéria seca de raiz e parte aérea, na altura de plantas, no diâmetro de coleto, nos teores e acúmulo de nutrientes na planta. O efeito do fósforo foi importante na redução do efeito depressivo da inundação, favorecendo maiores ganhos em crescimento e melhorando o estado nutricional das plantas. A dose 300P, no solo HO, destacou-se por apresentar melhor resposta em crescimento e acúmulo de nutrientes, superando até as plantas em solo não inundado com a mesma dose. O solo HGP não apresentou dose máxima. Os macronutrientes de maior acúmulo, em média, seguem a ordem decrescente no solo HO: N>K>Ca>Mg>S>P; e no solo HGP: N>K>Ca>S > Mg >P. O solo HO destacou-se com maior acúmulo de nutrientes na matéria seca do açaí (exceto para o B e Fe) e menores teores de nutrientes (exceto Ca, Mg e Mn). Apesar do efeito depressivo da inundação, a espécie apresentou tolerância aos 90 dias de inundação, com presença de raízes de crescimento geotropismo negativo.

* Comitê de Orientação: Janice Guedes de Carvalho (Orientadora); Ângela Maria Soares.- UFLA; Paula Ângela Umbelino Guedes Alcoforado (UFAL).

ABSTRACT

Response of young plants of assai (*Euterpe oleracea* Mart) to phosphorous fertilization and flooding in lowland soils.

The effect of flooding and phosphorous were studied on young plants of assai (*Euterpe oleracea* Mart) in two lowland soils (O and GP). The experiment was conducted in a greenhouse at the Soil Science Department-UFLA, in 1997. The used experimental design was a completely randomized, 4x2 factorial, with four replications. Four dosages of phosphorous (0, 150, 300 and 450 mg/kg of soil) were added to the soils. Flooding was established for 90 days, 240 days after the transplanting the cuttings to O and GP soils. The effect of the treatments, flooding and dosages of phosphorous promoted alterations in the availability of nutrients in the soil, in the physiological growth characteristics, gas exchanges, fluorescence and on the nutritive status of the plants, with different responses among soils. The effect of flooding caused increase of on soil nutrients availability, reduction in net photosynthesis, stomata conductance, transpiration, CO₂ concentration in the substomatal chamber, fluorescence, root and shoot dry matter, plant height, stem diameter and in the content and accumulation of plant nutrients. The effect of phosphorous was important in reducing the depressive effect of flooding, favoring increased gains in growth and improving the nutrient status of the plants. The use of 300mgP/kg in the O soil presented better response in growth and nutrients accumulation, even when compared with plants grown on unflooded soil using the same dosage. The GP soil present no maximum dosage. The macronutrients accumulation, in average, show the following decreasing order on O soil: N>K>Ca> Mg > S>P and on GP soil: N>K>Ca> S> Mg>P. The O soil show higher nutrients accumulation in the assai dry matter (except B e Fe) and lower nutrient levels (except Ca, Mg and Mn). Even with the depressive effect of flooding, this species presented tolerance at 90 days flooding, with the presence of roots of negative geotropism growth.

* Guidance Committee: Janice Guedes de Carvalho (Orientadora); Ângela Maria Soares.- UFLA; Paula Ângela Umbelino Guedes Alcoforado (UFAL).

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O açaí (*Euterpe oleraceae* Martius) é economicamente uma das mais importantes plantas de florestas alagadas do estuário amazônico, uma área estimada de 25.000km². O açazeiro domina aproximadamente 10.000km² das áreas de mata do estuário amazônico. Ocorre em diversos tipos de áreas, desde terrenos antigos com pouco problema de drenagem, até em planícies aluviais recentes, de solos jovens, cujas características são determinadas principalmente por excesso de umidade durante períodos variáveis do ano (Calzavara, 1972).

A palmeira do açaí produz uma larga variedade de produtos, especialmente o palmito (principalmente para exportação), e o fruto, que é considerado base alimentar e econômica da população ribeirinha. A utilização dos açazais para retirada do palmito tem provocado impactos predatórios, dizimando populações nativas, principalmente devido a falta de planos de manejos, de fiscalização e de seleção do tipo de palmito. O extrativismo dos frutos não tem causado impactos predatórios pois, além de constituir base da alimentação local, é considerado um dos maiores benefícios financeiros para os ribeirinhos (MPEG, 1995).

Recentemente essa questão tem atraído muito atenção científica, particularmente devido a investigações do sistema tradicional de extrativismo como forma ecologicamente e economicamente sustentado de uso da terra. Pode-se considerar, também, sua importância em sistemas de cultivo para produção de frutos, por constituir alimento basicamente energético, haja vista o aumento da demanda pelo vinho do açaí, que hoje já ultrapassa as fronteiras regionais. Além de seu aspecto alimentar, a espécie pode ser uma alternativa de repovoamento de áreas periodicamente alagadas (represas, margens de rios e outras), devido a seus mecanismos de adaptação a essas condições.

Dessa forma, estudos básicos sobre a espécie são necessários para a sua utilização racional, assim como para sua conservação. A proposta de estudo sobre o comportamento fisiológico e de nutrição da palmeira açai em ambientes inundados é de grande importância para futuros estudos de manejo, não só de populações nativas mas também em áreas de cultivo.

Com este propósito foi desenvolvido um experimento em vaso, no qual se avaliou aspectos fisiológicos e nutricionais da palmeira açai sob inundação e doses de fósforo. Este estudo consta em capítulos. Os dados relativos às avaliações fisiológicas estão discutidos no Capítulo II e os de nutrição, no Capítulo III.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A planta

2.1.1 Aspectos botânicos

O açazeiro pertence à família *Arecaceae*, seu nome científico é *Euterpe oleraceae* Martius, e é conhecida por vários nomes populares: açai, açai de várzea, açai do Pará, açai do baixo amazonas (Brasil), uassi, morroke (Venezuela); manicole, pina, pinau (Guiana Francesa); palisade pina, prasara, manaka, wasei (Suriname). Sua distribuição geográfica está concentrada na América do Sul, principalmente no Brasil nos estados do Pará, Amazonas e Amapá (MPEG, 1995).

As planícies aluviais são consideradas habitat natural dos açazais. Estas planícies são inundadas periodicamente pelas águas barrentas das marés, sofrendo fertilização natural com deposição de sedimentos desde as margens dos rios até os níveis mais baixos, formando tipos fisionômicos denominados de várzea alta, várzea baixa (terrenos periodicamente inundados) e igapó (terreno constantemente inundado). Cada uma destas divisões possui características próprias com relação ao grau de umidade, como também as propriedades morfológicas do solo e distribuição de espécies. No caso da palmeira do açai, a várzea baixa constitui um melhor adensamento e desenvolvimento, chegando a formar populações homogêneas de açazais. Na várzea alta, a diferenciação pode ser atribuída à competição com outras espécies, principalmente por luz, e nos igapós, o excesso de umidade por longo período e sem renovação pode prejudicar o desenvolvimento desta espécie (Costa et al., 1974; Redig, 1981).

A adaptação do açai em solos periodicamente alagados é, dentre outras, devido a presença de pneumatóforos em suas raízes, e a facilidade de formar montículos de solo em suas touceiras elevando o nível de áreas baixas. Ela

também se adapta a condições de luminosidade, devido a habilidade dos folíolos inclinarem-se verticalmente, reduzindo o mínimo de área exposta a intensidade da luz do meio dia (Hamp, 1991).

O açazeiro é uma palmeira alta, delgada, que ocorre em touceiras com numerosas perfilhações. Ela atinge, no máximo, 30m de altura e tem normalmente cinco a seis caules por touceira, podendo estender a vinte ou mais (Hamp, 1991). A presença de perfilhamentos caracteriza a cultura permanente e facilita a utilização racional e não predatória, diminuindo riscos de extinção (Calzavara, 1988).

O florescimento e frutificação da espécie se estende durante todo o ano, com picos definidos de florescimento de dezembro a maio e picos de frutificação de junho a novembro. É uma planta alógama e a polinização ocorre principalmente por insetos coleópteros (Jardim, 1991).

2.1.2 Importância econômica e social

As palmáceas apresentam grande potencial extrativista na exuberante flora amazônica. Dentre as inúmeras espécies, destaca-se o açaí com uma multiplicidade de usos, tais como: a exploração de frutos e palmitos, fornecimento de matéria-prima para indústrias de papel, por apresentar celulose de fibra longa e de boa qualidade, aproveitamento de folhagem nova e resíduos de palmito para alimentação animal, além de uso medicinais (Calzavara, 1987).

A extração de frutos e de palmito são as principais explorações extrativistas do açai. O cultivo comercial do açai é desestimulado economicamente pelo seu retorno a longo prazo. Normalmente, o açazeiro inicia sua produção de frutos aos quatro anos; já, para extração de palmito, a cultura está apta com oito a doze anos de idade (Bovi, 1987).

O extrativismo do palmito iniciou-se na década de 60 com o esgotamento das reservas de palmito (*Euterpe edules*) no sul do país. A

transferência das fábricas de palmito para a região norte intensificou a exploração desenfreada do açazeiro, levando a diminuição da população nativa, com prejuízos ao abastecimento de frutos e afetando principalmente os ribeirinhos que vivem dessa cultura para sustento alimentar e econômico (Ohashi, 1992). O extrativismo do palmito do açazeiro chega a representar 95% da produção brasileira (Nogueira et al., 1995), chegando a 114.304 toneladas, sendo o estado do Pará o maior produtor (IBGE, 1991)

O extrativismo de frutos não tem causado impactos predatórios, pois, além de subsidiar a alimentação local, é considerada um dos maiores benefícios financeiros, principalmente quando existe facilidade de comercialização pela proximidade de centros urbanos (MPEG, 1995).

No estuário do Amazonas, 87% da produção anual de frutos concentram-se nos meses de agosto a janeiro. A comercialização nos portos de Belém se dá em rasas (balaio de tala) com capacidade de 30kg, que chegam a render de 12 a 16 litros do vinho (suco grosso de coloração cor de vinho) de açai. No porto de Belém, o preço da rasa chegou a custar R\$15,00, em 1997. Esta atividade chega a render de R\$1.000,00 a R\$1.500,00, constituindo-se a maior parte da renda anual de famílias ribeirinhas, obtida só com a exploração dos frutos do açai (informação local- Ilha Combu).

Utilizando-se a recomendação de plantio da EMBRAPA, é possível obter de 10 a 12 toneladas no plantio de terra firme, podendo atingir até 15 toneladas em área de várzea (Nogueira et al., 1995), o que traria um retorno bruto de R\$5.000,00 a R\$7.500,00, com base no preço de 1997.

Além do aspecto econômico, o fruto do açai é alimento essencialmente energético, com elevado valor calórico, consumido na forma de sorvete, creme, geléia, licor e mingau, e importante na dieta alimentar do paraense, principalmente dos ribeirinhos. Apresenta 2,37% de proteínas, 5,96% de gordura, 0,05% de cálcio, 0,0033% de fósforo e 0,0009% de ferro, além de

vitamina A e B1. O consumo anual de frutos chega a 180 mil toneladas (Nogueira et al., 1995).

2.1.3 Adubação e nutrição mineral da palmeira açaí

A multiplicidade de usos, bem como o extrativismo do palmito e a redução de açazais nativos, despertaram a necessidade de pesquisa sobre a palmeira. Muitos dos trabalhos publicados abordam a qualidade de palmito (Shimokomaki et al., 1975; Uzelac et al., 1975; Campos et al., 1991; Costa 1992), o manejo (Jardim e Anderson, 1987; Strudwick et al., 1990; Anderson, 1991); a germinação (Bovi e Cardoso, 1976; Moreira, 1989; Bovi, 1990), a produção de mudas e plantio (MPEG, 1995; Nogueira et al., 1995), mas poucos são os trabalhos que retratam aspectos básicos da nutrição mineral da palmeira açaí, principalmente em solo inundado.

Alguns trabalhos sobre nutrição mineral de açaí são referidos. Bovi et al. (1987) avaliaram o efeito da adubação fosfatada no desenvolvimento de mudas de açazeiro através do número de folhas, do diâmetro do coleto, da altura total, do comprimento da bainha, do número total de folha e do peso seco da parte aérea. A dosagem utilizada foi de 992,45mg de superfosfato simples por quilo de solo, com a seguinte composição química: P, 6mg/cm³; pH, 5,3; K, 0,15mg/cm³; Ca, 2,9meq/100g; Mg, 0,8meq/100g; H+Al, 2,4meq/100g; SB, 3,8; T, 6,2meq/100g e V, 61%. Os resultados indicaram aumento da matéria seca, altura e diâmetro do coleto, além do aumento de folhas vivas.

Bovi e colaboradores (1993) estudaram 4 níveis de N (0-0,6g/kg), P (0-2g/kg) e K (0-1,2g/kg) no desenvolvimento de mudas de açazeiro em condições de viveiro, com avaliação realizada no intervalo de quatro meses através do diâmetro do coleto, da altura total e até inserção da folha mais nova, do comprimento da quarta folha, do número de folhas verdes e emitidas, do peso de matéria fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular. Foram obtidos efeitos

lineares significativos para a dose de fósforo e de nitrogênio, e quadrático para o potássio, não ocorrendo interação entre os elementos.

No que diz respeito à avaliação do estado nutricional do açaí, Teixeira e outros (1995) caracterizaram sintomas de deficiência nutricional em mudas de açaizeiro. Outra pesquisa realizada anteriormente por Haag e colaboradores (1992), mostra os efeitos dos sintomas de deficiência de macronutrientes e boro na produção de matéria seca por partes da planta (folhas novas, velhas e raízes) em solução nutritiva. Tal trabalho classificou os elementos quanto a influência na produção de matéria seca na seguinte ordem decrescente: K > Mg > P > N > Ca > S > B. O boro foi o único elemento que não afetou a produção de matéria seca. A redução de matéria seca foi de 31,5%, 28,1%, e 24,6%, para K, Mg e P, respectivamente, com maior comprometimento para as raízes das plantas.

Trabalhos com açaizeiro nativo na ilha Combu (estuário amazônico), visando produção de frutos, foram reportados por Jardim e Rombold (1994) e por Hamp (1991). O primeiro testou o efeito da adubação NPK (440kg/ha ou 1kg por touceira da fórmula 17-17-17) e do desbaste na produção de frutos. Nesse trabalho, os autores conseguiram aumento de produção de frutos somente com o desbaste, não encontrando efeito nenhum da adubação. Hamp avaliou os teores de nitrogênio e fósforo nas folhas de açaí e não encontrou ligação com a produção de frutos. A conclusão do autor esclarece a existência de um adequado suprimento de nitrogênio e fósforo, não sendo limitantes para produção de frutos na ilha Combu.

2.2 Efeito da inundação no solo

A inundação causa mudanças nas propriedades do solo, o qual tem implicações diretas na nutrição de plantas e rendimento das culturas. Com a inundação, todo o oxigênio é drasticamente consumido, acionando uma série de

reações de oxirredução. Assim, compostos como nitrato, sulfato, compostos férrico e mangânico passam a formas reduzidas (Patrick e Mahapatra, 1968).

A seqüência de todo processo se inicia com o consumo do oxigênio molecular pela atividade biológica que passa de aeróbica para anaeróbica, reduzindo a concentração de oxigênio a níveis traços ($10^{-6}M$). Com o esgotamento do oxigênio e a sua baixa solubilidade em água ($8\mu g/ml$), ocorrem mudanças no potencial redox. Tais mudanças exercem controle no pH, na solubilidade de íons e na química de íons e moléculas dissolvidas na solução do solo (McBride, 1994). A variação do potencial redox (Eh) nos solos inundados depende do valor inicial de Eh, dos teores de receptores de elétrons, da quantidade e natureza da matéria orgânica e da atividade biológica, a qual é influenciada pela temperatura (Ponnamperuma, 1968). As reações de oxirredução desencadeadas pela queda do potencial redox levam ao consumo de H^+ e conseqüente aumento de pH, estabilizando-se em torno de sete. O poder de tamponante do CO_2 via reação $H_2CO_3 - HCO_3$ contribui para a estabilização do pH (McBride, 1994).

A importância da matéria orgânica e da temperatura nas alterações físico-químicas dos solos inundados é ressaltada por vários pesquisadores. Nos solos HG as mudanças de pH, Eh e condutividade elétrica com a inundação foram mais intensas no horizonte A, sendo que no horizonte C, onde o teor de matéria orgânica é menor, o efeito da calagem sobre o aumento no pH foi mais eficiente que a inundação (Oliveira et al., 1993). Segundo Ponnamperuma et al. (1968), em temperaturas de 25 a 30°C o Eh decresce rapidamente e estabiliza em poucos dias; já em temperaturas abaixo de 20°C a estabilização ocorre em seis semanas. Moraes (1973) atribuiu ao efeito das baixas temperaturas o atraso na velocidade de modificação do pH e Eh, e liberação dos nutrientes em solos ácidos e alcalinos inundados em 84 dias.

As reações de oxirredução em solos inundados implicam em alterações na disponibilidade dos nutrientes de acordo com o estágio de redução. A natureza de tais reações está na capacidade dos organismos anaeróbicos em utilizar espécies químicas oxidadas como acceptor de elétrons no lugar do oxigênio molecular. Assim, a redução de nitrato a N_2 (denitrificação) ocorre nos primeiros estágios de redução do solo e grande quantidade de nitrogênio é perdido para a atmosfera. O empobrecimento de nitrogênio do solo implica em deficiência de nitrogênio nas plantas.

Dando seqüência ao processo, os óxidos de manganês são reduzidos a Mn^{2+} . À medida que condições redutoras mais extremas ocorrem, acumula-se amônio (NH_4^+) a partir da redução do nitrogênio e a solubilidade de ferro aumenta na forma Fe^{2+} . O processo de redução do ferro nos solos dissolve a sílica e o fosfato adsorvido nos óxidos de ferro e precipitados de minerais ricos em ferro. No final, em condições anóxicas prolongadas, o sulfato é reduzido a sulfito, que precipita o Fe^{2+} e outros metais, tal como FeS_2 . A prolongada anoxia tende a trazer a solubilidade de Fe e Mn de volta para níveis baixos. Se o potencial redox decrescer a valores baixos positivos ou a valores negativos ($<200mV$), o carbono orgânico pode sofrer redução, formando metano. Nesses extremos de condições, gás hidrogênio pode ser gerado nos solos (McBride, 1994).

Apesar de não envolvidos diretamente nos processos de oxirredução outros nutrientes como o P, K, Ca, Mg, B, Co, Zn e Cu, sofrem mudanças em sua disponibilidade em solos inundados.

→ O fósforo é um dos macronutrientes profundamente afetado pelas mudanças associadas a anaerobiose do solo./A inundação do solo geralmente proporciona o aumento na disponibilidade deste elemento. O aumento da solubilidade do fósforo está ligado principalmente à redução do fosfato férrico a

formas mais solúveis e de óxidos e hidróxidos hidratados de ferro, acompanhado pela liberação do fósforo ocluso (Amer et al., 1991)./

Velloso et al. (1993) estudaram a dinâmica de fósforo em solos inundados e observaram que o aumento na concentração de fósforo (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N) atingiu concentrações máximas entre a primeira e a segunda semana após a inundação e reduziu drasticamente, chegando a valores inferiores ao antes do alagamento, estabilizando-se a este nível até a oitava semana. O aumento de ferro II também foi verificado nas frações solúveis e trocáveis. Os autores explicam que o extrator ácido teria superestimado o P na solução por extrair o P lábil e parte do P não lábil, e que a retenção da matéria orgânica teria complexado o fósforo devido a grande afinidade do ácido fúlvico-Fe por fósforo inorgânico.

Outros nutrientes como K, Ca e Mg têm sua disponibilidade aumentada pela inundação. Esse aumento é atribuído ao deslocamento dos sítios de troca para a solução, principalmente pelo Fe²⁺, Mn²⁺ e NH⁴⁺ (Ponnamperuma, 1972).

Os micronutrientes B, Co, Cu, Zn e Mo, embora não sejam envolvidos diretamente nas reações de oxirredução, podem ter sua solubilidade afetada pelas mudanças de pH, redução do Fe e agentes orgânicos formadores de complexo. Assim, é comum a diminuição de teores de Cu e Zn e aumento de B e Co em solos inundados. No caso do zinco, é comum a deficiência em arroz de várzea devido a sua redução na disponibilidade. No entanto, Kumar et al. (1981), avaliando mudanças físico-químicas nas propriedades e atividade de ferro e zinco em solos submersos cultivados com arroz em solos altamente ácidos, registraram aumento no pH, aproximando da neutralidade, em três semanas de inundação. A condutividade elétrica aumentou 5 a 10 vezes no mesmo período. As atividades de Fe²⁺ e Zn²⁺ aumentaram, assim como a relação Fe/Zn. O aumento da atividade da relação Fe/Zn foi de 20% contra 65% do aumento dos ions isolados.

Como pode ser verificado, as mudanças no potencial redox são de grande importância na química de solos inundados. Além da respiração anaeróbia de microorganismos, outros produtos orgânicos exudados pelos microorganismos também podem reduzir compostos, como é o caso de polifenóis na redução de Mn. Entretanto, todo processo direto ou indireto requer saturação dos poros de solos aliada à matéria orgânica como suporte à atividade microbiana para criar condições anaeróbicas (McBride, 1994).

2.3 Efeito da inundação nas plantas

2.3.1 Alterações fisiológicas

As plantas superiores são aeróbicas e dependem de um suprimento favorável de oxigênio a partir do meio, para respiração e outras reações de oxigenação e oxidação que sustentam a vida. No entanto, o acesso ao oxigênio pode ser interrompido por circunstância de meio, restringindo a aeração em parte da planta ou planta inteira, resultando em tecido anóxico e hipóxico, suprimindo rotas dependentes de oxigênio, especialmente sistema de geração de energia, causando distúrbios funcionais entre os órgãos, como raiz e parte aérea, e limitando a assimilação de carbono e fotossintatos. A falta de oxigênio afeta o crescimento de raízes e parte aérea, seja diretamente, no caso de submersão, ou indiretamente devido aos danos nas funções das raízes, das quais depende a parte aérea (Vartapetian e Jackson, 1997).

Nesta perspectiva, durante as últimas duas décadas muitos, trabalhos têm sido realizados sobre a possível causa de morte de células em anoxia. Estes, incluem o acúmulo de metabólicos tóxicos, como é o caso do etanol e lactato (produtos da fermentação), acidez citoplasmática, insuficiência de geração de energia metabólica no sustento da integridade celular, esgotamento de reservas de carboidrato e morte a partir de lesões causadas pela reentrada de oxigênio após um período sem oxigênio. Também são reconhecidos danos acima do solo,

na parte aérea, que resultam a partir de sua inundação e o restrito suprimento de oxigênio às raízes. Estes incluem a impedância do suprimento de água, minerais inorgânicos e hormônios a partir de raízes danificadas para a parte aérea, bem como o acúmulo de íons tóxicos produzidos pelo baixo potencial redox dos solos e a facilidade de ataques de patógenos (Vartapetian e Jackson, 1997; Crawford, 1996).

Dentre as respostas das plantas à inundação, o fechamento de estômatos, parcial ou total, é uma das primeiras respostas da parte aérea (Kolzowski e Pellard, 1984). Uma das causas pode ser atribuída à diminuição do suprimento de água pelo decréscimo da condutividade hidráulica das raízes ou pela morte de raízes, causando queda no potencial hídrico das folhas. No entanto, a redução da condutância estomática pode, muitas vezes, não estar diretamente relacionada com o potencial de água nas folhas (Pelacani et al., 1995; Pezescki et al., 1996). Outros processos podem ser atribuídos ao fechamento de estômatos, tais como: o efluxo de potássio das células guardas devido ao decréscimo de potássio nas folhas de plantas em estresse, causando perda de turgor; as altas concentrações de etileno e o aumento na produção de ABA nas folhas (Pezeshki, 1994).

A fotossíntese e a transpiração são drasticamente reduzidas com o fechamento de estômatos (Morard, 1996). O fechamento de estômato causa limitação na fotossíntese. Tanto que há uma estreita correlação entre condutância estomática e atividade fotossintética. Osbert et al. (1995) verificaram a redução na fotossíntese líquida (A) e na condutância estomática (gs) em *Nothofagus solandri* e *Nothofagus menziesii*, de 60 e 70%, e de 65% e 80%, com oito dias de inundação, respectivamente. Após 22 dias, a A e a gs atingiram valores próximos de zero para *N. solani*, no entanto, *N. menziesii* manteve alguma atividade aos 40 dias de inundação.

Além da limitação estomática, a redução da fotossíntese também pode ocorrer devido a processos metabólicos não estomáticos. Nesse caso, tem-se a

produção de etileno como inibidor da capacidade fotossintética do mesófilo. A degeneração da clorofila também pode contribuir para redução da capacidade fotossintética. Outro processo metabólico que contribui com o declínio da fotossíntese é a redução da atividade enzimática, que é muito afetada por mudanças das condições do meio, como é o caso da clorofilase e da rubisco (temperatura, falta d'água, poluição do ar). A atividade da rubisco é crítica na fixação de carbono, podendo induzir, em baixa atividade, à redução na fotossíntese líquida. Outro fator que restringe a atividade da fotossíntese inclui a senescência prematura das folhas e deficiência da citocinina. O acúmulo de sulfito nas folhas também afeta a fotossíntese, devido às alterações na atividade de enzimas, ao rompimento de reações e/ou fotofosforilação (Pezeshki, 1994).

Alguns trabalhos documentam a relação direta da fotossíntese com os principais processos relacionados à sua redução em ambiente anóxico, já citados anteriormente. Joseph e Yelenosky (1991) observaram a redução na fotossíntese, na condutância estomática, na concentração de clorofila e na atividade da ribulose-bisfosfato-carboxilase-oxigenase (Rubisco) em laranja doce (*Citrus sinensis* L.) enxertada em laranja azeda (*Citrus aurantium* L) e limão rugoso (*Citrus jambhiri* Lush), após 24 dias de inundação. A redução da fotossíntese foi de 94%, da condutância estomática 71%, da clorofila 38%, e da rubisco 62%, para o porta enxerto laranja doce/laranja azeda; comparado com 22%, 5%, 18% e 33%, respectivamente para laranja doce/limão rugoso. Os autores observaram, também, redução na raiz de 60 e 45%, para laranja doce/laranja azeda e laranja doce/limão rugoso, respectivamente, e atribuíram a última melhor tolerância a inundação.

Pezeshki, Pardue e DeLaune (1996) avaliaram concentração de clorofila nas folhas, taxa fotossintética, condutância estomática, atividade da álcool desidrogenase nas raízes, e produção de etileno na raiz e folha em *Taxodium distichum* L., *Quercus lyrata* Walt e *Quercus falcata* no solo com potencial

redox +170 mV e +560 mV. Em resposta ao baixo potencial redox, houve redução na condutância estomática de *Q. lyrata* e *Q. facata*, porém não em *T. distichum*, todavia a taxa fotossintética foi reduzida para todas, em menor proporção para a última. A concentração de clorofila não foi reduzida e todas as espécies mostraram perdas no peso seco de raízes e folhas.

Como foi referido, alguns distúrbios metabólicos ou fisiológicos são comuns em plantas sob estresse causado pela inundação, entretanto, algumas espécies são capazes de crescer ou sobreviver em períodos limitados com alguns de seus órgãos totalmente rodeados com oxigênio livre. Essa habilidade, às vezes, constitui mudanças nas raízes pela prévia exposição a falta de oxigênio.

A palmeira de açai é uma espécie abundante em ambientes inundados do estuário amazônico e vem despertando interesse científico a respeito de seus mecanismos fisiológicos e morfológicos de adaptação. Nepstad (s/d) estudou o potencial hídrico e a resistência difusiva das folhas durante pico anual de inundação em 1988, na ilha Combu, com o objetivo de verificar se há um déficit hídrico nas folhas e fechamento de estômatos durante a inundação, com redução na assimilação de carbono. Os resultados mostraram que houve queda no potencial hídrico das folhas, e mesmo abaixo de -2MPa a difusividade gasosa foi mantida, isto é, a espécie não fecha seus estômatos quando inundada. O autor verificou o nível de oxigênio no solo e, mesmo não adequado, a absorção das raízes não foi perdida completamente devido a seus órgãos especializados que conduzem oxigênio para raízes mais profundas. O autor observou, também, em solos falsamente baixos, raízes aéreas avermelhadas de 1cm de diâmetro com presença de lenticelas e tecido aerenquimatoso esponjoso, além da produção de finos pneumatóforos (<1 mm) no qual projeta verticalmente a partir do solo. O autor concluiu que a combinação os órgãos condutores de oxigênio e a tolerância a baixo potencial hídrico das folhas podem contribuir para a habilidade dessas palmeiras crescerem em solo anaeróbico.

Estudos mais recentes sobre as relações hídricas do açaí em matas de várzea inundada, também na ilha Combu, são conclusivos quanto à adaptação da espécie em ambientes de hipoxia do sistema radicular. Carvalho et al. (1997), em sua avaliação sobre o efeito da inundação no sistema radicular e outros efeitos ambientais sobre o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera em palmeiras de açaí, observaram que a abertura e fechamento de estômatos está mais condicionada à radiação solar que ao déficit de pressão de vapor d'água da atmosfera e altura de maré, e que as inundações periódicas não afetaram a absorção de água pelas raízes. Outra conclusão dos autores ressalta a baixa condutância estomática máxima observada ($0,16 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) do açaí em relação a outras palmeiras.

Pelacani (1993) estudou comportamento fisiológico das espécies *Sesbania sesban* (sesbânia), *Inga vera* Willd (ingá), *Hevea brasiliensis* (seringueira), *Eriobotrya japonica* (ameixa), *Macchaerium villosum* Vog (jacarandá mineiro) e *Euterpe oleracea* (açaí) submetidas em estresse de inundação do sistema radicular. Dentre elas, o açaí foi a espécie menos sensível ao estresse gasoso em substrato de areia durante 55 dias de cultivo, pois não apresentou redução no crescimento de altura e diâmetro do caule. O comprimento de raiz e matéria seca total não foram afetados pelos tratamentos. O lançamento de folhas foi reduzido e o comprimento foliar apresentou taxa lenta de expansão com o estresse. A condutância estomática e a transpiração foram reduzidas somente após 15 dias de inundação e o potencial hídrico nas folhas também foi reduzido aos 55 dias de estresse.

Menezes Neto (1994) avaliou o efeito da disponibilidade de oxigênio sobre eventos metabólicos associados à germinação de sementes, sobrevivência de plântulas e formação de aerênquimas em raízes de plântulas (com idade de 20 dias após a germinação) de açaí. Nesse estudo, a espécie demonstrou alto grau de tolerância à deficiência de oxigênio, ajustando-se metabolicamente a níveis

distintos de anoxia (período de 1 - 20 dias de anoxia antes da germinação; plântulas submetidas 2 - 16 dias de anoxia), além de não necessitar de estímulos para formação de aerênquimas.

2.3.2 Alterações na nutrição mineral de plantas

As condições de anaerobiose impostas pela inundação do solo podem limitar a aquisição e utilização de nutrientes devido as alterações na absorção, translocação e crescimento de raízes. O estado nutricional de plantas em condições de anaerobiose depende do grau de tolerância. Nas plantas intolerantes ocorre uma maior redução na concentração e nutrientes totais que nas espécies tolerantes. Essa tendência pode ser atribuída a redução de superfície de raízes aptas a absorção em espécies sensíveis (Topa e McLeond, 1986). No caso de plantas adaptadas à inundação, a absorção de nutrientes continua, sendo possibilitada pela existência de um suprimento interno de O_2 . A formação de raízes adventícias e formação de aerênquimas facilita a transferência dos tecidos para a raízes e interface solo-raiz. Entretanto, essas adaptações permitem o funcionamento das raízes e absorção de nutrientes e, dependendo das condições do solo, estado de deficiência e toxidez podem ocorrer (Pezeshki, 1994).

Visto a inibição da energia ligada ao transporte de íons nas raízes anaeróbicas, espera-se que a transferência de nutrientes minerais para a parte aérea seja profundamente modificada. Concentrações no tecido de N, P e K declinam na parte aérea enquanto que Ca e Mg são menos afetados. Um terceiro grupo de elementos, formado pelo Na, Mn e Fe, alcança maiores concentrações que em plantas bem arejadas, o que pode ser atribuído ao aumento na concentração da solução do solo ou inibição no mecanismo de exclusão desses elementos (Drew, 1988; Crawford, 1992; Pezeshki, 1994).

Morard e Silvestre (1996) estabeleceram uma ordem do efeito depressivo na absorção de água e minerais pelas raízes de plantas em estresse gasoso, na seguinte disposição: $K > N > P > H_2O > Mg = Ca$.

A inundação não somente influencia a concentração mas também a distribuição dos nutrientes dentro das plantas. A inundação aumentou a proporção de N no sistema radicular, diminuiu a proporção de N e K no caule e aumentou a de Fe e Mn nas folhas de genótipos sensíveis de trigo (Bayles), enquanto que a distribuição de P, Ca e Mg não foi afetada pela inundação (Huang et al., 1995).

A falta de suprimento de nutrientes, aliada a inadequada liberação de nutrientes para regiões de crescimento, desloca apreciáveis concentrações de N, P e K para regiões de crescimento, causando clorose e posteriormente senescência em folhas mais velhas. O Ca e Mg são translocados em menor proporção, já que em regiões de crescimento seus teores são menos afetados que o N, P e K (Drew, 1988; Atwell e Steer, 1990)

Topa e Cheeseman (1994) estudaram os efeitos da hipoxia na absorção e transporte de fósforo em *Pinus serotina* Michx, uma espécie de pinus de moderada tolerância à inundação. As plântulas foram submetidas a condições de solução aeróbica ($250 \mu M O_2$) e hipóxica ($< 50 \mu M O_2$) por 5,3 semanas. Os resultados mostraram que a hipoxia não afetou o acúmulo de P_{32} nas raízes, no entanto, o seu transporte para a parte aérea foi reduzido em 50% sob condição de hipoxia. Segundo os autores, a redução na transpiração não contribuiu para redução no transporte de P das raízes. A taxa de influxo de P_{32} foi maior 1,4 vez sob hipoxia, no entanto após 24 horas, o acúmulo de P_{32} foi similar, sugerindo que o efluxo foi também mais alto sob hipoxia. As condições de hipoxia aumentaram a percentagem de P_{32} nas raízes em ácidos nucleicos e quelatos, resultando em percentagem significativamente baixa de P_i , a forma disponível para transporte para a parte aérea. Entretanto, a alteração na forma de fósforo,

também não foi suficiente para explicar a larga redução do acúmulo de P_{32} na parte aérea. De acordo com os autores, tanto o influxo como o transporte são processos dependentes de O_2 e o transporte pode ser mais sensível à condição de solução em hipoxia que o influxo através da plasmalema da epiderme e do córtex, com a formação de aerênquima suportando a substancial quantidade de P_{32} absorvido e transportado.

Mecanismos passivos de absorção podem ocorrer em plantas sob estresse gasoso através da corrente transpiratória de raízes danificadas. Concentrações de P e K na seiva do xilema foram similares a do meio externo, sugerindo a absorção por fluxo de massa. O N excedeu 4 vezes a concentração da solução externa, indicando uma remobilização de N das raízes danificadas (Drew, 1988).

Devido ao grau de tolerância das espécies à inundação, diferentes respostas podem ocorrer quanto a variação dos teores de macro e micro nutrientes das raízes e parte aérea. Em plantas de arroz inundado houve mais alta concentração de N, P, Ca e Fe, enquanto que o Mn e o Mg não mudaram significativamente. A descoloração (bronzamento) nas folhas do arroz devido ao alto ferro solúvel ocorre em solos caracterizados por baixo pH e prolongada inundação. Deste modo, a alta concentração de Fe pode também interferir na absorção de P. A toxidez de sulfito pode ocorrer devido as mudanças no solo. O declínio do potencial redox inicia uma cadeia de reações na qual reduz o sulfato. O sulfito é considerado fitotóxico às plantas, mas, em plantas tolerantes, o sulfito é oxidado na rizosfera, amenizando os efeitos (Pezeshke, 1984).

Beyrouty et al. (1994) avaliaram a resposta do arroz à absorção de nutrientes em diferentes manejos de água: inundado, inundado após a diferenciação da panícula e irrigado. O manejo d'água não interferiu, sendo que o arroz com inundação apresentou maior nível de absorção. As concentrações de N, P e Fe no tecido não foram afetadas. No entanto, devido a redução de matéria

seca em solos não inundados, houve redução nas quantidades totais. Os teores de K, Zn e Mn foram afetados pelo manejo e o decréscimo foi atribuído a redução na disponibilidade e na produção de matéria seca de arroz em solos não comumente saturado. Maiores produções de matéria seca e grãos foram obtidos em regime permanente de inundação.

Apesar do conhecido mecanismo de adaptação do arroz em solos inundados, nem sempre a resposta do arroz à inundação é positiva. Problemas na produção de grãos de arroz em Oxisols e Ultisols vêm sendo atribuídos à desordem fisiológica causada por toxicidade ou deficiência de nutrientes como resultado da inundação. Jugsujinda e Patrick Jr (1993) estudaram variação de pH e Eh em solos inundados (Haplorthox-gley, caulínítico, isoipertérmico) e a concentração de nutrientes no solo e no arroz. O Eh reduziu de +460 a -217 e o pH aumentou de 5,2 a 6,6. Aos sessenta dias de inundação, concentrações de Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Ca, Mg, P, e K extraíveis por NaOAc, exceto Al, aumentaram marcadamente. No entanto, suas formas solúveis em água foram reduzidas, exceto o Fe. As plantas apresentavam níveis tóxicos de Fe, Mn e Al e deficiência em P, K, Ca e Mg. O crescimento das raízes foi limitado e recoberto com óxidos de ferro e manganês, reduzindo a capacidade de absorção de nutrientes a partir do solo. Sintomas de alaranjamento das folhas do arroz foram atribuídos às desordens nutricionais.

Moraes (1973) avaliou o efeito da inundação e doses de fósforo no crescimento e nutrição do arroz (*Oriza sativa* L. var Sinaloa A 68). A produção de matéria seca foi muito pequena em todas as doses de fósforo aplicadas (0, 40, 80, 120 kg de P_2O_5 /ha) nos solos estudados. O pequeno crescimento foi atribuído as múltiplas deficiências nutricionais, dentre as quais o P, K, Ca e Mg devido a problemas na absorção ou acúmulo de ácidos orgânicos e outros produtos resultantes da decomposição anaeróbica, na zona radicular.

Trabalhos com outras espécies mostram resultados diversos sobre o efeito da inundação na nutrição das plantas. Osonubi e Osundina (1994) verificaram aumento na concentração de nutrientes P, Fe e Mn na folha de plantas (*Gmelina arborea* Roxd, *Tectona grandis* L. e *Nauclea diderrichii*) inundadas por dez semanas em solo franco arenoso. Exceções para manganês em *Gmelina* e potássio em todas as plantas, os quais mostraram decréscimo em relação ao controle. No final do período pós-inundação, os teores de nutrientes tenderam a diminuir nas plantas previamente inundadas e aumentar no controle.

Topa e McLeod (1986) observaram redução na concentração de N, P, K, Fe, Mn, e, em menor escala, Ca e Mg em *Pinus clausa*, *Pinus serotina* e *Pinus taeda*, crescendo sob condições de anaerobiose ($O_2 \leq 23 \mu M$) e em solução nutritiva com 30 ou 50 dias. A perda de matéria seca da parte aérea não foi afetada pelo estresse, exceção para *P. clausa*, que apresentou também a maior taxa de redução de peso seco de raízes (57%) entre as demais espécies.

Atwell e Steer (1990) verificaram o efeito da deficiência de O_2 em milho (*Zea mays* L.) durante 14 dias em solução nutritiva (Hoagland $\frac{1}{2}$ força e 10% da concentração para N, P, K ou Ca). Nesse estudo não houve redução de peso seco (Hoagland $\frac{1}{2}$ força), porém houve um declínio nos níveis e na taxa de absorção de N, P, K e Ca devido a falta de aeração ou baixo suprimento ou combinação de ambas. Neste caso, a absorção do cálcio foi a menos prejudicada com a deficiência de O_2 nas raízes.

Maranville et al. (1986) avaliaram o crescimento e acúmulo de nutrientes em genótipos de sorgo inundados 30 dias após a germinação por 14 dias. A inundação atrasou o florescimento, em média, por 5,5 dias. A matéria seca e a produtividade foram reduzidas em média em 48% e 57%, respectivamente. Concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S decresceram nas folhas, porém somente N e P estiveram abaixo do nível crítico, com sintoma de deficiência de N bem caracterizado nas folhas das cultivares de sorgo. Teores de

Fe e Mn estiveram mais altos nas folhas, mas o aumento não foi suficiente para causar toxidez. Houve diferença de resposta entre os genótipos, sendo que as cultivares de maturação tardia exibiram melhor potencial de produção e melhor tolerância à inundação.

Drew (1988) considera a nutrição um ponto central na resposta das plantas à inundação e relata que o crescimento de plantas ou sua sobrevivência podem estar relacionados ao suprimento adicional de nutrientes. No caso do nitrogênio, o suprimento via solo pode estar retardando os efeitos da inundação, evitando o abaixamento do potencial redox, repondo o N perdido por desnitrificação, lixiviação ou volatilização ou, ainda, servindo como aceptor final de elétron em raízes de plantas na "respiração de N" e melhorando o estado nutricional da planta. As injúrias podem ser evitadas ou amenizadas pelo fornecimento de nutrientes, mas essa prevenção é por curto período.

Marschener (1997) também ressalva a importância da aplicação de nutrientes para diminuir ou prevenir sintomas de injúria. No entanto, o autor alerta que o efeito de nitrogênio não pode ser superestimado ou generalizado, devido a absorção de outros nutrientes também diminuir.

Huang et al. (1994) comprovaram em seu trabalho o papel dos nutrientes em diminuir os efeitos adversos causados pela inundação. Em trigo, com dezessete dias de estresse de oxigênio, a taxa de declínio da fotossíntese e conteúdo de clorofila foi reduzida e o crescimento e teor de N na matéria seca da parte aérea foram aumentados, utilizando-se o dobro da concentração da solução de Hoagland de ½ força para toda força. Pesquisando genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) de diferentes tolerância à inundação, Savannah e Bayles, Huang et al. (1995) avaliaram o efeito da inundação e suprimento de nutrientes no acúmulo e distribuição de nutrientes. As plantas cresceram em areia drenada ou inundada, fertilizada com a solução de Hoagland em ½ força ou toda força. A inundação reduziu o peso de matéria seca total em 70 e 50% para Bayles e 40 e

29% para Savannah, com solução Hoagland em ½ força e toda força, respectivamente. A inundação também reduziu a concentração de N, P, K, Mg e Zn nas folhas e caules e aumentou a concentração destes no sistema radicular. Altas concentrações de Fe e Mn foram encontradas em plantas inundadas de Bayles. Os efeitos foram mais pronunciados em Bayles que em Savannah. Dobrando a concentração da solução, houve maior ganho de matéria seca acompanhado por um melhor estado nutricional das plantas inundadas.

2.4 Resposta das plantas à adubação fosfatada em solos inundados

2.4.1 Importância do fósforo no crescimento das plantas

O fósforo constitui, no grupo dos macronutrientes primários, o elemento essencial no crescimento e desenvolvimento das plantas. De acordo com a faixa de pH que comumente ocorre nos solos cultivados, o fósforo é absorvido predominantemente na forma iônica $H_2PO_4^-$ (Malavolta, 1997). As raízes das plantas são capazes de absorver fosfato a partir de concentrações muito baixas no solo. Geralmente o conteúdo de fosfato nas células das raízes e no sulco do xilema é 100-1000 vezes maior que na solução do solo do xilema. Isto mostra que a absorção do fosfato é contra um alto gradiente de concentração, é ativa e está associada a uma maior atividade metabólica, e que a transferência do fósforo das células corticais das raízes até o xilema se dá via simplasto (Taiz, 1991).

O fosfato não é reduzido dentro da planta, como o nitrato e o sulfato, a um estado de oxidação diferente daquele que foi absorvido. O caminho mais importante na sua entrada em combinação com compostos orgânicos é a esterificação de um grupo OH da pentose ligado a adenina, originando o AMP, ADP e ATP (moeda universal das células), importantes no processo de armazenamento e transferência de energia. O fósforo também faz parte da estrutura de macromoléculas de DNA e RNA, responsáveis pelo armazenamento

e transferência da informação genética codificada pelas células. Como função estrutural, é importante constituinte da membrana celular, a qual confere a natureza fosfolipídica, além de fazer parte de coenzimas. O fósforo desempenha alguns papéis importantes nas plantas, tais como a formação de raízes, a iniciação floral, a formação de sementes, a frutificação e a maturação de frutos (Malavolta, 1997).

O requerimento de fósforo para otimizar o crescimento está na faixa de 0,3-0,5% do peso de matéria seca em plantas durante o estágio vegetativo de crescimento. Com teores acima ou abaixo desta faixa pode ocorrer toxidez ou deficiência de fósforo nas plantas. Alguns sintomas, como redução da expansão foliar, número de folhas e área foliar, são, dentre outros, efeitos da deficiência de fósforo na planta. A expansão foliar está relacionada com a expansão das células epidérmicas, processo que poderá ser impedido pela deficiência de fósforo nas plantas por várias razões como por exemplo, baixo teor de fósforo nas células epidérmicas ou baixa condutividade hidráulica das raízes. Em contraste, a severa inibição da expansão foliar, o conteúdo de proteína e clorofila por unidade de área foliar não são muito afetados. Muitas vezes, o conteúdo de clorofila é igualmente aumentado sob deficiência de fósforo e as folhas tem uma coloração verde escura, assim como a expansão das células e folhas são mais retardadas que a formação de clorofila e cloroplasto. Entretanto, a eficiência fotossintética por unidade de clorofila é diminuída em plantas deficientes. Em contraste com o crescimento da parte aérea, o crescimento da raiz é muito menos inibido em deficiência de fósforo, principalmente no decréscimo da razão peso seco parte aérea/raiz. O decréscimo da razão peso seco parte aérea/raiz pode estar correlacionado com aumento na partição de carboidratos rumo as raízes. A deficiência de fósforo pode mesmo aumentar a taxa alongação das células de raízes e das raízes. O crescimento da parte aérea declina rapidamente mas a raiz continua a crescer, não somente devido a retenção de fósforo, mas também,

devido a taxa de translocação de fósforo da parte aérea para raiz (Marschner, 1997).

2.4.2 Dinâmica do fósforo no solo.

O fósforo ocorre nos solos na forma orgânica e inorgânica. A forma orgânica permanece descaracterizada, no entanto, inositol fosfato, fosfolipídeos, ácidos nucleicos e seus derivados, polifosfatos têm sido identificados. Na forma inorgânica, o fósforo pode estar ligado ao cálcio, ferro e alumínio (Kuo, 1996). A importância relativa dos compostos inorgânicos do solo está condicionada pelo pH, tipo e quantidade de minerais existentes na fração argila. Em solos ácidos, com predomínio de caulinita e óxidos de ferro e alumínio, as combinações de fósforo com ferro e alumínio são mais importantes, enquanto que em solos neutros e calcários, destacam-se o fósforo ligado ao cálcio (Raij, 1987). A dinâmica do fósforo no solo consiste do fósforo em solução, ou intensidade de P, o qual é ressuprido pelo P-lábil que é abastecido pelo P-não lábil (Kuo, 1996).

A concentração de fósforo total ocorre geralmente na faixa de 200 a 5000mg P/kg com média de 600mg P/kg. No entanto, a concentração de fósforo na solução do solo é baixa. Reações biológicas e físico-químicas nos solos e sedimentos regulam a solubilidade do fósforo (Kuo, 1996). Mudanças no pH de uma unidade pode mudar a solubilidade de compostos de fósforo ligados a ferro e alumínio em 10 vezes, aumentando a disponibilidade de fósforo nas plantas (Chapman e Hall, 1989, citados por McBride, 1994).

Estudando efeitos isolados do potencial redox e do pH na dinâmica de fósforo em solos ácidos, Holford e Patrick Jr (1979) observaram que a redução de compostos aumentava a concentração de fósforo nativo em solução. Em pH 6,5, o aumento foi atribuído ao fator quantidade (P-lábil), provavelmente pela liberação de P associado a compostos férricos. Em pH 5,0 e 8,0, o aumento de P foi atribuído ao decréscimo da energia de adsorção. Os autores estabeleceram

que o potencial redox controla a redução dos compostos de Fe e o pH controla a dissolução e reprecipitação do ferro reduzido e, conseqüentemente, a adsorção de fosfato.

A dinâmica do fósforo em solos inundados está intimamente ligada a redução de compostos de ferro e ao aumento do pH, verificando geralmente um aumento na disponibilidade de fósforo com a inundação (Patrick e Mahapatra, 1968; Ponnampereuma, 1972; Moraes 1973; McBride, 1994). Acredita-se que a redução e conseqüente dissolução dos óxidos de ferro promovam uma diminuição dos sítios de adsorção de fosfato no solo durante o período inicial de inundação, mas à medida que a redução progride, pode haver, pelo aumento do pH, uma reprecipitação do ferro como hidróxido ferroso e ferroso férrico (Ponnampereuma, 1967). Esses compostos reprecipitados podem ser mais ativos na adsorção de fosfato do que os compostos férricos presentes no solo antes da inundação. Mello et al. (1992) verificaram alta correlação entre as alterações nas quantidades de fósforo adsorvido e aqueles verificados no pH, Eh, e nos teores de ferro em solução. Dos nove solos, inundados por 60 dias, os que apresentaram maior variação nos valores de pH, Eh e Fe^{2+} foram os que tiveram aumentos no P adsorvido/precipitado, possivelmente devido aos hidróxidos de ferro amorfo.

As condições de inundação influenciam a transformação do fósforo nativo e adicionado. A inundação ativa formas de fosfato geralmente insolúveis em solos aerados aumentando a disponibilidade para as plantas. O fosfato de ferro é reduzido em formas mais solúveis de fosfato férrico. Várias formas de fosfato que são coprecipitados de óxidos de ferro são liberados devido a instabilidade de compostos de óxidos - hidróxidos hidratados de ferro e alumínio em solos inundados (Patrick e Mahapatra, 1968). A dinâmica do fósforo aplicado nos solos inundados foi estudada por Moraes (1973). Em oposição ao esperado, não houve diferença entre as doses aplicadas nas primeiras semanas de

inundação. De acordo com este investigador, o fósforo teria sido primeiramente fixado para posteriormente ser liberado com as alterações de Eh e pH, nos 84 dias de inundação.

2.4.3 Efeito do fósforo na nutrição e crescimento das plantas em solos inundados

Os trabalhos divergem quanto a capacidade das plantas ditas tolerantes se desenvolverem e responderem à fertilização em solos inundados. A variação genética entre e dentro espécies e as características do solo ou substrato no qual estas espécies se desenvolvem influenciam imensamente nas respostas das plantas a inundação.

O arroz é uma cultura bem adaptada as condições de submersão. Segundo Varede et al., (1970), a contínua inundação produziu maior percentual de porosidade nas raízes de arroz. A habilidade de aumentar a porosidade de suas raízes, fugindo do estresse gasoso, permite um bom crescimento e desenvolvimento da cultura. Saha et al., (1973) associaram o aumento de porosidade de raízes em condições de inundação a maior transpiração, absorção de nutrientes (P, K, Zn, Fe e Mn) e produção de matéria seca em cultivares de arroz (IR-8 e Jaya). Em trabalhos posteriores, Das e Jat (1977), comparando genótipos de arroz (IR 8, Padma, BC6 e IR22), relacionaram o maior volume de porosidade das raízes ao seu maior comprimento, ao aumento de matéria seca de raízes e parte aérea, e maior conteúdo de nutrientes na parte aérea, sendo que as cultivares Padma e BC6 destacaram-se com maior porosidade nas raízes e maior crescimento que IR-8 e IR-22. Além da capacidade adaptativa, o aumento na disponibilidade de nutrientes nos solos inundados contribui para um melhor estado nutricional e maior produtividade do arroz em sistema de inundação.

Segundo Patrick e Mahapatra (1968), o aumento na disponibilidade de fósforo nos solos aliado ao baixo requerimento de fósforo pelo arroz resulta na

falta de resposta do arroz inundado à adubação fosfatada. No entanto, em literaturas mais recentes a fertilização com fosfato favoreceu o aumento na absorção e nas concentrações de N e P em arroz inundado (Biswas e Mahapatra, 1980).

Sing e Ram (1977) ressaltaram a importância da adubação orgânica e fosfatada na solubilidade do fósforo em solos inundados, e sua disponibilidade para as plantas de arroz. As observações foram tomadas em seis estágios de crescimento do arroz (15, 30, 52, 70, 90, 105 dias) nos dois solos, um ácido (pH 6,6) e um alcalino (pH 7,4). A variação na disponibilidade de P afetou a absorção de P pelas plantas, sendo a maior nos solos ácidos, devido a apreciáveis quantidades de P disponível, principalmente quando foi adicionado matéria orgânica + adubo fosfatado. O aumento na disponibilidade de fósforo foi verificado até aos 52 dias de inundação e foi atribuído à solubilidade das formas P-Fe, P-Ca e P-Al e, posteriormente houve a reprecipitação de P-Fe e P-Ca nos solos ácidos e alcalinos. A adição de matéria orgânica aumentou a solubilidade dos P nativo (P-Fe, solos ácidos e P-Ca, solos alcalinos). O fósforo adicionado foi a maior parte mantida na forma P-Fe e P-Ca, para solos ácidos e alcalinos respectivamente.

Bora (1980) estudou a influência de regimes de umidade na absorção de fósforo em solos ácidos e verificou que a absorção de fósforo nativo e adicionado foi trezentas vezes maior em regime de inundação. Os resultados sugerem que as condições de submergência de arroz é uma prática efetiva para aumentar a eficiência da solubilidade de fertilizantes fosfatados em solos ácidos.

Outras espécies de diferentes graus de tolerância foram estudadas com respostas positivas quanto à adubação fosfatada, indicando o aumento do requerimento de fósforo para o melhor desenvolvimento em estresse gasoso.

McKee Jr et al. (1984) avaliaram resposta de mudas de *Pinus tead* L. à inundação e à adubação fosfatada. Com a inundação, o crescimento foi reduzido

em altura, diâmetro e matéria seca total (86%) e a concentração de N diminuiu nas folhas e aumentou nas raízes. Os teores de P, K, Fe e Zn nas folhas não foram alterados com a inundação, enquanto que na raiz, o P foi aumentado e o K reduzido. A aplicação de fósforo a 100mg/kg alterou a tolerância de *Pinus tead* L. á inundação, proporcionando aumento de 391% na matéria seca e menor redução nos teores de N nas folhas. No entanto, não houve alteração nos teores de P, Fe na folha, sendo que o zinco teve seu teor reduzido com a aplicação de P. Nas raízes, a adição de P alterou somente os teores de fósforo. As concentrações de Ca, Mg e Na nas folhas ou raízes não foram alteradas com os tratamentos. As concentrações de Na, Fe e o Zn foram maiores nas raízes que nas folhas. Outra conclusão importante dos autores sobre *Pinus tead* L foi o aumento no requerimento de fósforo no solo com excesso de água.

Holanda (1992) avaliou a resposta do arroz a doses (0, 100, 200 e 400) de fósforo em três solos (GP, O, HG), em sistema de inundação e capacidade de campo (70% e 100%). O ganho de matéria seca foi reduzido com a inundação para os solos GP e O, aumentado no solo HG. As doses de fósforo amenizaram o efeito depressivo da inundação no ganho da matéria seca nos solos GP e O.

O requerimento de fósforo em solos inundados foi estudado por Bolland (1995) através de duas espécies (*Trifolium balansea* e *Trifolium subterraneum*) e dois tipos de solos (Lateritic gravel franco arenoso) de diferentes propriedades químicas. O requerimento de fósforo variou entre os solos. A inundação não afetou a produção e o requerimento de fósforo das espécies para o solo A, enquanto para o solo B a produtividade foi reduzida, exceto quando aplicados altas doses de P. O aumento no requerimento de P foi de 36% maior para manter 90% da capacidade de produção, na mesma densidade de plantio.

A aplicação de fertilizantes fosfatados pode causar alterações na disponibilidade de micronutrientes, Cu, Zn, e Fe, para as plantas em solos inundados. Patra et al. (1981) estudaram o efeito da aplicação de fósforo

(100mg/kg) em solos inundados (70 dias) sobre a disponibilidade de Cu, Zn, Fe, Mn e P. A aplicação de fósforo diminuiu a quantidade de Cu, Zn, Fe e aumentou a de Mn, extraído por DTPA. O aumento foi, também, verificado para P extraído pela solução Bray, no entanto, somente 5% do fósforo aplicado permaneceu na forma extraível, após 10 dias de inundação. A curva de disponibilidade de P no solo apresentou pico máximo nos 20 dias, decrescendo bruscamente a níveis acima do inicial.

Efeitos antagônicos entre o P e Fe, foram estudados (Gupta et al., 1982) na nutrição e crescimento de arroz (IR-8) inundado, num solo franco argilo arenoso (pH-8,0). A aplicação de doses de fósforo (0, 45, 90 mg/kg) reduziu a disponibilidade de Fe e Fe-reduzível, porém não afetou o Fe trocável. No solo, o Fe-reduzível e trocável aumentaram com 60 e 30 dias com declínio aos 90 dias independente das doses de P. O aumento do Fe-reduzível foi maior no solo inundado. Aumentos significantes de produção de matéria seca em arroz foram obtidos em condições de inundação em relação à capacidade de campo. Esse ganho foi aumentado em 108% com a aplicação de 25mg/kg de Fe e 90mg/kg de P. O aumento de Fe nas plantas só foi evidente na dose 45mg/kg de fósforo, sendo que acima dela os teores de Fe na planta reduziram, mesmo com acréscimo de doses de Fe, caracterizando o efeito antagônico do P na absorção de Fe.

Singh e Singh (1983) estudaram o efeito de doses de fósforo (0, 25, 50, 100mg/kg) na absorção de nitrogênio e ferro em arroz em solos inundados (franco siltoso-pH 7,5). A aplicação de fósforo aumentou a matéria seca e produção de grãos. Os teores de N aumentaram com as doses de P, sendo que na dose 100mg/kg houve um ligeiro decréscimo na concentração de N. A absorção de ferro foi reduzida com a aplicação de doses crescentes de fósforo.

A aplicação de fósforo reduziu a absorção e concentração de Zn em arroz inundado (Singh e Singh, 1980). A interação de P e Zn é designada por

muitas culturas, através da indução de deficiência de Zn pelo fósforo, devido à formação de $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, diminuindo a disponibilidade de Zn e P.

De acordo com a bibliografia, pode-se dizer que sobre o tema do presente trabalho há muitas informações, mas nos aspectos ligados a relação solo planta, poucos estudos vêm sendo desenvolvidos em solos tropicais com espécies de importância florestal ou frutífera. Ainda assim, as pesquisas relatadas deixaram contribuições valorosas para pesquisas nesse tema, principalmente no que diz respeito a estudos em química de solos, fisiologia e nutrição de plantas.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMER, F.; SALEH, M. E.; MOSTAFA, H. E. Phosphate behavior in submerged calcareous soils. *Soil Science*, Baltimore, v. 151, n.4, p. 306-311, 1991.
- ANDERSON, A. Forest management strategies by rural inhabitants in the Amazon estuary. In: *Rain forest regeneration and management*. Paris: UNESCO/Parthen Publishing, p. 351-360, 1991. (Man and the biosphere series, v.06).
- ATWELL, B. J.; STEER, B. T. The effect of oxygen deficiency on uptake and distribution of nutrients in maize plants. *Plant and soil*, Netherlands, v.122, p. 1-8, 1990
- BEYROUTY, C. A.; GRIG, B. C.; NORMAN, R. J.; WELLS, B. R. Nutrient uptake by rice in response to water management. *Journal of Plant Nutrition*, v.17, n. 1, p. 39-55, 1994.
- BISWAS, B. C.; MAHAPATRA, I. C. Uptake of plant nutrients by direct seeded rice (Pusa 2-21) under well-drained and waterlogged conditions. *Indian Journal Agronomic*, v.25, n.3, p. 471-478, 1980.
- BOLLAND, M. D. A. Effect of sowing density and flooding on the comparative phosphorus requirement of *Trifolium balansae* and *Trifolium subterraneum*. *Journal of Plant Nutrition*, v.18, n. 9, p. 1825-1843, 1995.
- BORA, P. K. Influence of moisture regimes on phosphorus uptake in acid soil. *International Rice Research Newsletter*, Manila, v. 5, n.1, p. 18, 1980.
- BOVI, M. L. A. Efeito de inibição da água na germinação de sementes da palmeira açai. *Bragantia*, v.49, n. 1, p. 11-22, 1990.
- BOVI, M. L. A.; CARDOSO, M. Germinação de sementes de açazeiro. *Bragantia*, v.35, n. 1, p. XCI-XCVI, 1976.

- BOVI, M. L. A.; GODOY JUNIOR, G.; SÁES, L. A. Pesquisa com gêneros *Euterpe* e *Bactris* no Instituto Agronômico de Campinas. *O Agrônomo*, Campinas, v. 39, n.2, p. 129 – 174, 1987.
- BOVI, M. L. A.; KUPPER, R. B.; GODOY JUNIOR, G. Adubação NPK na formação de mudas de açazeiro. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PALMEIRAS ORNAMENTAIS, 1, Jaboticabal, 1993. *Anais...*, Jaboticabal. 1993, p. 30.
- CALZAVARA, B. B. G. As possibilidades do açazeiro no estuário amazônico. Belém: FCAP, 1972. (Boletim 05)
- CALZAVARA, B. B. G. Açazeiro. Centro de Pesquisa Agropecuário do trópico úmido. Belém: EMBRAPA – CPATU, 1987, 6p. (Recomendações básicas, 3).
- CALZAVARA, B. B. G. Importância do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) como produtor de frutos e palmito para o estado do Paraná. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM PALMITO, 1, Curitiba, 1987. *Anais...* Curitiba: EMBRAPA – CNPAF, 1988. 195p. (Documento, 19)
- CAMPOS, S. D. S.; BOVI, M. L. A.; IADEROZA, M. Caracterização do palmito colhido de várias palmeiras e crescimento sob diferentes condições. 1. Matéria prima. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26, n.5, p. 637-646, 1991.
- CARVALHO, C. J. R.; ROMBOLD, J.; NEPSTAD, D.C.; ABREU, T. D. Relações hídricas do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart) em mata de várzea do estuário do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 6, Belém, 1997. *Resumos...* Belém: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1997. p.274.
- COSTA, A. A. Estudo comparativo do palmito processado da palmeira *Guildema gasipaes* Bailey (pupunha) em relação ao da palmeira *Euterpe oleracea* Mart. (açai) industrializado em Belém do Pará. Belém: UFPA, 1992. 52p. (Trabalho de conclusão de curso para obtenção do título de especialista em tecnologia de alimentos na UFPA)

- COSTA, M. F.; LOUREIRO, M. R.C.; ALBUQUERQUE, C. R. A.; FILO AMARAL, Z.P. **Pespectivas para o aproveitamento racional da palmeira do açai**. Belém: IDESP, 1974. (Série monográfica, 14).
- CRAWFOD, M. M. R. Oxygen availability as an ecological limit to plant distribution. **Advances in Ecological Research**, v.23, p. 93-183, 1992.
- CRAWFOD, M. M. R.; BRAENDLE, R. Oxygen deprivation stress in a changing environment. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, n. 295, p. 145-159, 1996
- DREW, M.C. Effects of flooding and oxygen deficiency on plant mineral nutrition. **Advances in Plant Nutrition**, London, v. 3, p. 115-159, 1988.
- GUPTA, R. K.; SINGH, R. S.; GUPTA, N.; YADAV, A.S. Effect of phosphorus application on the transformation of iron in soil and iron nutrition of rice under two soil moisture regimes. **Journal Indian Society Soil Science**, v. 30, n.1, p. 58-62, 1982
- HAAG, H. P. Carência de macronutrientes e de boro em plantas de açai (*Euterpe oleracea* Mart.). In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ESSÊNCIA NATIVAS, 2, São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Florestal, 1992, v. 1, p. 477-479.
- HAMP, R. S. **A study of the factores effecting the productivity of the açai (*Euterpe oleracea* Mart.) on Combu island, near Belém, nourthern Brazil**. London: University of London, 1991, 69p. (Dissertação – Master of Science in Natural Enviroments and Plant Growth)
- HOLANDA, F, S, R. **Efeito do fósforo na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) sob diferentes níveis de água em solos de várzea de Minas Gerais**. Lavras: ESAL, 1992, 116 p.(Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)
- HOLFORD, I. C. R.; PATRICK JR, W. H. Effects of reduction and pH changes on fosfato sortion and mobility in na acid soil. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 43, p. 292-297,1979.

- HUANG, B.; JOHNSON, W. J.; NESMITH, D. S.; BRIDGES, D. C. Nutrient accumulation and distribution of wheat genotypes in response to waterlogging and nutrient supply. *Plant and Soil*, Netherlands, v. 173, p. 47-54, 1995
- HUANG, B.; JOHNSON, W. J.; NESMITH, D. 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. 271, p. 193-202, 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Anuário estatístico. Rio de Janeiro, 1991
- JARDIM, M. A. G. Aspectos da biologia reprodutiva de uma população natural de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no estuário amazônico. Piracicaba: ESALQ/USP, 1991. 90 p. (Dissertação- Mestrado em Ciências Florestais)
- JARDIM, M. A. G.; ANDERSON, A. B. Manejo de populações nativas de açazeiro no estuário amazônico: resultados preliminares. Curitiba: CNPF, 1987. p. 1-18. (Boletim de Pesquisa Florestal, 15)
- JARDIM, M. A. G.; ROMBOLD, J. S. Effects of adubation and thinning on açai (*Euterpe oleracea* Mart.) fruit yield from a natural population. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi*. Belém, v.10, n. 2, p.283-293. 1994. (Série Botânica)
- JOSEPH, C. V. V.; YELENOSKY, G. Photosynthetic responses of citrus trees to soil flooding. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 81, p.7-14, 1991
- JUGSUJINDA, A.; PATRICK, Jr. W. H. Evaluation of toxic conditions associated with orange symptoms of rice in a flood Oxisol in Sumatra, Indonesia. *Plant and Soil*, Netherlands, v.152, p. 237-243, 1993.
- KOSZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Effect of flooding on water, carbohydrate and mineral relation. In: KOSZLOWSKI, T. T. *Flooding and plant growth*. New York: Academic Press, 1984. p. 165-188.

- KUMAR, S.; OMANWAR, P. K.; SACHAN, R. S.; SHARMA, R.B. Changes in some physicochemical properties and activities of iron and zinc on submergence of some rice soils. *Journal Indian Society of Soil Science*, v.29, n.2, p. 204-207, 1981.
- KUO, S. Phosphorus. In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA AND AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY. *Methods of soil analysis: chemical methods*. USA, 1996. Pt 3, p. 870-919.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. *Avaliação do estado nutricional de plantas, princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARANVILLE, J. W.; DEL ROSÁRIO, D. A.; DALMACIO, S. A.; CLARK, R.B. Variability in growth and nutrient accumulation in sorghum grown in waterlogged soils. *Communicat in Soil Science Plant Anal.*, v. 17, n.10, p. 1089-1108, 1986.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2ed. London: Academic Press, 1997. 889p.
- MCBRIDE, M.B. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1994. 406p.
- MCKEE, Jr. W. H.; HOOK, D. D.; DeBELL, D.S.; ASKEW, J. L. Growth and nutrient status of loblolly pine seedling in relation to flooding and phosphorus. *Soil Science of America Journal*, v. 48, p. 1438-1442, 1984.
- MELLO, J. W. V.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, A. C.; NOVAIS, R. F. Inundação e calagem em solos de várzea: adsorção e precipitação de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 16, p. 319-324, 1992
- 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)*. Lavras: ESAL, 1994. 42 p. (Dissertação – Mestrado em Fisiologia Vegetal)

- MORAES, J. F. V. Efeito da inundação no solo. I. Influência sobre o pH, o potencial de óxido redução e a disponibilidade de fósforo no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 8, p. 93-101, 1973.
- MORAES, J. F. V. Efeito da inundação no solo. I. Influência sobre a absorção de nutrientes e o crescimento do arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 8, p. 103-108, 1973.
- MORARD, P.; SILVESTRE, J. Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: a review. *Plant and Soil*, Netherlands, v.184, p. 243-254. 1996.
- MOREIRA, A. J. F. Efeito da temperatura na conservação e germinação da semente do açaizeiro, *Euterpe oleracea* Mart. Piracicaba: ESALQ, 1989. 79 p.
- MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELD. Cartilha informativa sobre a palmeira do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). Belém. 1995.11 p.
- NEPSTAD, D.; ANDERSON, A; FANZERES, A; SUBLER, S. Conopy water relations of *Euterpe oleracea* in a tidal forest of the Amazon estuary. Belém, p.7.s/a. (mimeografado)
- NOGUEIRA, L. O.; CARVALHO, C. J. R.; MÜLLER, C. H. et al. A cultura do açaí. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1995. 50p. (Coleção plantar, 26).
- OHASHI, S. T.; KEGEYAMA, P. Y.; COSTA, L. G. S. Variação genética entre populações de *Euterpe oleracea* Mart no estuário amazônico. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v.4, pt. 4, p. 1246-1251, 1992.
- OLIVEIRA, C de; VELLOSO, A. C. X.; LEAL, J. R. Processo redox em Glei Húmico do estado do Rio de Janeiro: variações eletroquímicas. Campinas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 17, n.1, p. 17-22, 1993.
- OSBERT, J.; SWEET, G. B.; WHITEHEAD, D.; BUCHAN, G. D. Physiological responses to water stress and waterlogging in *Nothofagus* species. *Tree Physiology*, Canada, v. 15, p.629-638, 1995.

- OSONUBI, O; OSUNDINA, M. A. Stomatal response of woody seedling to flooding in relation to nutrient status in leaves. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 38, n. 192, p. 1166-1173, 1994.
- PATRICK JR., W. H.; MAHAPATRA, I.C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Advance Agronomic*, New York, v. 20, p. 323-359, 1968.
- PATRA, D., HALDAR, M.; MANDAL, L.N. Effect of P, Cu and Zn application on the availability of Zn, Cu, Fe, Mn and P and their uptake by rice in waterlogged soil I - Availability in soil. *Journal Indian Society of Soil Science*, v. 29, n.3, p. 337-342, 1981.
- PELACANI, C. R. **Estratégia de sobrevivência de espécies herbáceas em áreas inundáveis e comportamento fisiológico de espécies arbóreas e arbustivas submetidas à condições de inundação do sistema radicular.** Lavras: ESAL, 1993. 118 p. (Dissertação – Mestrado em Fisiologia Vegetal)
- PELACANI, C. R.; OLIVEIRA, L. E. M.; SOARES, A. M.; CRUZ, J. L. C. **Relações hídricas de algumas espécies florestais em substrato inundado.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 19, n. 4, p. 548-558, 1995
- PEZESHKI, S. R.; PARDUE, J. H.; DeLAUNE, R. D. Leaf gas exchange and growth of flood-tolerant and flood-sensitive tree species under low soil redox conditions. *Tree Physiology*, Canadá, v.16, p. 453-458, 1996.
- PEZESHKI, S.R. Plant response to flooding. In: WILKINSON, R. E.; DEKKER, M. **Plant-environment interactions.** New York, 1994. p. 289-321.
- POLLAK, H.; MATTOS, M.; UHL, C. A profile of palm heart extraction in the Amazon estuary. *Human Ecology (USA)*, v. 23, n. 3, p. 357-385. 1995.
- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, New York, v.24, p. 29-98, 1972.

- PONNAMPERUMA, F. N.; CASTRO, R. V.; LOY, T. A. GUEVARA, E.R.; CANLAS, Z. M.; VALENCIA, C.M.; REALUYO, M. R.; RIEGO, D. C.; SAMANIEGO, S.G. *Soil chemistry. Rep. Int. Rice Res. Inst.*, p. 113-130. 1968.
- PONNAMPERUMA, F. N.; ESTRELLA, M.; TIANCO, E. M.; LOY, T. *Redox equilibria in flooded soils: I. The iron hydroxide systems. Soil Science, U. S. A.*, v. 103, n.6, p. 374-384, 1967.
- RAIJ, V. B. *Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: POTAFOS*, 1987, 142p.
- REDIG, A. P. L. Uma introdução ao manejo do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). *Brasil Florestal, Brasília*, v. 11, n. 47, p. 7-9, 1981.
- SHIMOKOMAKI, M. et al. Estudo comparativo entre os palmitos de sabor doce (juçara-*Euterpe edulis* Mart. e açai - *Euterpe oleracea* Mart.) e de sabor amargo (guariroba - *Sayagrus oleracea* Becc). I - Composição química: peptídeos e aminoácidos livres. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos*, v.6, p. 69 - 80, 1975
- SINGH, M.; SINGH, S. P. Effects of zinc and phosphorus on absorption of iron and nitrogen by submerged paddy. *Soil Science, U. S. A.*, v.135, n.2, p. 71-78, 1983.
- SINGH, M; SINGH, S. P. Zinc and phosphorus interaction in submerged paddy. *Soil Science, U. S. A.*, v. 129, n.3, p. 282-289, 1980.
- SINGH, S.; RAM, P. Change in solubility of phosphorus and its availability to rice plant in the waterlogged soils. *Journal Indian Society Soil Science*, v. 25, n. 2, p. 129-133, 1977.
- STRUDWICK, J.; PRANCE, G. T.;BALICK, M. J. Commercial management for palm heart from *Euterpe oleracea* Mart. (Palmea) in the amazon estuary and forest conservation. New directions in the study of plants and people. *Advances in Economic Botany. USA*, v. 8, p. 241-248. 1990.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. California: Benjamin Cummings, 1991. 565p.
- TELXEIRA, N.T.; MARTINS, J. J. R.; MACIEL, C.A.C.; BOVI, M. L. A. E SERAFINI, F. Deficiência nutricional em mudas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa: SBCS, 1995. p 576-577.
- TELXEIRA, N.T.; OLIVEIRA, M. S.; MACIEL, C.A.C.; BOVI, M. L. A. E SERAFINI, F. Efeito do nitrogênio em mudas de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) em solução nutritiva. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995. **Anais...** Viçosa: SBCS, 1995. p. 782-784.
- TOPA, M. A.; CHEESEMAN, J. M. Maintenance of P^{32} uptake and transport in *Pinus serotina* seedling under hypoxic growth conditions. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 92, p. 171-180, 1994.
- TOPA, M. A.; McLEOD, K. W. Responses of *Pinus serotina* and *Pinus taeda* seedlings to anaerobic solution culture. II. Change in tissue nutrient concentration and net acquisition. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 68, p. 532-539, 1986.
- UZELAC, M. SHIMOKOMAKI, M.; ABDALA, C.; FRANCA, J. F. Estudo comparativo entre os palmitos de sabor doce (juçara-*Euterpe edulis* Mart. e açaí - *Euterpe oleracea* Mart.) e de sabor amargo (guariroba - *Sayagrus oleracea* Becc). II - Compostos fenólicos. **Coletânea do Instituto de tecnologia de Alimentos, Goiânia**, v.6, p. 69 - 80, 1975.
- VARADE, S. B.; LETEY, J.; STOLZY, L. H. Crop adaptation to high soil-water conditions. **California Agriculture**, p. 15, 1970.
- VARTAPETIAN, B. B.; JACKSON, B.M. Plant adaptations to anaerobic stress. **Annals of Botany**, v.79, p.3-20, 1997. (Suplement A).
- VELLOSO, A. C. X. OLIVEIRA, C.; LEAL, J. R. Processos redox em Glei Húmico do estado do Rio de Janeiro: Variação das concentrações de Fe (II) e Fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n.1, p. 27-33, 1993

CAPÍTULO 2: Aspectos fisiológicos de crescimento, trocas gasosas e fluorescência de plantas jovens de açaí em resposta à adubação fosfatada e à inundação em solos de várzea

1 RESUMO

SAMPAIO, L. S. Aspectos fisiológicos de crescimento, trocas gasosas e fluorescência de plantas jovens de açaí em resposta a adubação fosfatada e inundação em solos de várzea. Lavras: UFLA, 1998. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*

O efeito da inundação e do fósforo foi estudado em plantas jovens de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) em dois solos de várzea (O e GP). O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciências do Solo da UFLA, em 1997. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, fatorial 4x2, com quatro repetições. Foram adicionados ao solo quatro doses de fósforo (0, 150, 300 e 450mgP/kg de solo). A inundação ocorreu durante 90 dias, com 240 dias após o transplantio das mudas. O efeito da inundação promoveu alterações nas características fisiológicas de crescimento, de trocas gasosas e de fluorescência em plantas jovens de açaí. Com a inundação houve redução na fotossíntese líquida (46,7%, solo O), na condutância estomática (54,5% e 50%), na transpiração (55,5% e 74,2%), na concentração de CO₂ na câmara subestomática (85,6% e 78,4%) e fluorescência, no solo O e GP respectivamente. Ganhos em matéria seca de raiz e parte aérea, e altura de plantas foram reduzidos, respectivamente, nos solos O e GP, a 70% e 58%, a 82% e 71%, a 85% e 90% com a inundação. No diâmetro de coleto, reduções só foram observadas no solo O, com as doses 300 e 450P. Apesar do efeito depressivo, a espécie apresentou tolerância aos 90 dias de inundação. A adição de fósforo no solo diminuiu os efeitos negativos da inundação, principalmente no solo O, favorecendo melhor desenvolvimento radicular, com raízes de crescimento geotropismo negativo. A dose de fósforo 300P no solo O inundado ofereceu ganhos máximos em crescimento de plantas jovens de açaí, superando até as plantas em solo não inundado com a mesma dose. O solo O favoreceu melhores ganhos em crescimento que no solo GP. Não foi verificado efeito da interação dos fatores para o solo GP e sim efeitos isolados dos tratamentos. O requerimento nutricional das plantas foi maior em solo inundado e maiores doses de fósforo foram exigidas para melhor desenvolvimento das plantas, principalmente na formação de novas raízes, importantes na busca de oxigênio e sobrevivência da espécie.

* Comitê de Orientação: Janice Guedes de Carvalho (Orientadora); Ângela Maria Soares.- UFLA; Paula Ângela Umbelino Guedes Alcoforado (UFAL).

2 ABSTRACT

Physiological aspects of growth, gas exchanges and fluorescence in young plants of assai in response to phosphorous fertilization and flooding in lowland soils*

The effect of flooding and of phosphorous were studied on young plants of assai (*Euterpe oleracea* Mart) in two lowland soils (O and GP). The experiment was conducted in greenhouse at the Soil Science Department-UFLA, in 1997. The experimental design was a completely randomized, 4x2 factorial, with four replications. Four dosages of phosphorous (0, 150, 300 and 450mgP/kg of soil) were added to the soils. Flooding was established for 90 days, 240 days after transplanting the cuttings to O and GP soils. The effect of flooding promoted alterations in the physiological characteristics of growth, gas exchanges and fluorescence in young plants of assai. With flooding, there was reduction in net photosynthesis (46.7%, O soil), stomata conductance (54.5% and 50%), transpiration (55.5% and 74.2%), CO₂ concentration in the substomatal chamber (85.6% and 78.4%) and fluorescence, in the O and GP soil, respectively. Gains in root and shoot dry matter and plant height were reduced, respectively in the O and GP soil to 70%, and 58%, 82% and 71%, 85% and 90% with flooding. In stem diameter, reductions were only observed in the O soil, with the use of 300 and 450mgP/kg. Even with the depressive effect of flooding, this species presented tolerance at 90 days of flooding. Addition of phosphorous in the soil decreased the negative effects of flooding, mainly in the O soil, favoring better root system development, with roots of negative geotropism growth. The phosphorous dosage of 300mg/kg used in the flooded O soil offered maximum gains in growth of young plants when compared with plants grown on unflooded soil using the same dosage. The O soil favored better gains in growth than the GP soil. Although single effects were observed, no effect of factor interation for the GP soil was verified. Plants nutrient requirement was higher in flooded soil, and greater of phosphorous dosage were required for better plant development, mainly for the formation of new roots, which are important for the search of oxigen and the species survival.

* Guidance Committee: Janice Guedes de Carvalho (Orientadora); Ângela Maria Soares.-UFLA; Paula Ângela Umbelino Guedes Alcoforado (UFAL).

3 INTRODUÇÃO

A inundação dos solos   um fator limitante para o crescimento de plantas. Em solos inundados há redução no crescimento de raizes e parte aérea, no acúmulo de matéria seca e no rendimento das culturas. A inundação também pode causar prejuízos na absorção de água e nutrientes, altera es na taxa fotossintética e rela es hormonais entre raiz e parte aérea (Kozlowski, 1984; Jackson e Drew, 1984; Pezeshki, 1994).

O crescimento e desenvolvimento de raizes e parte aérea são direta e indiretamente afetados pela deficiência de oxigênio no solo. Tais efeitos variam segundo a espécie, est dio fisiológico da planta e a duração do estresse (Pezeschki, 1994), além das propriedades do solo (quantidade e qualidade de matéria orgânica, pH, teores de compostos reduzíveis) e da temperatura do solo (Marschner, 1997).

Várias causas são atribuídas para justificar as disfunções que levam a redução no crescimento e desenvolvimento de plantas em solos inundados. A manutenção de energia metabólica seria a causa primária (Fox et al, 1994); o desbalanço nutricional e hormonal e suas rela es com o crescimento de raizes e parte aérea também são bastantes documentados em plantas crescendo na falta de oxigênio (Pezeschki, 1994).

A inadequada aeração do solo gerada pela inundação afeta a mineralização e solubilidade de substâncias minerais nos solos, levando a formação de compostos tóxicos nas plantas. Os danos causados pela inundação podem muitas vezes ser atribuídos mais a mudanças na concentração de solutos na água do solo do que ao efeito direto da falta de O₂ (Drew e Lynch, 1980, citado por Huang et al. 1994). Nas raizes altas, concentra es de etileno, de compostos reduzidos como Mn²⁺, Fe²⁺, NO²⁻, S⁻, e outros compostos a níveis

tóxicos são danosos. Outros processos incluem o balanço iônico, as relações hídricas e a produção de reguladores de crescimento (Pezeschki, 1994).

Em resposta às disfunções nas raízes, muitas plantas desenvolvem sintomas de injúrias na parte aérea. O murchamento, senescência e epinastia das folhas são, provavelmente, os primeiros sintomas. A falta de suprimento de água, nutrientes inorgânicos e hormônios (citocinina, giberilina) para a parte aérea em taxas requeridas para o crescimento potencial o acúmulo de compostos reduzidos a níveis tóxicos e o aumento na concentração de ABA, ACC e etileno são responsáveis pelos sintomas de injúria e redução de crescimento da parte aérea. (Jackson e Drew, 1984; Pezeschki, 1994, Marschner, 1997).

O fechamento de estômatos, parcial ou total, é uma das primeiras respostas da planta a inundação (Kolzlowski e Pellard, 1984). Em seguida com o fechamento de estômatos, a fotossíntese e a transpiração são drasticamente reduzidas (Morard e Silvestre, 1996). Osbert et al. (1995) verificaram a redução na fotossíntese (A) e na condutância estomática (gs) em *Nothofagus solandri* e *Nothofagus menziesii*, de 60 e 70%, e de 65% e 80%, com oito dias de inundação, respectivamente.

Além da limitação da difusão dos gases através dos estômatos, a redução da fotossíntese pode também ocorrer devido a processos metabólicos não associados ao comportamento estomático, tais como a produção de etileno, a degeneração da clorofila, a redução da atividade enzimática que muito é afetada por mudanças das condições do meio como é o caso da clorofilase e da rubisco (temperatura, falta d'água, poluição do ar), a senescência prematura das folhas e deficiência da citocinina. O acúmulo de sulfito nas folhas também afeta a fotossíntese, devido a alterações na atividade de enzimas, rompimento de reações e/ou fotofosforilação (Pezeshki, 1994).

As plantas respondem diferentemente ao estresse gasoso segundo a mudanças fisiológicas, metabólicas e anatômicas. A adaptação das plantas a

hipoxia ou anoxia pode seguir dois rumos. Algumas plantas tolerantes têm características morfológicas e anatômicas específicas para sobreviver e funcionar sob condições de inundação, como a formação de aerênquimas e raízes adventícias que oxigenizam a rizosfera evitando o estresse gasoso. Adaptações a metabólicas, como a diminuição na taxa metabólica, alterações nas rotas metabólicas e remoção de produtos tóxicos, são importantes na manutenção da integridade de membranas e nível energético das células de plantas que convivem com o déficit de oxigênio (Crawford, 1996).

Além do fator genético, o suprimento de nutrientes via solo pode modificar as respostas de plantas à inundação. Drew (1988) considera a nutrição um ponto central na resposta das plantas à inundação e relata que o crescimento de plantas ou sua sobrevivência pode estar relacionada ao suprimento adicional de nutrientes. O nitrogênio é bastante enfatizado pelo autor, entretanto, alguns trabalhos mostram a influência de outros nutrientes. Em *Pinus*, a aplicação de fósforo proporcionou do aumento em crescimento em sistema inundado (Hook et al., 1983). Huang et al. (1994) comprovaram, em seu trabalho, o papel dos nutrientes em aliviar os efeitos adversos causados pela inundação. Em trigo, com 17 dias de estresse de oxigênio, a utilização do dobro da concentração da solução de Hoagland de ½ força para toda força reduziu a taxa de declínio da fotossíntese, conteúdo de clorofila, e aumentou o crescimento e o teor de N na matéria seca da parte aérea.

Marshener (1997) também ressalta a importância da aplicação de nutrientes para aliviar ou prevenir sintomas de injúria. No entanto, o autor alerta que apesar da importância do nitrogênio, este não pode ser superestimado ou generalizado, devido a absorção de outros nutrientes também ser afetada pela inundação.

Pesquisas sobre respostas de plantas à falta de oxigênio vêm sendo motivadas devido a problemas de cultivo, é o caso da soja (*Glycine max*)

(Mohanty et al., 1993), do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Maranville et al., 1986), do trigo (*Triticum aestivum*) (Huang et al., 1995), do milho (*Zea mays* L.) (Atwell e Steer, 1990) e principalmente do arroz (*Oryza sativa*), uma das mais importantes culturas do mundo, cultivada em solo inundado, que não está isenta de danos causados pela anoxia (Vartapetian e Jackson, 1997). Também têm sido estudadas outras espécies de importância econômica florestal, como as do gênero *Pinus* (Hook et al., 1983; Topa e McLeod, 1986) e *Eucalyptus* (Akilan, 1997) ou frutífera, como *Citrus* (Joseph e Yelenosky, 1991) e açaí (*Euterpe oleracea* Mart) (Nepstad, s/d; Menezes Neto, 1994, Pelacani, 1995; Carvalho et al., 1997).

Das espécies citadas, o açaí, objeto da presente pesquisa, é uma espécie típica do estuário do rio Amazonas, sendo encontrada predominantemente em áreas periodicamente inundadas. Devido a sua importância econômica e social, e sua adaptação a ambientes inundados, é de interesse científico para estudos bioquímicos, fisiológicos, anatômicos e de nutrição em solos inundados.

Nos estudos fisiológicos, avaliações sobre o fluxo de gases entre as plantas e atmosfera e a fluorescência são importantes em precisar alterações na fotossíntese em tecidos intactos de plantas sob estresse. As trocas gasosas envolvem, principalmente, a concentração de CO₂ absorvido e vapor d'água e podem prever, parcialmente, reações bioquímicas da fotossíntese. A fluorescência da clorofila tem sido um indicador usual para avaliações do funcionamento do sistema de transporte de elétrons fotossintético, implicando em capacidade e produção de energia pelo fotossistema (Schreiber et al., 1995).

O presente estudo tem por objetivo avaliar respostas fisiológicas através das características de crescimento e biofísicas (trocas gasosas e fluorescência) de plantas jovens de açaí em dois solos de várzea sob inundação e doses crescentes de fósforo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo (DSC) da Universidade Federal de Lavras (DCS/UFLA) no período de janeiro de 1997 a janeiro de 1998. Utilizou-se amostras da camada de 0-20cm de profundidade de dois solos de várzea de Minas Gerais, de um solo Orgânico (O) do município de Lambari e de um solo Glei Pouco Húmico (GP) do município de Lavras, constituindo dois experimentos estabelecidos com intervalo de um mês.

As amostras foram peneiradas (malha de 2mm), secadas ao ar e caracterizadas fisicamente. A análise química apresentou, respectivamente, o seguinte resultados para O e GP: pH em água (relação 1:2,5 para solo:água), 5,1 e 5,3; Ca^{+2} , 17 e 13mmol/dm³, Mg^{+2} , 10 e 10mmol/dm³ e Al^{+3} , 18 e 11mmol/dm³ (extraídos em KCl 1N); P, 13 e 15mg/dm³, K, 80 e 78 mg/dm³ (extraídos pelo HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025 N); e H+Al (tampão SMP), 137 e 70mmol/dm³, carbono orgânico, 3,7 e 1,6 (extraído por Na₂Cr₂O₇ 2mol/L + H₂SO₄ 5mol/L; e matéria orgânica (carbono orgânico x 1,6), 6,3 a 2,7. A análise granulométrica para ambos solos, O e GP, apresentaram, respectivamente, 28 e 50dag/kg de areia, 53 e 30dag/kg de silte e 19 e 20dag/kg de argila.

A unidade experimental foi constituída de baldes plásticos com capacidade de 7 L contendo 6kg de terra, com uma planta por balde. As mudas de açaí, com aproximadamente 20cm, foram transplantadas para os baldes após os solos terem recebido as dosagens de fósforo e mantidas com a umidade de solo a 70% do volume de poros. O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro doses de fósforo (0, 150, 300 e 450mgP/kg) e dois regimes de umidade (inundado e não inundado). A inundação foi estabelecida, 240 dias após o

transplântio das mudas, e mantida durante 90 dias, mantendo-se uma lâmina d'água de ± 3 cm. No tratamento não inundado foi mantido um regime de umidade a 70% do volume total de poros.

Os macro e micronutrientes foram supridos segundo a recomendação de Malavolta (1980), com algumas alterações para o K, Mg e Ca. Foram adicionados 500mg/kg de N (uréia), 350mg/kg de potássio (cloreto de potássio), 160mg/kg de cálcio (sulfato de cálcio), 60mg/kg de Mg (sulfato de magnésio), 0,5mg/kg de B (ácido bórico), 1,5mg/kg de Cu (sulfato de cobre), 0,1mg/kg de Mo (molibdato de amônio), 5mg/kg de Zn (sulfato de zinco).

As doses de N e K foram parceladas em 5 e 4 vezes, respectivamente. A primeira dose (100mgN/kg e 50mgK/kg de solo) foi aplicada no transplântio das mudas de açaí e as posteriores aplicações foram feitas nos solos O e GP, respectivamente, com 5 e 4 meses (50mgK/kg), 7 e 6 meses (100mgN/kg e 100mg K/kg), 8 e 7 meses (100mgN/kg e 50mgK/kg), 9 e 8 meses (100mgN/kg e 50mgK/kg), e 10 e 9 meses (100mgN/kg e 50mgK/kg).

Durante o período de inundação, aos 64 (O) e 36 (GP) dias, foram feitas avaliações biofísicas de quatro plantas para cada tratamento: fotossíntese líquida, condutância estomática (gs), transpiração (t) e eficiência fotoquímica do fotossistema II.

As trocas gasosas foram avaliadas através do IRGA (Infra Red Gas Analyser), modelo LCA4 da ADC (Analytical Development Company LTDA), com uma câmara larga de área $6,25\text{cm}^2$, e a eficiência fotoquímica do fotossistema II, através do fluorômetro PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, Norkfolk, UK). As avaliações foram realizadas no mesmo dia das 9 às 11 horas, para os dois solos, nas seguintes condições de meio: radiação fotossinteticamente ativa média, $293,5 \pm 59,7\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, temperatura da câmara, $27,2 \pm 1,3^\circ\text{C}$.

A eficiência fotoquímica do fotossistema II, determinada através da razão (Fv/Fm), foi calculada com as medidas de fluorescência inicial (Fo) e fluorescência máxima (Fm), obtidas com o fluorômetro, e fluorescência variável (Fv) calculada pela diferença da Fm e Fo.

As variáveis de crescimento, matéria seca da raiz, parte aérea, altura, e diâmetro do coleto, foram determinadas no fim do período experimental. As plantas de cada tratamento foram medidas em altura e diâmetro do coleto através do auxílio de régua graduada e do paquímetro, segundo Benincasa, (1988). Posteriormente, a parte aérea e raízes foram separadas, lavadas em água corrente e destilada, e colocadas para secar a $\pm 70^{\circ}\text{C}$, em estufa de ventilação forçada de ar até o peso constante, obtendo-se desta forma o peso da matéria seca da raiz e da parte aérea.

Posteriormente, os dados foram submetidos à análise estatística. O teste F (NMS < 0,05%) foi utilizado para determinar a significância dos fatores estudados. O efeito das doses de fósforo e da interação inundação x fósforo foi estudado através de regressão polinomial e, para comparação das médias do fator doses de fósforo dentro de inundação, utilizou-se o teste de Tuckey (NMS < 0,05%).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características fisiológicas

O resumo dos níveis de significância e os valores médios das variáveis das características fisiológicas estão na Tabela 1 e 2, respectivamente.

TABELA 1. Significância estatística para a fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (T) e eficiência fotoquímica do PSII (Fv/Fm) de plantas jovens de açaí, no solo O e GP, em função das doses de fósforo, da inundação e das suas interações.

SOLO O				
Causa de variação	A	GS	T	Fv/Fm
Fósforo (A)	ns	ns	ns	ns
Inundação (B)	*	**	**	ns
A*B	*	ns	ns	ns
SOLO GP				
Fósforo (A)	ns	ns	ns	ns
Inundação (B)	ns	**	**	**
A*B	ns	ns	ns	ns

* e ** representam valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns representa valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade.

Como pode ser visto na Tabela 1, o efeito da inundação dos solos sob diferentes doses de fósforo nas características fisiológicas de plantas jovens de açaí tiveram comportamento semelhante para os solos O e GP, exceto para a fotossíntese e para a eficiência fotoquímica da fotossíntese.

TABELA 2. Valores médios (4 repetições) da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (T) e eficiência fotoquímica do PSII (Fv/Fm) de plantas jovens de açaí nos solos O e GP em função das doses de fósforo e inundação.

SOLO O - INUNDADO				
P	A	gs	T	Fv/Fm
mg/kg	$\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	$\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	$\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	
0	2,00	0,04	0,73	0,78
150	3,69	0,07	0,57	0,78
300	3,69	0,07	0,88	0,74
450	3,51	0,06	1,00	0,75
média	3,39	0,06	0,80	0,76
NÃO INUNDADO				
0	4,46	0,13	1,58	0,78
150	2,88	0,08	1,22	0,81
300	5,55	0,14	1,66	0,79
450	4,23	0,10	1,30	0,80
média	4,28	0,11	1,44	0,80
SOLO GP INUNDADO				
P	A	gs	T	Fv/Fm
mg/kg	$\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	$\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	$\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	
0	2,81	0,04	0,76	0,79
150	2,41	0,03	1,01	0,77
300	3,51	0,05	1,08	0,74
450	4,05	0,06	0,97	0,74
média	3,20	0,05	0,96	0,76
NÃO INUNDADO				
0	2,33	0,07	1,02	0,85
150	3,98	0,09	1,23	0,83
300	3,69	0,11	1,43	0,80
450	3,99	0,13	1,48	0,82
média	3,50	0,10	1,29	0,83

5.1.1 Características biofísicas

A fotossíntese de plantas jovens de açaí no solo O inundado foi reduzida, em média, a 46,7% na ausência de fósforo. Essa redução foi menor quando adicionou-se ao solo doses crescentes de fósforo (Figura 1), chegando a zero nas doses 150 e 450mgP/kg de solo.

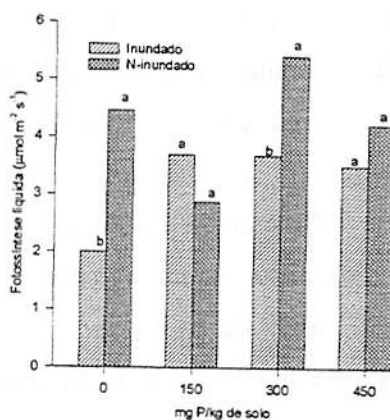


FIGURA 1. Efeito da inundação e doses de fósforo na fotossíntese líquida do açaí, média de 4 plantas. Médias seguidas de letras distintas nas doses de fósforo diferem entre si ao nível de 5% de significância

A fotossíntese líquida do açaí, em solo GP, não sofreu variação significativa com o efeito dos tratamentos, apresentando valor médio de $3,34 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, menor que o valor encontrado no solo O, $3,81 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$.

A condutância estomática e a transpiração foram reduzidas com a inundação a 54,5% e 50%, 55,5% e 74,2%, em plantas crescendo no solos O e GP inundados, respectivamente.

A razão F_v/F_m não sofreu variação com o efeito dos tratamentos, apresentando valor médio 0,78 para solo O. Já no solo GP, o índice F_v/F_m reduziu de 0,83 para 0,76 com a inundação.

Em solos inundados é conhecida a redução na fotossíntese, na condutância estomática e na transpiração (Kolzlowski e Pellardy, 1984; Morard e Silvestre, 1996; Osbert et al., 1995, Pezeshki, 1994). No presente estudo, a redução na fotossíntese foi acompanhada pela redução da condutância estomática. Segundo Pezeshki (1994), há uma relação direta entre fotossíntese e condutância estomática. A redução na condutância estomática é uma limitação da fotossíntese, acarretando também, perdas na transpiração e concentração de CO_2 . Osbert et al. (1995) verificaram a redução na fotossíntese (A) e na condutância estomática (gs) em *Nothofagus solandri* e *Nothofagus menziesii*, respectivamente, de 60 e 70%, e de 65% e 80%, com oito dias de inundação. Morard e Silvestre (1996) relacionaram a redução na transpiração com o fechamento de estômatos. Vários são os processos que explicam o fechamento de estômatos em plantas sob estresse de inundação: a queda no potencial hídrico das folhas, o aumento na concentração de ABA e as altas concentrações de etileno (Hook et al., 1983; Pelacani et al., 1995; Pezescki, 1994).

Em trabalhos desenvolvidos com palmeiras de açai adultas em habitat natural, a redução na condutância estomática não foi verificada com efeito da inundação (Carvalho et al., 1997; Nepstad, s/d), estando mais condicionada a radiação solar que ao déficit de pressão de vapor d'água da atmosfera e altura de maré. A discordância desses resultados aqui encontrados pode ser devido a idade fisiológica das plantas e o ambiente em que se desenvolvem, isto é, plantas adultas em ambiente natural e plantas jovens em casa de vegetação. Carvalho et al. (1997) ressaltam a baixa condutância estomática máxima ($0,16 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) do açai em relação a outras palmeiras, sendo que valores próximos foram encontrados no presente estudo.

As alterações na fotossíntese em plantas jovens de açaí, no solo O inundado durante 60 dias, podem ser atribuídas a mudanças na fase bioquímica da fotossíntese, visto que a razão F_v/F_m não variaram com a inundação, indicando a mesma emissão de fluorescência, isto é, a inundação não afetou a eficiência fotoquímica do PSII. Em se tratando de uma espécie tropical, vale ressaltar que a baixa radiação fotossinteticamente ativa ($293,5 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) na casa de vegetação pode ter contribuído para a ausência de resposta da fluorescência em plantas de solos inundados. Entretanto, a redução da condutância estomática e da concentração de CO_2 pode ter condicionado a queda da fotossíntese líquida. As doses de fósforo contribuíram para reduzir as perdas na fotossíntese, concordando com alguns autores que ressaltam o papel dos nutrientes em aliviar os efeitos depressivos da inundação (Drew, 1988; Marschener, 1997; Huang et al., 1994)

As alterações na fotossíntese não foram verificadas em plantas jovens de açaí crescendo no solo GP inundado por 30 dias, apesar de, também, neste caso haver redução na condutância estomática e na transpiração. Até a fluorescência emitida foi reduzida com a inundação, indicando alteração na fotoquímica da fotossíntese. Possivelmente, o tempo de inundação, inferior ao do solo O, não foi suficiente para as possíveis variações.

5.1.2 Características de crescimento

Na Tabela 3 e 4 são mostrados, respectivamente, os níveis de significância dos fatores estudados e os valores médios das variáveis matéria seca de raiz (MSRA) e parte aérea (MSPA), altura de plantas e diâmetro do coleto.

TABELA 3. Significância estatística para matéria seca de raiz (MSRA), matéria seca de parte aérea (MSPA), altura e diâmetro de coleto de plantas jovens de açaí, no solo O e GP, em função das doses de fósforo, da inundação e das suas interações.

SOLO O				
Causa de variação	MSPA	MSRA	Altura	DiaColeta
Fósforo (A)	**	**	**	**
Inundação (B)	**	**	**	ns
A*B	**	**	**	**
SOLO GP				
Fósforo (A)	**	**	**	**
Inundação (B)	**	**	**	ns
A*B	ns	ns	*	ns

* e ** representam valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns representa valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade.

A inundação alterou significativamente os rendimento da matéria seca de raiz e parte aérea e altura das plantas. Na ausência de fósforo, a matéria seca de raiz, de parte aérea e altura de plantas jovens de açaí crescendo nos solos O e GP foram reduzidas, respectivamente, a 57,5% e 47,5%, 53,7% e 42,6%, 81,4% e 78,5%. Não foi observado o efeito das doses de fósforo sobre o diâmetro do coleto. As maiores proporções de redução no crescimento foram observadas para o solo GP, o qual também apresentou menores rendimentos médios das variáveis.

TABELA 4. Valores médios (4 repetições) da matéria seca de raiz (MSRA), matéria seca de parte aérea (MSPA), altura e diâmetro de coleto de plantas jovens de açaí no solo O e GP, em função de doses de fósforo e inundação.

SOLO O - INUNDADO				
P	MSPA	MSRA	Altura	Dia. Coleto
mg/kg	g		cm	
0	4,27	2,62	43,67	1,71
150	3,72	2,45	38,25	1,37
300	16,70	8,07	68,00	2,51
450	13,12	5,87	61,67	2,29
média	9,45	4,75	52,90	1,97
NÃO INUNDADO				
0	7,43	4,88	53,62	1,56
150	7,97	4,71	57,5	1,65
300	9,85	6,02	58,67	1,84
450	20,82	11,4	78,33	2,71
média	11,52	6,75	62,03	1,94
SOLO GP - INUNDADO				
P	MSPA	MSRA	Altura	Dia. Coleto
mg/kg	g		cm	
0	3,02	1,68	43,00	1,26
150	8,23	3,70	59,67	2,14
300	7,34	3,26	53,63	1,97
450	8,89	4,38	4,38	1,93
média	6,87	3,26	40,17	1,83
NÃO INUNDADO				
0	6,36	3,94	54,75	1,42
150	10,80	6,26	66,33	2,12
300	9,80	5,25	59,27	1,84
450	11,96	7,00	64,00	2,11
média	9,73	5,61	61,09	1,87

O aumento crescente de doses de fósforo proporcionou maior ganho em matéria seca, altura e em diâmetro do coleto, chegando a aumentos de 200% e 300% na matéria seca de raiz e parte aérea, respectivamente, 40% em ganho na altura de plantas e 61% no diâmetro do coleto, na dose 300mgP/kg para solo O inundado. Esse efeito positivo do fósforo no crescimento foi também verificado para as plantas jovens de açaí no solo GP, independente do efeito da inundação, proporcionando acréscimo de 100% na matéria seca de raiz, 120% na matéria seca de parte aérea, 47% em altura de plantas e 49% no diâmetro do coleto na dose 450mgP/kg.

Observou-se, na Tabela 3, o comportamento diferenciado das medidas de crescimento entre os dois solos quanto ao efeito da interação dos fatores estudados, exceto para a altura de plantas, reforçando a importância do fator solo no crescimento de plantas quanto aos efeitos da inundação e doses de fósforo.

a) Solo O

Os rendimentos acumulados em MSRA e MSPA de plantas jovens de açaí no solo O, encontram-se na Figura 2 e na Tabela 5, onde podem ser melhor verificados os ganhos na produção de matéria seca com as doses crescentes de P.

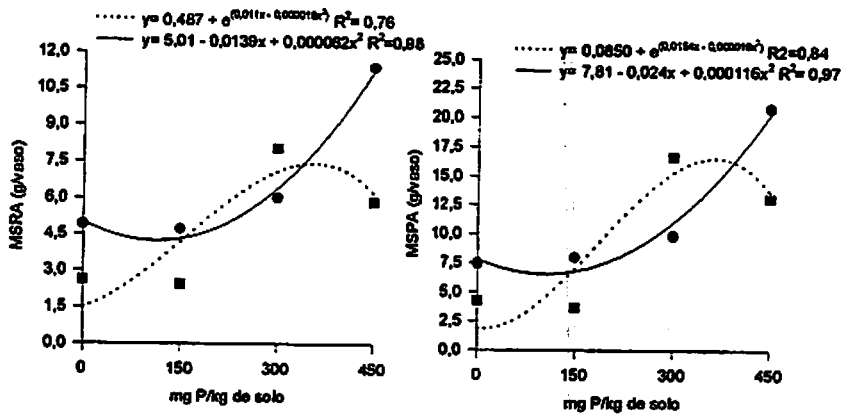


FIGURA 2. Matéria seca de raiz (MSRA) e matéria seca de parte aérea (MSPA) do açaí no solo O inundado (---; ■) e não inundado(—; ●), em função do aumento de doses de fósforo.

De acordo com a Figura 2, o aumento de MSRA e MSPA ocorreu segundo um modelo quadrático no solo O não inundado, e exponencial no solo O inundado. O ponto de mínimo acúmulo de MSRA no solo não inundado ($y = 5,01 - 0,0139x + 0,000062x^2$, $R^2 = 0,98$) foi de 4,23g com a dose de 112mgP/kg de solo e o ponto de máximo acúmulo de MSRA no solo inundado ($y = 0,487 + e^{(0,011x - 0,000016x^2)}$, $R^2 = 0,76$) foi de 7,33g com a dose de 344mgP/kg de solo. Na MSPA, o ponto de mínimo acúmulo no solo não inundado ($y = 7,81 - 0,024x + 0,000116x^2$, $R^2 = 0,97$) foi de 6,56g com a dose 104mgP/kg de solo, e de máximo acúmulo de MSPA no solo inundado ($y = 0,850 + e^{(0,0154x - 0,000021x^2)}$, $R^2 = 0,84$) foi de 16,31g com a dose 360mgP/kg de solo.

TABELA 5. Efeito da inundação e do fósforo nas variáveis de crescimento do açai, no solo O.

	Doses de P (mg/kg)			
	0	150	300	450
MSRA (g)				
Não Inundado	4,89 a	4,71 a	6,02 b	11,40 a
Inundado	2,62 b	2,45 b	8,07 a	5,87 b
MSPA (g)				
Não Inundado	7,43 a	7,97 a	9,84 b	20,82 a
Inundado	4,27 b	3,72 b	16,70 a	13,12 b
Altura (cm)				
Não Inundado	53,62 a	57,50 a	58,67 b	78,33 a
Inundado	43,67 b	38,25 b	68,00 a	61,67 b
Diâmetro do coleto (cm)				
Não Inundado	1,56 a	1,65 a	1,85 b	2,71 a
Inundado	1,71 a	1,37 a	2,51 a	2,29 b

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si ao nível de 5% de significância.

As variáveis altura e diâmetro do coleto também tiveram seus valores aumentados com as doses crescentes de fósforo no solo O com e sem inundação. O aumento ajustou-se ao modelo quadrático para o solo não inundado em ambas as variáveis, e exponencial e linear crescente para o solo inundado, na altura e diâmetro do coleto, respectivamente (Figura 3). A altura de plantas apresentou ponto mínimo no solo não inundado ($y = 54,68 - 0,0287x + 0,00017x^2$, $R^2 = 0,94$) de 53 cm com a dose 81mgP/kg de solo e máximo ($y = 36,44 + e^{(0,019x - 0,000026x^2)}$, $R^2 = 0,82$) de 68cm com a dose 363mgP/kg de solo no solo inundado. Em solo O não inundado, o diâmetro do coleto alcançou ponto mínimo ($y = 1,59 - 0,0015x + 0,000086x^2$, $R^2 = 0,98$) de 1,53cm com a dose de 85mgP/kg de solo.

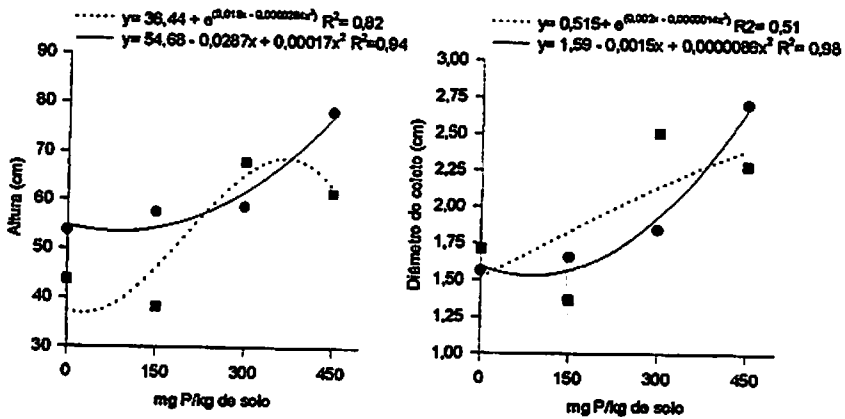


FIGURA 3. Altura e diâmetro do coleto do açaí no solo O inundado (---; ■) e não inundado (—; ●) em função de doses de fósforo.

É importante destacar que no solo O a dose de 300mgP/kg proporcionou melhor resposta com o solo inundado, chegando a superar em crescimento as plantas em solo não inundado, em 25,4% da MSRA, 41,07% da MSPA, em 13,73% da altura e 25,69% do diâmetro do coleto (Tabela 3).

b) Solo GP

O efeito dos tratamentos para os rendimentos de MSRA e MSPA do açaí não apresentou interação significativa fósforo x inundação, e sim efeitos isolados dos dois fatores.

A MSRA apresentou valores médios de 3,26 e 5,61g/vaso e a MSPA, de 6,87 e 9,73g/vaso, para tratamento inundado e não inundado.

O efeito de doses de fósforo (Figura 4) foi linear crescente para MSRA ($y = 3,24 + 0,0053x$, $R^2 = 0,69$) e quadrático para MSPA ($y = 5,11 + 0,0257x -$

$0,000033x^2$, $R^2= 0,81$), com ponto máximo de 10,12g na dose 389Pmg/kg de solo.

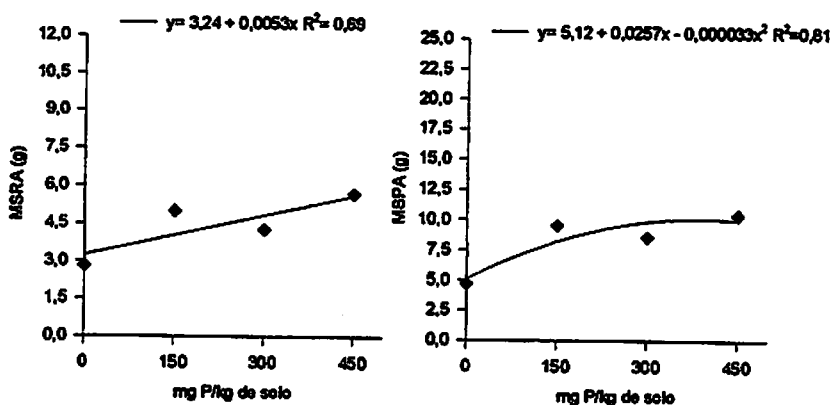


FIGURA 4. Matéria seca de raiz (MSRA) e matéria seca de parte aérea (MSPA) do açaí no solo GP, em função de doses de fósforo.

A altura de plantas apresentou interação fósforo x inundação significativa, variando segundo o modelo linear crescente (Figura 5) para o solo inundado. Apesar da significância, não foi encontrado um modelo representativo, que descrevesse o comportamento da altura de plantas em solo não inundado, com coeficiente de correlação acima de 0,5 ou desvio não significativo do modelo, sendo então apresentados somente os dados médios, que podem ser observados na Tabela 6.

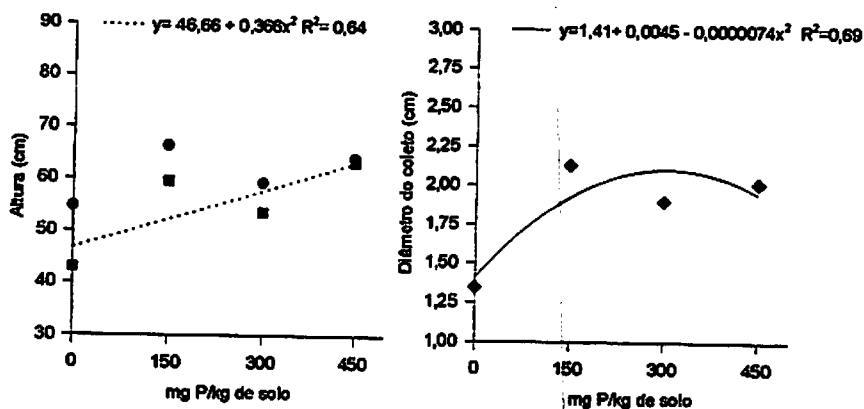


FIGURA 5. Variação da altura do açai em função de fósforo no solo GP inundado (—;■) e não inundado (●); e variação do diâmetro do coleto para efeito do fósforo (—;◆).

Conforme a tabela abaixo, as médias para altura de plantas diferiram estatisticamente para todas as doses, destacando o tratamento não inundado, exceto na dose 450mgP/kg onde não houve diferença estatística.

TABELA 6. Efeito da inundação e do fósforo na altura de plantas da palmeira açai crescendo no solo GP.

	Doses de P (mg/kg)			
	0	150	300	450
	Altura (cm)			
Não Inundado	54,7 a	66,3 a	59,3 a	64,0 a
Inundado	43,0 b	59,6 b	53,6 b	63,3 a

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si ao nível de 5% de significância.

O diâmetro do coleto apresentou variação somente com efeito do fósforo. Na Figura 5, pode ser observado o modelo quadrático ($y = 1,41 + 0,0045x - 0,0000074x^2$, $R^2=0,69$) da variável diâmetro do coleto, apresentando ponto máximo de 2,11cm na dose de 305mgP/kg.

Pode-se dizer que, mesmo sendo uma planta nativa de ambientes inundados, com mecanismo de adaptação através de mudanças morfológicas, anatômicas e metabólicas (Granville, 1974; Nepstad, s/d; Menezes Neto, 1994; Carvalho et al., 1997), a palmeira de açaí apresentou redução no crescimento quando inundada por 90 dias. Isto sugere que mesmo plantas tolerantes não estão isentas de danos com a inundação, concordando com trabalhos que documentam a redução do crescimento em espécies tolerantes. Em arroz, Kludze et al. (1993) observaram redução de matéria seca de raiz e parte aérea de 81,3% e 77%, quando incubados em solo por 50 dias com potencial redox (Eh) variando de +200mV a -300mV. Mohanty et al. (1993) estudaram duas espécies de sensibilidade diferentes quanto ao estresse de oxigênio, em meio de cultura sob anoxia, o arroz e a soja. Neste trabalho, a soja mostrou habilidade em resistir até o sexto dia de anoxia com perda em 86% no peso da matéria seca total, enquanto o arroz apresentou ganho de peso e foi capaz de sobreviver durante os 52 dias de tratamento em anoxia. No entanto, muito maior foi o ganho em crescimento do arroz em aerobiose, sugerindo que as adaptações do arroz não são capazes de manter crescimento normal.

As perdas em crescimento nas espécies de diferentes tolerâncias a inundação são atribuídas às disfunções que ocorrem nas plantas com a falta de oxigênio nas raízes, como a manutenção de energia metabólica (Fox et al. 1994), a redução na taxa fotossintética, o desbalanço nutricional e hormonal. Nas raízes, altas concentrações de etileno, de compostos reduzidos como Mn^{2+} , Fe^{2+} , NO^2 , S^- , e outros compostos a níveis tóxicos, são causadores de injúrias. Outros processos incluem balanço iônico, relações hídricas e produção de reguladores

de crescimento (Pezeschki, 1994, Drew, 1988, Marshner, 1997). Algumas disfunções foram registradas neste estudo, tais como a redução da taxa fotossintética e da transpiração.

O fator solo foi importante na resposta das plantas à inundação e a doses de fósforo. No solo O os acréscimos em crescimento de plantas jovens de açaí foram maiores que no solo GP. Possivelmente, o melhor desenvolvimento radicular verificado no solo O na presença de fósforo contribuiu para estes resultados. O desenvolvimento de raízes de crescimento geotropismo negativo em solo O inundado, característico da espécie em seu habitat natural (Granville, 1974), foi registrado (Figura 3B). Tais estruturas não foram observadas no solo O inundado na ausência de fósforo e nem no solo GP inundado com a presença de fósforo.

O requerimento nutricional das plantas também variou quando o solo foi inundado, mas somente no solo O. Neste caso, maiores doses foram necessárias para o mesmo ganho em crescimento, comparado ao solo não inundado. McKee et al. (1984), estudando *Pinus tead* L, observaram aumento no requerimento de fósforo no solo com excesso de água. Boland (1995) também observou aumento de requerimento de fósforo com a inundação em duas espécies de *Trifolium balanseae* e *Trifolium subterraneum*, com variação entre os solos estudados.

A adição de fósforo no solo favoreceu melhores acréscimos em crescimento (Figura 1B e 2B, 3B). Bovi et al. (1987; 1993) avaliaram o efeito de fósforo no desenvolvimento de mudas de açaizeiro e obtiveram resultados positivos, com ganho de matéria seca, altura e diâmetro do coleto. No solo O, a dose 300mgP/kg promoveu ganhos máximos em solos inundados, superando em crescimento as plantas em solo não inundado. Acima desta dose, efeitos tóxicos foram evidenciados, como a redução de matéria seca de raízes e parte aérea.

Alguns sintomas visuais de injúria nas folhas foram observados, caracterizados por inúmeras pontuações amarelas e identificados como ataque do

patógeno *Bipolares sp.* Outros sintomas, foram representados por estrias amarelo avermelhadas ao longo das nervuras, acompanhados por queimaduras no ápice das folhas (Figura 4B). Essa descrição assemelha-se ao sintoma de deficiência de potássio relatado por Haag et al. (1992) em plantas de açaí.

Os solos apresentaram diferentes respostas quanto aos efeitos dos tratamentos, o que pode estar relacionado à capacidade de adsorção de P. A melhor resposta do fósforo no solo O, principalmente quando inundado, destaca o papel da matéria orgânica na adsorção de fósforo, visto que os solos estudados apresentam valores muito próximos de teores de argila. A diminuição da fixação de P em solos devido a matéria orgânica pode ser associada a formação de um complexo entre a matéria orgânica do solo, cátions trivalentes e fósforo, diminuindo a energia de adsorção do fósforo em solos tropicais intemperizados ou ao recobrimento da superfície dos oxihidróxidos de ferro e alumínio. López Camelo et al. (1986), trabalhando com vários solos, comprovaram que a capacidade máxima de adsorção de fósforo no solo diminuiu quando foram incorporados ácidos húmicos, e aumentou quando parte do carbono orgânico foi eliminado. Sing e Ram (1977), citados por Boschettia et al. (1998), ressaltaram a importância da matéria orgânica e adubação fosfatada na disponibilidade de fósforo em solo inundado para o arroz. Apreciáveis quantidades de P disponível, foram verificadas quando adicionou-se matéria orgânica e adubo fosfatado.

Deste modo, presume-se que maior disponibilidade de fósforo teria ocorrido no solo O durante o desenvolvimento da planta, promovendo melhor desenvolvimento no sistema radicular, principalmente com o solo inundado, no qual a formação de novas raízes é importante na busca de oxigênio e na sobrevivência da espécie.

6 CONCLUSÕES

De modo geral, o efeito da inundação promoveu alterações nas características fisiológicas de crescimento, de trocas gasosas e de fluorescência em plantas jovens de açaí. Com a inundação, houve redução na fotossíntese líquida (exceto solo GP), na condutância estomática, na transpiração e na eficiência fotoquímica do PSII. A produção de matéria seca de raiz e parte aérea também foram reduzidas, assim como a altura de plantas e diâmetro de coleto. Apesar do efeito depressivo da inundação, a espécie apresentou tolerância aos 90 dias de inundação.

A adição de fósforo ao solo diminuiu os efeitos negativos da inundação, favorecendo melhores acréscimos em crescimento, sendo que no solo O houve melhores respostas aos tratamentos que no solo GP. A dose de fósforo 300mgP/kg no solo O inundado ofereceu acréscimos máximos em crescimento de plantas jovens de açaí.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKILAN, K.; FARREL, R. C. C.; BELL, D. T.; MARSHALL, J. K. Responses of clonal river red gum (*Eucalyptus camaldulensis*) to waterlogging by fresh and salt water. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 37, p. 243-248, 1997.
- ATWELL, B. J.; STEER, B. T. The effect of oxygen deficiency on uptake and distribution of nutrients in maize plants. *Plant and soil*, Netherlands, v.122, p. 1-8, 1990
- BENICASA, M. M. P. *Análise de crescimento de plantas (noções básicas)*. Jaboticabal: UNESP-FCAV, 1988. 41p.
- BOSCHETTIA, N.G.; QUINTERO, G. C. E.; BENAVIDEZ, Q. R. A. Caracterização do fator capacidade de fósforo em solos de Entre Rios, Argentina. *Campinas. Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 95-99, 1998
- BOVI, M. L. A.; GODOY JUNIOR, G.; SÁES, L. A. Pesquisa com gêneros *Euterpe* e *Bactris* no Instituto Agronômico de Campinas. *O Agrônomo*, Campinas, v. 39, n.2, p. 129 - 174, 1987.
- BOVI, M. L. A.; KUPPER, R. B.; GODOY JUNIOR, G. Adubação NPK na formação de mudas de açaizeiro. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PALMEIRAS ORNAMENTAIS, 1, Jaboticabal, 1993. *Anais...*, Jaboticabal, 1993. p. 30.
- CARVALHO, C. J. R.; ROMBOLD, J.; NEPSTAD, D.C.; ABREU, T. D. Relações hídricas do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart) em mata de várzea do estuário do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 6, Belém, 1997. *Resumos...* Belém: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 1997. p.274.

- CRAWFOD, M. M. R.; BRAENDLE, R. Oxygen deprivation stress in a changing environment. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 47, n. 295, p. 145-159, 1996
- DREW, M.C. Effects of flooding and oxygen deficiency on plant mineral nutrition. *Advances in Plant Nutrition*, London, v. 3, p. 115-159, 1988.
- FOX, T. C.; KENNEDY, R. A.; RUMPO, M. E. Energetics of plant growth under anoxia: metabolic adaptations of *Oryza sativa* and *Echinochoa phyllopogon*. *Annals Botany Company*, v.74, p. 445-455, 1994.
- GRANVILLE, J. J. Aperçu sur la structure des pneumatophores de deux especées des sols hydromorphes en Guyane. *Sér. Biol. Orstom*, n. 23, p. 3-22, 1974
- HAAG, H. P. Carência de macronutrientes e de boro em plantas de açai (*Euterpe oleracea* Mart.). In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE ESSÊNCIA NATIVAS, 2, São Paulo, 1992. *Anais...* São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Florestal, 1992, v. 1, p. 477-479.
- HOOKE, D. D.; DEBELL, D. S.; MCKEE, W. I. I.; ASKEW, J. L. Responses of loblolly pine (mesophyte) and swamp tupello (hydrophyte) seedlings to soil flooding and phosphorus. *Plant and Soil*, v. 71, p. 387-394, 1983
- HUANG, B.; JOHNSON, W. J.; NeSMITH, D. S.; BRIDGES, D. C. Nutrient accumulation and distribution of wheat genotypes in response to waterlogging and nutrient supply. *Plant and Soil*, Netherlands, v. 173, p. 47-54, 1995
- HUANG, B.; JOHNSON, W. J.; NeSMITH, D. 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. 271, p. 193-202, 1994.
- JACKSON, M. B., DREW, M. C. Effects of flooding on growth and metabolism of plant herbaceous. In: Koszłowski TT, ed. *Flooding and plant growth*. New York: Academic Press, p. 48-128, 1984.

- JOSEPH, C. V. V.; YELENOSKY, G. Photosynthetic responses of citrus trees to soil flooding. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 81, p.7-14, 1991
- KLUDZE, H. K.; DeLAUNE, R. D.; PATRICK JUNIOR, W. H. Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. *Soil Science Society of America Journal*, v. 57, p. 386-391, 1993.
- KOSZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Effect of flooding on water, carbohydrate and mineral relation. In: KOSZLOWSKI, T. T. *Flooding and plant grow*. New York: Academic Press, 1984. p. 165-188.
- LÓPEZ CAMELO, L. G.; HEREDIA, O S.; SESE, Z.M. Evaluación preliminar de la influencia de la materia orgánica sobre la adsorción de fósforo en solos argentinos. *Ciencia Suelo*, v.2, p. 125-131, 1986.
- MCKEE, Jr. W. H.; HOOK, D. D.; DeBELL, D.S.; ASKEW, J. L. Growth and nutrient status of loblolly pine seedling in relation to flooding and phosphorus. *Soil Science of America Journal*, v. 48, p. 1438-1442, 1984.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. S. Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MARANVILLE, J. W.; DEL ROSÁRIO, D. A.; DALMACIO, S. A.; CLARK, R.B. Variability in growth and nutrient accumulation in sorghum grown in waterlogged soils. *Communications in Soil Science Plant Anal.*, v. 17, n.10, p. 1089-1108, 1986.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2ed. London: Academic Press, 1997. 889p.
- MOHANTY, B.; WILSON, P. M.; REES, T. Effects of anoxia on growth and carbohydrate metabolism in suspension cultures of soybean and rice. *Phytochemistry*, Great Britain, v. 34, n. 1, p. 75-82. 1993
- MORARD, P.; SILVESTRE, J. Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: a review. *Plant and Soil*, Netherlands, v.184, p. 243-254. 1996.

- NEPSTAD, D.; ANDERSON, A.; FANZERES, A.; SUBLER, S. Conopy water relations of *Euterpe oleracea* in a tidal forest of the Amazon estuary. Belém, p.7.s/d. (mimeografado)
- NETO MENEZES, 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). Lavras: ESAL, 1994. 42 p. (Dissertação – Mestrado em Fisiologia Vegetal)
- OSBERT, J.; SWEET, G. B.; WHITEHEAD, D.; BUCHAN, G. D. Physiological responses to water stress and waterlogging in *Nothofagus* species. *Tree Physiology*, Canada, v. 15, p.629-638, 1995.
- PELACANI, C. R.; OLIVEIRA, L. E. M.; SOARES, A. M.; CRUZ, J. L. C. Relações hídricas de algumas espécies florestais em substrato inundado. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 19, n. 4, p. 548-558, 1995
- PEZESHKI, S.R. Plant response to flooding. In: WILKINSON, R. E.; DEKKER, M. *Plant-environment interactions*. New York, 1994. p. 289-321.
- SCHREIBER, U.; BILGER, W.; NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicador for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: SHULZE, E.D.; CALDEW, M. M. *Ecophysiology of photosynthesis*. Berlin, 1995, 576 p.
- TOPA, M. A.; McLEOD, K. W. Responses of *Pinus serotina* and *Pinus taeda* seedlings to anaerobic solution culture. II. Change in tissue nutrient concentration and net acquisition. *Physiology Plantarum*, Copenhagen, v. 68, p. 532-539, 1986.
- VARTAPETIAN, B. B.; JACKSON, B.M. Plant adaptations to anaerobic stress. *Annals of Botany*, v.79, p.3-20, 1997. (Suplement A).

CAPÍTULO 3: Alterações na fertilidade do solo e nutrição de plantas jovens de açaí em resposta à adubação fosfatada e à inundação em solos de várzea

I RESUMO

SAMPAIO, L. S. Alterações na fertilidade do solo e nutrição de plantas jovens de açaí em resposta à adubação fosfatada e à inundação em solos de várzea. Lavras: UFLA, 1998. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*

O efeito da inundação e do fósforo foram estudados em plantas jovens de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) em dois solos de várzea (O e GP). O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da UFLA, em 1997. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, fatorial 4x2, com quatro repetições. Foram adicionados ao solo quatro doses de fósforo (0, 150, 300 e 450mgP/kg de solo). A inundação ocorreu durante 90 dias, 240 dias após o transplântio das mudas. O efeito dos tratamentos alterou a disponibilidade de nutrientes no solo e o estado nutricional das plantas com diferentes respostas entre os solos O e GP. A inundação causou aumento na disponibilidade de nutrientes, exceto P e B, que não houve alteração. Na planta, em solo O, a inundação reduziu teores de P, Ca, Cu, Mn e Zn e aumentou Fe, e não alterou N, K, Mg, S, B, Cu. As doses de fósforo provocaram aumento nos teores de P, Ca, e Mn, e redução em K, B, Fe sendo que Cu, S e Zn não apresentaram comportamento regular. O acúmulo de nutrientes também foi alterado, exceto B e S. O acúmulo de Fe foi aumentado e dos demais nutrientes reduzidos na seguinte ordem, em proporção: P> Mg> Zn> Mn> Cu> Ca> K> N. Na planta, em solo GP, a inundação reduziu os teores de P, K, Ca, Mn e Zn. N, Mg, S, Cu não foram alterados e, B e Fe foram aumentados. A adição de fósforo no solo proporcionou aumento nos teores de P, K, Ca, Mn, redução nos teores de N e Cu, e não alterou o Mg, Fe e Zn. O acúmulo de nutrientes foi reduzido com a inundação, na seguinte ordem, em proporção: Mn> Zn> K> Ca> P = Cu> Mg> N> S. O Fe foi o único nutriente que apresentou seus valores aumentados. O fósforo proporcionou maior acúmulo de nutrientes nas plantas devido a maior produção de matéria seca de raízes, aumentando a superfície de absorção. O efeito do fósforo foi importante na redução do efeito depressivo da inundação, melhorando o estado nutricional das plantas. Destacou-se a dose 300P no solo O inundado, no qual houve maior acúmulo de nutrientes, superando aqueles encontrados no solo não inundado. Os

* Comitê de Orientação: Janice Guedes de Carvalho (Orientadora); Ângela Maria Soares.- UFLA; Paula Ângela Umbelino Guedes Alcoforado (UFAL).

macronutrientes de maior acúmulo, em média, seguem a ordem decrescente no solo O: $N > K > Ca > Mg > S > P$; e no solo GP: $N > K > Ca > S > Mg > P$. O solo O destacou-se com maior acúmulo de nutrientes na matéria seca do açaí (exceto para o B e Fe) e menores teores de nutrientes (exceto Ca, Mg e Mn).

2 ABSTRACT

Alterations in soil fertility and nutrition of young plants of assai (*Euterpe oleracea* Mart) in response to phosphorous fertilization of and flooding in lowland soils.

The effect of flooding and of phosphorus were studied on young plants of assai (*Euterpe oleracea* Mart) in two lowland soils (O and GP). The experiment was conducted in greenhouse at the Soil Science Department-UFLA, in 1997. The used experimental design was a completely randomized, 4x2 factorial, with four replications. Four dosages of phosphorus (0, 150, 300 and 450mg/kg soil) were added in the soils. Flooding was established for 90 days, 240 days after the transplanting the cuttings to O and GP soils. The effect of the treatments altered the availability of soil nutrients and the plants nutrient status of the with different responses between the O and GP soils. With flooding, there was an increase in the availability of soil nutrients, except for the contents of P and B, which were not altered. For plants grown on O soil, flooding reduced the contents of P, Ca, Cu, Mn and Zn, increased Fe and had no effect on the contents of N, K, Mg, S, B and Cu. Phosphorous fertilization caused increases in the contents of P, Ca and Mn, reduction in K, B, Fe and Cu, S and Zn presented no regular behavior. Nutrients accumulation was also altered, except for B and S. Fe accumulation was increased and the remaining nutrients reduced in the following order: P>Mg>Zn>Mn>Cu>Ca>K>N. Grown on GP soil, the effect of flooding reduced the contents of P, K, Ca, Mn and Zn. Levels of N, Mg, S, Cu had no changes but B and Fe were increased. Phosphorous addition in the soil provided increase in the contents of P, K, Ca, Fe and Mn, and reduction in the contents of N eCu. Nutrients accumulation was reduced with flooding, in the following order, and rate: Mn>Zn>K>Ca>P=Cu>Mg> N> S. Fe was the only nutrient which presented its values increased. The use of phosphorous provided higher accumulation of nutrients in plants due a higher root dry mater production which in increased the absorption surface. The effect of phosphorous was important in reducing the depressive effect of flooding, by improving the nutrient status of plants. The use of 300mgP/kg in flooded O soil, provided higher accumulation of nutrients, overcoming those found in the unflooded soil. Nutrients accumulating, in average, show the following decreasing order in the O soil: N>K> Ca> Mg>S>P and in the GP soil: N>K>Ca> S> Mg>P. The O soil

* Guidance Committee: Janice Guedes de Carvalho (Orientarora); Angela Maria Soares.-UFLA; Paula Angela Umbelino Guedes Alcoforado (UFAL).

showed higher accumulation nutrients in the dry matter of assai (except for B and Fe) and lower nutrients levels (except Ca, Mg and Mn).

3 INTRODUÇÃO

Problemas de excesso de umidade são comuns em diversas partes do mundo, causando prejuízos à prática agrícola e florestal. Estima-se que em 16% (22×10^6 ha) das terras rizícolas do mundo, exceto na China, a inundação cause efeitos adversos ao crescimento e produção do arroz, uma das mais importantes culturas agrícolas do mundo cultivada em solos inundados (Khush, 1984, citado por Setter et al., 1997). Os danos causados pela inundação são documentados em espécies de diferentes sensibilidades. O fator genético e substrato utilizado nas pesquisas contribuem para variação de respostas.

A falta parcial ou total de oxigênio provoca sérios distúrbios nas raízes e parte aérea de culturas anuais e perenes. Uma das principais limitações impostas pela inundação das raízes é a aquisição e utilização de nutrientes devido a alterações na absorção, translocação e crescimento de raízes (Topa e McLeond, 1986). Tais processos são diretamente afetados pela queda do metabolismo energético consequente da respiração anaeróbica das células.

Deste modo, as concentrações de nutrientes no tecido das plantas são alteradas com o efeito da inundação. N, P e K declinam na parte aérea enquanto que Ca e Mg são menos afetados. Um terceiro grupo de elementos formado por Na, Mn e Fe ocorre em maiores concentrações quando comparado a plantas bem arejadas, o que pode ser atribuído ao aumento da concentração na solução do solo ou inibição no mecanismo de exclusão destes elementos (Drew, 1988; Crawford, 1992; Pezeshki, 1994; Morard e Silvestre, 1996).

Morard e Silvestre (1996) estabeleceram uma ordem do efeito depressivo na absorção de água e minerais pelas raízes de plantas em estresse gasoso, na seguinte disposição: $K > N > P > H_2O > Mg = Ca$.

O efeito da inundação no estado nutricional da planta depende do estado inicial dos nutrientes no solo, das mudanças físico-químicas induzidas pela inundação, do desenvolvimento/estado fisiológico da planta e da capacidade de tolerância da espécie. Maiores reduções na concentração e acúmulo de nutrientes das plantas ocorrem em espécies não tolerantes à inundação. Essa tendência pode ser atribuída a redução de superfície de raízes aptas a absorção em espécies sensíveis (Topa e McLeond, 1986). No caso de plantas adaptadas à inundação, a absorção de nutrientes continua sendo possibilitada pela existência de um suprimento interno de O_2 . A formação de raízes adventícias e formação de aerênquimas facilitam a transferência dos tecidos para a raízes e interface solo-raiz. Entretanto, essas adaptações permitem o funcionamento das raízes e a absorção de nutrientes e, dependendo das condições do solo, podem ocorrer de deficiência ou toxidez (Pezeshki, 1994).

Além do fator genético, o solo é importante na resposta das plantas à inundação. Algumas mudanças químicas são desencadeadas, causando alterações nas propriedades dos solos com a inundação, dentre as quais o potencial redox é a mais importante, com efeito no pH, na disponibilidade de nutrientes e na produção de toxinas (Ponnamperuma et al., 1967). A intensidade dos processos que ocorrem com a inundação depende do valor inicial do Eh e do pH, dos receptores de elétrons, da quantidade e natureza da matéria orgânica, e da atividade biológica, que é influenciada pela temperatura e duração do período de inundação (Ponnamperuma, 1968).

Em solos ácidos, as mudanças no potencial redox causam aumento no pH que estabiliza-se em torno de sete, devido ao consumo de H^+ nas reações de oxirredução. Nos primeiros estágios de redução, o N é perdido para a atmosfera com a redução de nitrato a N_2 (denitrificação), implicando na deficiência de nitrogênio nas plantas. Dando seqüência ao processo, os óxidos de manganês são reduzidos a Mn^{2+} . À medida que condições redutoras mais extremas ocorrem,

amônio (NH_4^+) acumulam-se a partir da redução do nitrogênio e a solubilidade de ferro aumenta na forma Fe^{2+} . O processo de redução do ferro nos solos dissolve a sílica e o fosfato adsorvido nos óxidos de ferro e precipitados de minerais ricos em ferro. No final, em condições anóxicas prolongadas, o sulfito é reduzido a sulfato, que precipita o Fe^{2+} e outros metais, tal como FeS_2 . Consequentemente, a prolongada anoxia tende a trazer a solubilidade de Fe e Mn de volta para níveis baixos. Se o potencial redox decrescer a valores baixos positivos ou a valores negativos ($<200\text{mV}$), o carbono orgânico pode sofrer redução, formando metano. Nesses extremos de condições, gás hidrogênio pode ser gerado nos solos (McBride, 1994).

Apesar de não envolvidos diretamente nos processos de oxirredução, outros nutrientes como o P, K, Ca, Mg, B, Co, Zn e o Cu sofrem mudanças na sua disponibilidade em solos inundados.

O fósforo é um dos macronutrientes mais afetados pelas mudanças associadas a anaerobiose do solo. A inundação do solo geralmente proporciona o aumento na disponibilidade do fósforo. O aumento da solubilidade do fósforo está ligado, principalmente, a redução do fosfato férrico para formas mais solúveis e de óxidos e hidróxidos hidratados de ferro, acompanhado pela liberação do fósforo ocluso (Amer et al, 1991).

Velloso et al. (1993) estudaram a dinâmica de fósforo em solos inundados e verificaram que o aumento na concentração de fósforo extraível ($\text{HCl } 0,05\text{N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N}$) ocorrido atingiu concentrações máximas entre a primeira e a segunda semana após a inundação, e reduziu drasticamente a valores inferiores antes do alagamento, estabilizando-se neste nível até a oitava semana. O autor explica que o extrator ácido teria superestimado o P na solução por extrair o P lábil e parte do P não lábil, e que a retenção da matéria orgânica, devido a grande afinidade ácido fúlvico-Fe por fósforo inorgânico, teria complexado o fósforo.

O possível aumento de fósforo no solo, caudado pela inundação, não implica em aumento no conteúdo de P no tecido foliar. Em plantas sensíveis, devido a reduzida capacidade de absorção pelas raízes, a concentração e o conteúdo de P podem ser reduzidos (Pezeshki, 1994).

Outros nutrientes, como K, Ca e Mg, têm sua disponibilidade aumentada pela inundação. Esse aumento é atribuído ao deslocamento dos sítios de troca para a solução, principalmente pelo Fe^{2+} , Mn^{2+} e NH_4^{+} (Ponnamperuma, 1972).

A solubilidade dos micronutrientes B, Co, Cu, Zn e Mo, embora não sejam envolvidos diretamente nas reações de oxirredução, pode ser afetada pelas mudanças de pH, pela redução do Fe e por agentes orgânicos formadores de complexo. Assim, é comum a diminuição de teores de Cu e Zn, e o aumento de B, Co em solos inundados. No caso do zinco é comum a deficiência em arroz de várzea devido a sua redução na disponibilidade. No entanto, Kumar (1981) estudando as mudanças físico-químicas nas propriedades e na atividade de ferro e zinco em solos submersos cultivados com arroz em solos altamente ácidos, observou aumento no pH próximo da neutralidade em três semanas de inundação. A condutividade elétrica aumentou 5 a 10 vezes no mesmo período. As atividades de Fe^{2+} e Zn^{+2} e a relação Fe/Zn aumentaram. O aumento da atividade da relação Fe/Zn foi de 20% contra 65% do aumento dos íons isolados.

A relação solo/planta em sistemas inundados tem sido pouco estudada. Muitos trabalhos apresentam respostas diversas quanto ao estado nutricional de plantas em anoxia ou falta de oxigênio, sendo comum em muitos artigos, que as plantas consideradas tolerantes a inundação, sejam citadas com presença de desordens nutricionais quando submetidas à inundação (Moraes, 1973; Jugsujinda e Patrick Jr, 1993).

Algumas práticas são estudadas com o objetivo de aliviar o efeito depressivo da inundação. Segundo Drew (1988) e Marschener (1997), a nutrição é um ponto central na resposta das plantas à inundação. O autor relata que a

sobrevivência ou o crescimento de plantas podem estar relacionados ao suprimento adicional de nutrientes. Huang et al. (1994) comprovaram em seu trabalho o papel dos nutrientes de aliviar os efeitos adversos causados pela inundação.

A disponibilidade do fósforo aumenta com a inundação e, quando fornecido via solo, melhora o estado nutricional de plantas em anoxia. McKee Jr et al. (1984) avaliaram a resposta de mudas de *Pinus tead* L. à inundação e à adubação fosfatada. A aplicação de fósforo a 100mg/kg alterou a tolerância de *Pinus tead* L. à inundação, proporcionando aumento de 391% na matéria seca e menor redução nos teores de N nas folhas. No entanto, não houve alteração nos teores de P e Fe na folha, sendo que o zinco teve seu teor reduzido com a aplicação de P. As concentrações de Ca, Mg e Na nas folhas ou raízes não foram alteradas com os tratamentos. As concentrações de Na, Fe e o Zn foram maiores nas raízes que nas folhas. Outra conclusão importante dos autores sobre *Pinus tead* L foi o aumento no requerimento de fósforo pela espécie no solo com excesso de água.

Bolland (1995) estudou o requerimento de fósforo em solos inundados de duas espécies (*Trifolium balanseae* e *Trifolium subterraneum*) em dois solos (Lateritic gravel franco arenoso) de diferentes propriedades químicas e constatou que o requerimento de fósforo variou entre os solos. A inundação não afetou a produção e o requerimento de fósforo das espécies para um solo, enquanto que para outro, a produtividade foi reduzida, exceto quando aplicadas altas doses de P, sendo que o aumento no requerimento de P foi 36% maior para manter 90% da capacidade de produção, na mesma densidade de plantio.

A aplicação de fertilizantes fosfatados no solo pode causar alterações na disponibilidade de micronutrientes (Cu, Zn, e Fe), para as plantas em sistema de inundação. Patra et al. (1981), estudaram o efeito da aplicação de fósforo (100 mg/kg) em solos inundados (70 dias) sobre a disponibilidade de Cu, Zn, Fe, Mn

e P. A aplicação de fósforo diminuiu a quantidade de Cu, Zn e Fe, e aumentou a de Mn, extraídos por DTPA. O aumento foi também verificado para P extraído pela solução Bray, no entanto, somente 5% do fósforo aplicado permaneceu na forma extraível após 10 dias de inundação. A curva de disponibilidade de P no solo apresentou pico máximo aos 20 dias, decrescendo bruscamente a níveis acima do inicial.

Os efeitos antagônicos entre o P e Fe foram estudados por Gupta (1982) na nutrição e crescimento de arroz (IR-8) inundado, num solo franco argiloarenoso (pH-8,0). Aplicação de doses de fósforo (0, 45, 90mg/kg) reduziu a disponibilidade de Fe, Fe-reduzível, porém não afetou o Fe trocável. Tanto o Fe-reduzível como o trocável aumentaram com 60 e 30 dias, com declínio aos 90 dias independente das doses de P. A adição de fósforo reduziu o teor de Fe reduzido porém não alterou o Fe-trocável. O aumento do Fe-reduzível foi maior no solo inundado. Aumentos significativos de produção de matéria em arroz foram obtidos em condições de inundação em relação à capacidade de campo. Esse ganho foi aumentado em 108% com a aplicação de 25 mg/kg de Fe e 90mg/kg de P. O aumento de Fe nas plantas só foi evidente na dose 45mg/kg de fósforo, sendo que acima dela estes teores reduziram-se, mesmo com acréscimo de doses de Fe, caracterizando o efeito antagônico do P na absorção de Fe.

Singh e Singh (1983) estudaram o efeito de doses de fósforo (0, 25, 50, 100 ppm) na absorção de nitrogênio e ferro em arroz em solos inundados (franco siltoso-pH 7,5). A aplicação de fósforo aumentou a matéria seca e a produção de grãos. Os teores de N aumentaram com as doses de P, sendo que na dose 100mg/kg houve um ligeiro decréscimo na concentração de N. A aplicação de doses crescentes de fósforo reduziu a absorção de ferro.

A aplicação de fósforo reduziu a absorção e concentração de Zn em arroz inundado (Singh e Singh,1980). A interação de P e Zn é designada por

muitas culturas através da indução de deficiência de Zn pelo fósforo, devido a formação de $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$, diminuindo a disponibilidade de Zn e P.

Estudos sobre comportamento de espécies em resposta à inundação vem sendo motivados, não só pelo aspecto econômico mas pelo aspecto biológico. No caso do açaí, objeto desse estudo, pouco se conhece sobre a nutrição desta espécie e de sua resposta à adubação em solos inundados. No entanto, pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando o manejo de açazais para extração de frutos e palmitos.

Esta pesquisa visa avaliar o efeito da adubação fosfatada na nutrição do açaí em solos de várzea inundado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo (DSC) da Universidade Federal de Lavras (DCS/UFLA) no período de janeiro de 1997 a janeiro de 1998. Utilizou-se amostras da camada de 0-20cm de profundidade de dois solos de várzea de Minas Gerais, de um solo Orgânico (O) do município de Lambari e de um solo Glei Pouco Húmico (GP) do município de Lavras, constituindo dois experimentos estabelecidos com intervalo de um mês.

As amostras foram peneiradas (malha de 2mm), secadas ao ar e caracterizadas fisicamente. A análise química apresentou, respectivamente, o seguinte resultados para O e GP: pH em água (relação 1:2,5 para solo:água), 5,1 e 5,3; Ca^{+2} , 17 e 13mmol/dm³, Mg^{+2} , 10 e 10mmol/dm³ e Al^{+3} , 18 e 11mmol/dm³ (extraídos em KCl 1N); P, 13 e 15mg/dm³, K, 80 e 78 mg/dm³ (extraídos pelo HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025 N); e H+Al (tampão SMP), 137 e 70mmol/dm³, carbono orgânico, 3,7 e 1,6 (extraído por Na₂Cr₂O₇ 2mol/L + H₂SO₄ 5mol/L; e matéria orgânica (carbono orgânico x 1,6), 6,3 a 2,7. A análise granulométrica para ambos solos, O e GP, apresentaram, respectivamente, 28 e 50dag/kg de areia, 53 e 30dag/kg de silte e 19 e 20dag/kg de argila.

A unidade experimental foi constituída de baldes plásticos com capacidade de 7 L contendo 6kg de terra, com uma planta por balde. As mudas de açaí, com aproximadamente 20cm, foram transplantadas para os baldes após os solos terem recebido as dosagens de fósforo e mantidas com a umidade de solo a 70% do volume de poros. O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro doses de fósforo (0, 150, 300 e 450mgP/kg) e dois regimes de umidade (inundado e não inundado). A inundação foi estabelecida, 240 dias após o

transplântio das mudas, e mantida durante 90 dias, mantendo-se uma lâmina d'água de ± 3 cm. No tratamento não inundado foi mantido um regime de umidade a 70% do volume total de poros.

Os macro e micronutrientes foram supridos segundo a recomendação de Malavolta (1980), com algumas alterações para o K, Mg e Ca. Foram adicionados 500mg/kg de N (uréia), 350mg/kg de potássio (cloreto de potássio), 160mg/kg de cálcio (sulfato de cálcio), 60mg/kg de Mg (sulfato de magnésio), 0,5mg/kg de B (ácido bórico), 1,5mg/kg de Cu (sulfato de cobre), 0,1mg/kg de Mo (molibdato de amônio), 5mg/kg de Zn (sulfato de zinco).

As doses de N e K foram parceladas em 5 e 4 vezes, respectivamente. A primeira dose (100mgN/kg e 50mgK/kg de solo) foi aplicada no transplântio das mudas de açaí e as posteriores aplicações foram feitas nos solos O e GP, respectivamente, com 5 e 4 meses (50mgK/kg), 7 e 6 meses (100mgN/kg e 100mg K/kg), 8 e 7 meses (100mgN/kg e 50mgK/kg), 9 e 8 meses (100mgN/kg e 50mgK/kg), e 10 e 9 meses (100mgN/kg e 50mgK/kg).

Após o período de inundação, aos 240 dias de cultivo, a parte aérea e raízes foram coletadas, lavadas em água corrente e destilada e colocados para secar a $\pm 70^{\circ}\text{C}$, em estufa de ventilação forçada de ar até peso constante. Na matéria seca da parte aérea foram realizadas as determinações dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, e Zn, e na matéria seca de raiz, os teores de P, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Os extratos de matéria seca foram obtidos por digestão nitroperclórica, exceto boro, cuja extração foi feita via seca. P e B foram determinados por colorimetria; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica; K por fotometria de chama e; S por turbidimetria. Os valores para N foram determinados pelo método Semi-mico Kjeldahl. A quantidade de nutrientes foi obtida multiplicando-se os teores pela matéria seca.

Após a coleta das raízes foram retiradas amostras para caracterização química do solo (Vettori, 1969, com modificações pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 1979). Determinou-se o pH, P, K, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} , H+Al, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Posteriormente, os dados foram submetidos à análise estatística. O teste F (NMS <0,05%) foi utilizado para determinar a significância dos fatores estudados. O efeito das doses de fósforo e da interação inundação x fósforo, foi estudado através de regressão polinomial e, para comparação das médias do fator doses de fósforo dentro de inundação, utilizou-se o teste de Tuckey (NMS <0,05%).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito dos tratamentos na fertilidade dos solo O e GP.

O resumo dos níveis de significância e os valores médios de pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+A, B, Cu, Fe, Mn e Zn, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por Al (m), saturação de bases (V) nos solos O e GP estão nas Tabelas 1, 2 e 3

TABELA 1. Níveis de significância estatística para os efeitos médios de doses de fósforo, inundação, e suas interações para o pH, e teores de P, K, Ca, Mg, Al, H+A, B, Cu, Fe, Mn e Zn, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por Al (m), saturação de bases (V) nos solos O e GP.

TEORES DE NUTRIENTES NO SOLO																	
SOLO O																	
Causa de variação	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fósforo (A)	*	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Inundação (B)	**	ns	**	**	**	**	**	*	ns	**	**	**	ns	**	**	**	**
A*B	**	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SOLO GP																	
Fósforo (A)	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	*
Inundação (B)	*	ns	**	ns	ns	**	**	*	**	**	**	**	ns	**	**	**	**
A*B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns

* e ** representam valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns representa valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade

De acordo com os níveis de significância da Tabela 1, a inundação alterou os valores médios de pH, K, Ca, Mg, Al, H+A, Cu, Fe, Mn e Zn, SB, T, m, V no solo O, com aumento no pH, K, Ca, B, Fe, Mn, SB, V e redução nos

Tabela 2. Valores médios (4 repetições) de pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+A, B, Cu, Fe, Mn e Zn, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por Al (m), saturação de bases (V) do solo O.

SOLO O																	
Inundado																	
P	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg/kg		mg/dm ³		mmol./dm ³						%		mg/dm ³					
0P	4,9	12,5	347,0	29,0	7,0	8,0	112,0	43,0	53,0	156,0	16,0	29,0	0,14	3,78	208,40	82,20	5,83
150P	5,2	42,8	459,0	28,0	8,0	6,0	110,0	48,0	54,0	158,0	12,0	30,0	0,11	4,18	263,48	98,78	6,25
300P	5,1	72,5	426,0	28,0	8,0	7,0	110,0	47,0	54,0	157,0	13,0	29,8	0,12	3,60	282,30	92,40	5,43
450P	5,3	116,0	415,5	29,0	10,0	6,0	104,0	49,0	54,0	153,0	11,3	32,0	0,11	3,65	248,13	91,70	7,00
média	5,1	61,0	411,9	28,5	8,3	6,8	109,0	46,8	53,8	156,0	13,1	30,2	0,1	3,8	250,6	91,3	6,1
Não Inundado																	
0P	4,1	11,5	256,0	22,5	4,8	24,0	166,0	33,8	57,8	199,8	41,7	17,0	0,13	2,05	185,28	38,15	3,30
150P	4,3	53,0	252,5	21,3	5,8	20,3	152,3	33,5	53,8	185,8	38,0	18,0	0,11	1,90	180,78	42,98	3,23
300P	4,1	93,5	316,0	22,0	7,0	23,0	166,0	37,0	60,0	203,0	38,0	18,2	0,15	2,05	179,25	34,60	3,30
450P	4,0	103,0	272,5	22,5	3,0	25,3	176,0	32,3	57,5	208,3	43,7	15,5	0,13	1,85	182,95	25,28	2,80
média	4,1	65,3	274,3	22,1	5,2	23,2	165,1	34,2	57,3	199,2	40,4	17,2	0,1	2,0	182,1	35,3	3,2

Tabela 3. Valores médios (4 repetições) de pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+A, B, Cu, Fe, Mn e Zn, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T), saturação por Al (m), saturação de bases (V) do solo GP.

SOLO GP																	
Inundado																	
P	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg/kg		mg/dm ³		mmol _c /dm ³						%		mg/dm ³					
0	5,3	15,3	477,0	24,8	8,8	2,0	50,3	45,5	47,5	95,8	4,2	47,5	0,25	2,07	1010,4	16,53	2,78
150	5,0	59,5	419,0	20,8	10,3	1,8	45,0	41,8	43,5	86,8	4,0	48,2	0,24	1,92	1110,7	12,83	3,18
300	5,4	106,0	403,0	23,5	10,0	1,0	43,8	44,0	45,0	75,3	2,2	49,7	0,25	1,95	1181,6	18,33	3,48
450	5,5	156,0	388,0	22,5	13,0	1,0	45,0	45,5	56,5	90,5	2,2	50,2	0,25	1,85	1177,0	17,30	2,95
média	5,3	84,2	421,8	22,9	10,5	1,5	46,0	44,2	48,1	87,1	3,2	48,9	0,2	1,9	1119,9	16,2	3,1
Não Inundado																	
0P	4,1	17,5	361,0	21,3	5,5	15,8	83,3	36,0	51,8	124,2	31,0	29,0	0,29	1,92	684,5	10,50	4,40
150P	4,1	89,5	334,0	21,5	10,8	14,8	88,3	41,0	55,8	129,3	26,7	31,7	0,31	1,77	656,6	9,82	4,35
300P	4,2	140,3	297,0	18,8	8,8	15,0	99,0	35,0	50,0	134,0	30,0	26,0	0,14	1,57	701,6	7,40	3,55
450P	4,0	150,5	368,0	18,8	13,0	17,8	110,3	41,0	58,8	151,3	30,7	27,2	0,20	1,8	758,6	8,80	4,57
média	4,1	99,5	340,0	20,1	9,5	15,9	95,2	38,3	54,1	134,7	29,6	28,5	0,2	1,8	700,3	9,1	4,2

teores de Al, H+Al, T e m (Tabela 2). Os teores de P, Mg, B e t não foram afetados com a inundação. No solo GP, os valores de pH, K, Al, H+A, Cu, Fe, Mn, Zn, SB, t, T, m e V foram alterados com a inundação, com aumento nos níveis de pH, K, Ca, Fe, Mn, B, SB e V, e com redução de Al, t, T, m, Zn, Al+H (Tabela 03). Os teores de P, Ca e Mg não variaram com a inundação.

5.1.1 pH

Para os dois solos estudados a inundação proporcionou aumento no pH, equivalente a uma unidade em média. No solo O houve efeito significativo da interação inundação x fósforo. No tratamento com a inundação, o pH apresentou um comportamento linear positivo com as doses crescentes de fósforo (Figura 1), variando de 4,9 a 5,3. No tratamento sem inundação não foi verificada variação nos valores do pH em função das doses de fósforo, apresentando valor médio inferior ao inundado de 4,1.

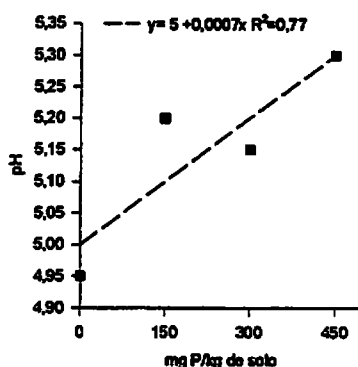


FIGURA 1. Efeito de doses de fósforo no pH do solo O inundado.

Como pode ser observado na Tabela 4, os valores de pH foram significativamente superiores para o tratamento inundado em todas as doses de P.

No solo GP, os valores de pH variaram de acordo com efeito da inundação, independente das doses de fósforo. O tratamento inundado apresentou para este solo, valores superiores estatisticamente ao não inundado de 5,3 e 4,1 respectivamente.

TABELA 4. Valores de pH, P, Mg e T no solo O inundado e não inundado com diferentes doses de fósforo.

	Doses de P (mg/kg)			
	0	150	300	450
pH				
Inundado	4,9 a	5,2 a	5,1 a	5,3 a
Não Inundado	4,1 b	4,3 b	4,1 b	4,0 b
P (mg/dm³)				
Inundado	12,5 a	42,8 a	72,5 b	116,0 a
Não Inundado	11,5 a	53,0 a	93,5 a	103,0 a
Mg (mmolc/dm³)				
Inundado	7,0 a	8,0 a	8,0 a	10,0 a
Não Inundado	4,8 a	5,8 a	7,0 a	3,0 b
T (mmolc/dm³)				
Não Inundado	199,8 a	185,8 a	203,0 a	208,3 a
Inundado	156,0 b	158,0 b	157,0 b	153 b

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Quando comparado ao pH inicial dos solos, isto é, antes dos tratamento, o poder de acidificação da espécie e a adubação nitrogenada, dentre outros fatores, causaram o decréscimo dos valores de pH em uma unidade na ausência de inundação. No solo inundado, as altas doses de fósforo elevaram os valores

de pH acima daquele inicial (5,1) no solo O, enquanto que no solo GP, os valores de pH não variaram com o fósforo, resultando em valor médio igual ao inicial (5,3).

A adição de fósforo ao solo favoreceu o aumento no pH no solo O inundado, o que pode ser explicado pela liberação de hidroxilas no processo de adsorção ou fixação do fósforo com ácidos orgânicos (Velloso, 1993).

A literatura é unânime em afirmar que o pH aumenta com a inundação (Ponnamperuma, 1972; Moraes, 1973, Sanchez, 1976, Mello et al., 1992). O aumento de pH deve-se a redução de compostos, especialmente Fe e Mn, cujas reações de redução apresentam mais alto nível de consumo de H⁺ do meio (Ponnamperuma, 1972). O aumento de pH verificado nos solos não ocorreu na mesma magnitude, como é citado na literatura. O procedimento de secagem das amostras provavelmente não permitiu diagnosticar tais aumentos.

5.1.2 Fósforo

Devido as avaliações serem feitas ao final de três meses de inundação, não foi verificado efeito da inundação no aumento da disponibilidade de fósforo conforme citam vários artigos. Tal fato pode ser explicado pela reprecipitação de fósforo a formas menos solúveis. Segundo a dinâmica de P em solos inundados, a dissolução de óxidos de ferro com a redução promove uma redução no sítios de adsorção de P, causando aumento de P na solução do solo. Entretanto, com o avanço do processo de redução e aumento de pH, pode haver uma precipitação de Fe na forma de hidróxido ferroso e ferroso férrico. Esses compostos reprecipitados podem ser mais ativos na adsorção do fosfato do que compostos de ferro antes da inundação (Patrick e Mahapatra, 1968; Ponnamperuma, 1972, Moraes 1973; McBride, 1994).

No solo O, os teores de P foram influenciados pela interação dos fatores inundação e doses de fósforo. Verificou-se um comportamento linear crescente

para o tratamento com inundação e quadrático para o sem inundação (Figura 2). No primeiro caso os níveis de fósforo variaram de 12,5 a 116,0mg/kg, e no segundo caso 11,5 a 103,0mg/kg.

De acordo com os resultados do teste de média para efeito da inundação, apenas a dose 300mgP/kg de solo apresentou diferença significativa (Tabela 4).

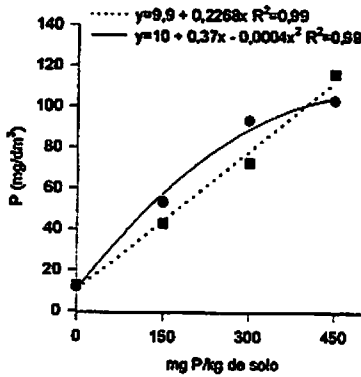


FIGURA 2. Efeito da interação inundação x fósforo no teor de fósforo no solo O inundado (---;■) e não inundado (—; ●).

No solo GP não houve interação entre os fatores e nem efeito da inundação para os níveis de fósforo. Observou-se efeito linear crescente nos teores de P, em função das doses aplicadas, com valores variando de 16,4 a 153,2mg /kg, como mostra a Figura 3.

O efeito dos tratamentos no comportamento dos teores de fósforo nos solos O e GP foi semelhante aos resultados encontrados por Holanda (1992) trabalhando com os mesmos tipos solos com arroz inundado e doses de fósforo.

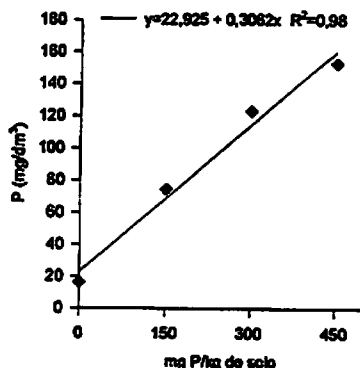


FIGURA 3. Efeito de doses fósforo no teor de fósforo solo GP.

5.1.3 Potássio, cálcio e magnésio.

Os teores de K, de Ca e de Mg foram influenciados pela inundação, principalmente o K, que sofreu maiores alterações em proporção. Segundo Ponnampertuma (1972), o aumento de K, Ca e Mg em solo inundado deve-se ao deslocamento das bases dos sítios de troca pelo ferro e manganês reduzido.

Os valores médios para o tratamento inundado foram significativamente superiores ao não inundado. No solo O os valores médios foram 274,2 e 411,9 mgK/kg, 22 e 28 mmol_cCa/dm³ e 5,1 a 8,2 mmol_cMg/dm³. No solo GP, os teores de Mg não variaram com a inundação, e os valores médios de K e Ca foram, respectivamente, 340,0 e 421,7mg/kg, e 20 e 23mmol_c/dm³.

As doses de fósforo adicionadas influenciaram os teores de Mg nos solo, com aumentos significativos. O efeito do fósforo no solo O ocorreu somente no solo não inundado, obedecendo o modelo quadrático, valores máximos de 6,5mmol_c/dm³ na dose 183mgP/kg (Figura 4). No teste de médias, o tratamento inundado diferiu do não inundado apenas na dose 450mg/kg (Tabela 4). No

tratamento inundado, as doses de P não alteraram os níveis de magnésio, apresentando valor médio de 8,2mmol/dm³.

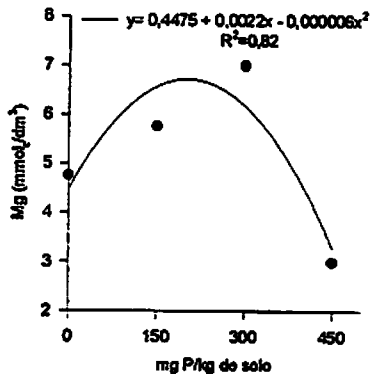


FIGURA 4. Efeito de doses de fósforo nos teores de magnésio do solo O não inundado.

No solo GP, os teores de magnésio variaram segundo as doses de fósforo num modelo linear crescente, independente do efeito da inundação. Os valores chegaram a variar de 7 a 13mmol/dm³, como pode ser visto na Figura 5.

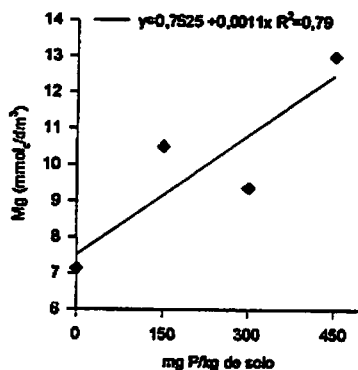


FIGURA 5. Efeito de doses de fósforo no teor de magnésio no solo GP.

5.1.4 Soma de bases (SB)

Com o aumento de K, Ca e Mg, espera-se que a soma de bases também aumente com a inundação. Dentre os cátions, o Ca foi o que mais contribuiu com o aumento da SB, principalmente no solo O.

A SB foi maior no solo O, com valores médios de 34 e 47mmol/dm³ para o solo não inundado e inundado, respectivamente. No solo GP, os valores médios da SB foram de 7 e 23mmol/dm³, com maior valor para o solo inundado.

5.1.5 Alumínio

Os teores de alumínio nos solos foram reduzidos a níveis menos tóxicos com a inundação nos solos O e GP, porém não ocorreu diferença significativa entre as doses de fósforo.

No solo O, o teor médio de Al trocável foi de 7 e 23mmol/dm³, para tratamento inundado e não inundado, respectivamente, sendo que o seu valor inicial, antes dos tratamentos, foi de 18mmol/dm³.

No solo GP sem inundação, o Al sofreu um aumento de 11mmol/dm³ para 16mmol/dm³, chegando, com a inundação, a níveis estatisticamente inferiores de 14mmol/dm³, porém ainda acima do valor inicial encontrado antes do efeito dos tratamentos.

A redução nos teores de Al em solos inundados ocorreu devido o aumento de pH. Em pH acima de 5, formas solúveis de Al são precipitadas em Al(OH)₃ (McBride, 1994). O solo O, que inicialmente apresentou maior teor de Al, foi o melhor solo em reduzir os teores de Al com a inundação, apesar dos valores do pH serem inferiores aos do solo GP.

5.1.6 H+Al

A concentração de Al+H foi, significativamente alterada pela inundação, apresentando valores médios de 109 e 165mmol/dm³ para o solo O inundado e não inundado, respectivamente.

No solo GP, os valores de Al+H foram influenciados pela intera o inundação x dose de fósforo, apresentando um modelo linear crescente para o solo não inundado (Figura 06), em valores que vão de 83 a 110mmol/dm³. No solo inundado não houve altera es nos seus valores com acréscimo de fósforo, apresentando valor médio de 46mmol/dm³. Na Tabela 5, os testes de compara o das médias apresentaram diferenças em todas as doses aplicadas, favorecendo o tratamento inundado.

No tratamento com inundação ocorreu redução na acidez potencial em 34% e 20%, respectivamente, nos solos GP e O, em rela o ao valor encontrado antes da aplica o dos tratamentos. O consumo de H⁺ nas rea es de redução e a precipita o Al nos solos inundados conduzem a estes resultados.

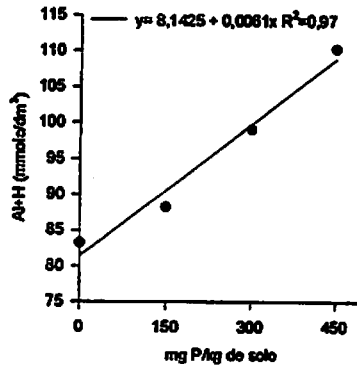


FIGURA 6. Efeito de doses de fósforo nos teores de Al+H do solo GP não inundado.

TABELA 5. Valores de Al+H, Fe e B no solo GP inundado e não inundado com diferentes doses de fósforo.

	Doses de P (mg/kg)			
	0	150	300	450
	Al+H (mmol/dm³)			
Inundado	50,2 b	45,0 b	43,7 b	45,0 b
Não Inundado	83,2 a	88,2 a	99,0 a	110,2 a
	Fe (mg/dm³)			
Inundado	1010,4 a	1110,7 a	1181,6 a	1177,0 a
Não Inundado	684,4 b	656,6 b	701,6 b	758,6 b
	B (mg/dm³)			
Inundado	0,28 a	0,31 a	0,24 a	0,25 a
Não Inundado	0,25 a	0,24 a	0,14 b	0,20 a

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si ao nível de 5% de significância.

5.1.7 V (saturação por bases na CTC a pH 7,0) e m (saturação por alumínio na CTC efetiva).

O V e o m variaram com a inundação para os dois solos estudados. O tratamento com inundação resultou em maiores valores V e menores para m, compreendendo de 17,2 a 30,2% e 28,5 a 48,9% para a variável V e 13,1 a 40,4% e 3,2 a 29,6% para m, nos solos O e GP respectivamente.

O aumento de V e redução de m nos solos estudados se deve, basicamente, ao aumento da soma de bases e redução da acidez potencial ocorrida nos solos inundados.

5.1.8 T (CTC a pH 7) e t (CTC efetiva)

Para T no solo O, a intera o inundação x fósforo foi significativa enquanto que para t, não foi verificado efeito de tratamento, apresentando valor médio 55 mmol/dm³. No solo O não inundado, os valores de T se ajustaram num modelo quadrático, com ponto mínimo na dose 159mgP/kg de 192mmol/dm³ (Figura 7). No tratamento inundado não ocorreu variação nos valores de T com a adição de fósforo, apresentando valor médio de 156mmol/dm³, inferior ao não inundado. Isso pode ser melhor verificado na Tabela 4, onde em todas as doses de fósforo, o tratamento não inundado foi estatisticamente superior.

No solo GP, T e t variaram segundo o tratamento inundação, independentemente das doses de fósforo. A inundação influenciou negativamente os teores de T e t., apresentando valores médios de 87 e 135 mmol/dm³ e de 46 e 54 mmol/dm³, respectivamente.

A prática de inundação reduziu a CTC potencial no solo O e GP em 22% e 31%; e a CTC efetiva no solo GP em 11%, respectivamente. A redução da acidez potencial, principalmente  ns H⁺ e da concentração de Al contribuiu para reduzir a CTC potencial nos solos e a CTC efetiva no solo G,. O aumento

expressivo da SB no solo O inundado e redução na concentração de Al contribuíram para manter o valor da CTCefetiva neste solo.

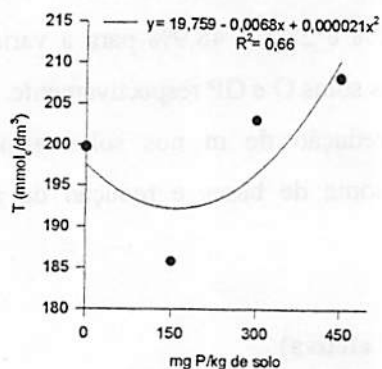


FIGURA 7. Efeito de doses de fósforo nos teores de T do solo O não inundado.

3.1.9 Boro, cobre, ferro, manganês e zinco

A inundação proporcionou aumento na disponibilidade de Cu, Fe, Mn nos solos O e GP. Os teores de Zn aumentaram no solo O e reduziram no solo GP. Os teores de B não foram alterados pela inundação, sendo verificado apenas o efeito da intera o dos tratamentos no solo GP. A adi o de fósforo promoveu aumento para Fe e Zn no solo GP não inundado e inundado.

O aumento na disponibilidade de micronutrientes nos solos inundados foi mais expressivo no solo O, exceto para o ferro, que no solo GP inundado foi quatro vezes maior. A quantidade e qualidade de matéria orgânica e os teores de óxido hidróxido de ferro podem justificar estes resultados. O aumento na disponibilidade dos micronutrientes, Fe e Mn, deve-se ao processo de redu o de compostos do solo com inunda o. Os demais micronutrientes, B, Cu e Zn, embora não sejam envolvidos diretamente nas rea o de oxirredu o, podem ter

sua solubilidade afetada pelas mudanças do pH, pela redução do Fe ou pelos agentes orgânicos formadores de complexo. Assim, é comum o aumento nos teores de Cu e Zn, devido o aumento de pH ou, a diminuição, devido a complexação por agentes orgânicos. Os teores de B podem ser aumentados em solos inundados (Ponnamperuma, 1972). A aplicação de fertilizantes fosfatados pode causar alterações na disponibilidade de micronutrientes (Patra et al., 1981), reduzindo teores de Fe, Zn e Cu. Tais efeitos não foram verificados nos solos em questão, ao contrário, no solo GP as doses de fósforo favoreceram aumentos de Fe e Zn, não influenciando o comportamento dos demais micronutrientes.

O B foi o único micronutriente a não ser influenciado pelos tratamentos, com valor médio de 0,12mg/kg. No solo GP, a interação inundação x fósforo foi significativa e os valores de B se ajustaram a um modelo linear decrescente com aumento de doses de fósforo no tratamento não inundado (Figura 8). No tratamento inundado, essa variação não ocorreu e o valor médio de B foi de 0,25 mg/kg. Na Tabela 5, a dose 300mgP/kg de solo diferiu para os dois tratamentos, com valores menores para o tratamento não inundado.

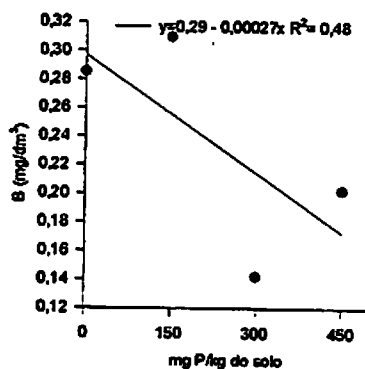


FIGURA 8. Efeito de doses de fósforo nos teores de boro do solo GP não inundado.

Os demais micronutrientes, como o cobre, o ferro, o manganês e o zinco, que tiveram seus teores aumentados com a inundação, apresentaram valores médios de no solo O, de 1,9 e 3,mg/kg para o cobre, 182,1 e 250,6mg/kg para o ferro, de 35,2 e 89,0 mg/kg para o manganês, e de 3,1 e 6,1mg/kg para o zinco. No solo GP, o cobre e o manganês tiveram seus valores médios de 1,7 e 1,9mg/kg para o cobre e de 9,1 e 16,2mg/kg para o manganês. O zinco apresentou teor variando de 2,9 e 4,2mg/kg, sendo o menor valor para o solo inundado. Apesar da influência das doses de fósforo nos teores de Zn, devido ao baixo R^2 e desvio significativo dos modelos matemáticos, não será exibido nenhum modelo para explicar o comportamento de zinco em função das doses de fósforo.

Os teores de ferro foram influenciados pela interação inundação x fósforo no solo GP, com modelo quadrático para o tratamento inundado e linear crescente para o não inundado (Figura 9).

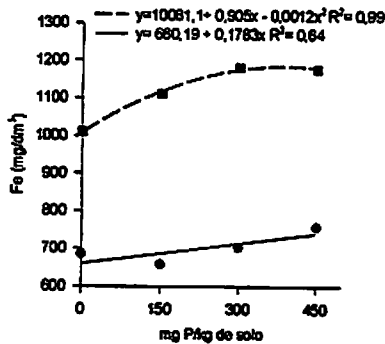


FIGURA 9. Efeito da interação inundação x fósforo no teor de ferro no solo GP inundado (---;■) e não inundado (—;●)

No inundado, o maior valor de Fe (1178,7) foi atingido na dose 377mgP/kg de solo. No tratamento não inundado, os teores de Fe variaram linearmente, de 684,4 a 758,6mg/kg em função das doses de fósforo. No teste de média da Tabela 5, todas as doses de fósforo diferiram, estatisticamente, entre o inundado e não inundado, destacando-se o primeiro com maiores concentrações.

5.2 Teor de nutrientes na matéria seca.

O resumo dos níveis de significância e os valores médios dos teores de macro e micronutrientes na matéria seca estão, respectivamente, na Tabela 6 e 7.

TABELA 6. Significância estatística para os teores de macro e micronutrientes na matéria seca da parte aérea, e teores de P na matéria seca de raízes (PRa) de plantas jovens de açaí no solo O e GP, em função de doses de fósforo, inundação e suas interações.

TEORES DE NUTRIENTES NA PLANTA												
SOLO O												
Causa de variação	N	P	PRa	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fósforo (A)	ns	**	**	*	**	ns	*	*	**	**	**	*
Inundação (B)	ns	**	**	ns	**	ns	ns	ns	ns	**	**	**
A*B	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	ns
SOLO GP												
Fósforo (A)	*	**	**	ns	**	ns	**	**	**	ns	**	ns
Inundação (B)	ns	**	**	**	**	ns	ns	*	ns	**	**	**
A*B	ns	ns	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns

* e ** representam valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns representa valores não significativos a nível de 5% de probabilidade

TABELA 7. Médias (4 repetições) dos teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea de plantas jovens de açai no solo O e GP.

TEORES DE NUTRIENTES NA MSPA											
SOLO O - INUNDADO											
P	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg/kg		dag/kg				mg/kg					
O	1,81	0,033	1,55	0,70	0,17	0,08	11,12	8,25	261,2	2319,3	24,8
150	1,71	0,040	1,24	0,78	0,20	0,06	10,42	8,22	229,8	2199,3	35,9
300	1,72	0,047	1,23	0,81	0,17	0,09	9,35	5,33	195,0	2021,3	25,1
450	1,57	0,043	1,23	0,87	0,17	0,07	8,70	5,08	152,6	2471,0	28,7
média	1,7	0,041	1,31	0,79	0,18	0,08	9,9	6,7	209,7	2252,7	28,6
NÃO INUNDADO											
O	1,93	0,055	1,39	0,80	0,18	0,07	10,13	8,34	150,5	1449,0	29,2
150	1,70	0,043	1,44	0,94	0,21	0,06	8,49	6,55	161,5	2891,9	36,2
300	2,05	0,070	1,32	1,04	0,19	0,08	9,56	7,58	122,0	3484,4	37,4
450	1,66	0,080	1,41	0,95	0,27	0,06	7,64	6,76	111,1	2918,1	37,4
média	1,8	0,062	1,39	0,93	0,21	0,07	9,0	7,3	136,3	2685,9	35,1
SOLO GP - INUNDADO											
P	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg/kg		dag/kg				mg/kg					
P	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
O	2,35	0,035	1,38	0,54	0,15	0,25	18,16	9,84	418,9	1111,9	32,9
150	1,96	0,058	1,16	0,53	0,14	0,20	25,90	7,66	310,4	1317,1	37,8
300	2,00	0,071	1,24	0,61	0,15	0,20	24,79	7,05	360,7	1523,6	34,3
450	2,00	0,077	1,19	0,54	0,15	0,16	20,08	4,52	304,5	1268,1	31,8
média	2,1	0,060	1,24	0,56	0,15	0,20	22,2	7,3	348,6	1305,2	34,2
NÃO INUNDADO											
O	2,26	0,056	1,32	0,55	0,14	0,17	17,61	9,57	185,5	1475,5	40,7
150	1,70	0,066	1,60	0,69	0,16	0,22	18,16	6,94	179,8	1683,7	45,3
300	1,89	0,077	1,44	0,75	0,16	0,23	23,82	6,59	180,8	1768,3	43,1
450	1,78	0,080	1,63	0,66	0,16	0,15	19,70	6,92	160,3	1977,4	47,0
média	1,9	0,070	1,50	0,66	0,16	0,19	19,8	7,5	176,6	1726,2	44,0

De acordo com as Tabelas 6 e 7, o efeito da inundação alterou os teores de macro e micronutrientes na matéria seca da parte aérea do açaí nos solos estudados. No solo O, a inundação reduziu os teores de P, Ca, Mn e Zn; não alterou os teores de N, K, Mg, S, B e Cu; e aumentou teores de Fe. No solo GP, a inundação reduziu os teores de P, K, Ca, B, Cu, Mn e Zn, não alterou os teores de N, Mg, S, e aumentou teores de Fe.

A adição de fósforo ao solo O proporcionou aumento nos teores de P, Ca, Mn e reduziu teores de K, B, Cu e Fe. No solo GP, a adição de fósforo favoreceu aumento de P, K, Ca, Mn, e reduziu teores de N e de Cu. Várias são as causas que podem explicar estes resultados, como as alterações na disponibilidade desses nutrientes com a inundação, a interação entre os íons desencadeada pelo aumento de P no solo e o efeito depressivo da inundação na absorção de íons devido à redução de energia metabólica para absorção e na taxa de transpiração (capítulo 2).

5.2.1 Macronutrientes:

O teor de nitrogênio na matéria seca da parte aérea não variou com o efeito dos tratamentos, exceto no solo GP com as doses crescentes de fósforo ($y = 1,28 + e^{(0,0039x + 0,000065x^2)}$, $R^2 = 0,84$). Conforme a Figura 10, houve um decréscimo exponencial nos teores de N, chegando ao valor mínimo de 1,84dag/kg MSPA na dose de 303mgP/kg de solo, valor superior aos teores médios encontrados no solo O (1,77dag/kg de MSPA).

Os teores de fósforo na matéria seca da raiz e parte aérea variaram com o efeito dos tratamentos com interação inundação x fósforo o solo O (Tabela 6).

Os teores de P na MSPA e MSRA foram reduzidos, respectivamente, a 66% e a 63% com a inundação do solo O. A aplicação de doses de fósforo aumentou os teores de fósforo na raiz, obedecendo a um modelo linear para o solo não inundado ($y = 0,0527 + 0,000091x$, $R^2 = 0,86$) e inundado ($y = 0,037 + 0,00038x$, $R^2 = 0,69$), variando, respectivamente, de 0,05 a 0,09dag/kg e 0,03 a 0,05dag/kg (Figura 11).

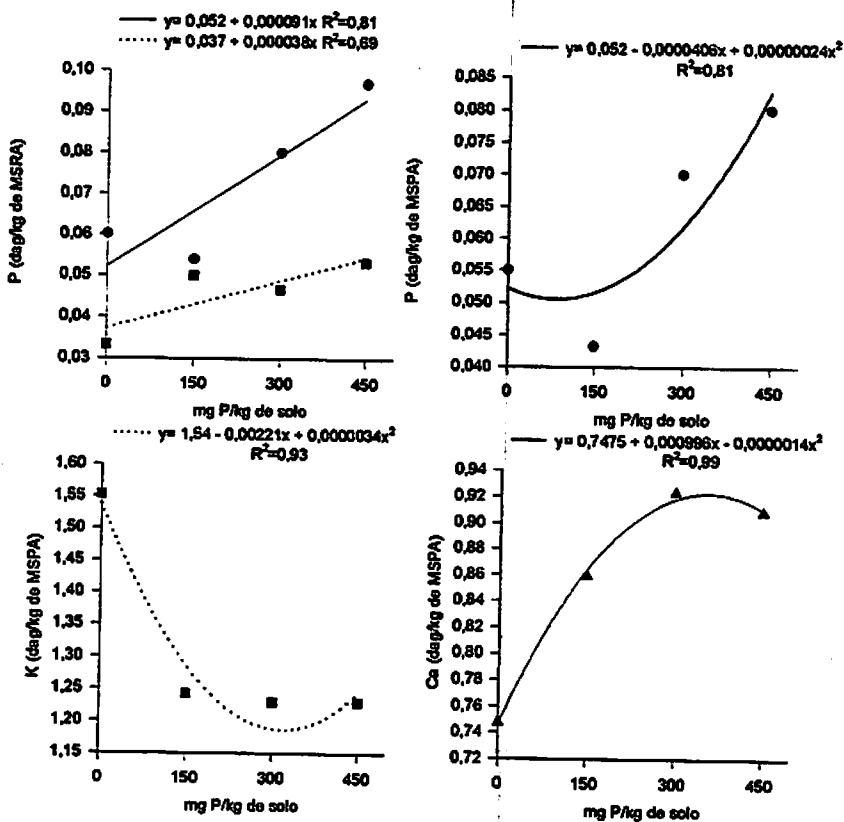


FIGURA 11. Efeito do fósforo (—; ♦) nos teores de macronutrientes da matéria seca do açaí no solo O, inundado (—; ■), não inundado(—; ●).

Na MSPA, o teor de fósforo não variou com as doses de P no solo O inundado, apresentando valor médio de 0,041dag/kg. No solo O não inundado, o modelo quadrático ($y = 0,0522 - 0,000041x + 0,00000024x^2$, $R^2 = 0,81$) foi que mais refletiu a tendência dos dados com teores mínimos de 0,05dag/kg e superiores aos encontrados no solo inundado, exceto para a dose 150mgP/kg de solo onde os teores não diferiram estatisticamente (Tabela 7).

TABELA 7. Teores de P (P-MSPA), K, Cu e Mn na parte aérea e teores de P na raiz (P-MSRa) da matéria seca do açaí, no solo O inundado e não inundado com diferentes doses de fósforo.

	Doses de P (mg/kg)			
	0	150	300	450
	P-MSRa (dag/kg)			
Não Inundado	0,06 a	0,05 a	0,08 a	0,10 a
Inundado	0,03 b	0,05 a	0,05 b	0,05 b
	P-MSPA(dag/kg)			
Não Inundado	0,05 a	0,04 a	0,07 a	0,08 a
Inundado	0,03 b	0,04 a	0,05 b	0,04 b
	K (dag/kg)			
Não Inundado	1,38 a	1,44 a	1,32 a	1,41 a
Inundado	1,55 a	1,24 b	2,23 a	1,23 b
	Cu (mg/kg)			
Não Inundado	8,34 a	6,55 a	7,58 a	6,76 a
Inundado	8,25 a	8,22 a	5,33 b	5,07 a
	Mn (mg/kg)			
Não Inundado	1.449 b	2.891,9 a	3.484,4 a	2.918,1 a
Inundado	2.319,3 a	2.199,3 b	2.021,3 b	2.471 b

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si ao nível de 5% de significância.

O aumento de P na MSRA em 60% e o não aumento de P na MSPA com a aplicação de fósforo no solo O inundado, podem ter ocorrido devido a problemas na translocação, processo dependente de energia metabólica. Topa e Cheeseman (1994), estudando os efeitos da hipoxia ($<50\mu\text{M O}_2$) por 5,3 semanas na absorção e transporte de fósforo em *Pinus serotina* Michx, uma espécie de pinus de moderada tolerância a inundação, verificaram que o acúmulo de P_{32} nas raízes não foi afetado. No entanto, o seu transporte para a parte aérea foi reduzido em 50% sob condição de hipoxia. De acordo com os autores, tanto o influxo como o transporte são processos dependentes de O_2 , e o transporte pode ser mais sensível á condição de solução em hipoxia que o influxo através da plasmalema da epiderme e do córtex, com a formação de aerênquima suportando a substancial quantidade de P_{32} absorvido e transportado.

A redução do teor de P na MSPA (85%) e na MSRA (79%), com a inundação, foi também verificada no solo GP, só que em menor proporção. O teor de P apresentou valor médio de 0,06 a 0,08dag/kg na MSRA e de 0,06 a 0,07dag/kg na MSPA, com maiores teores para o solo não inundado.

As doses de P no solo elevaram os teores de P na MSPA e MSRA, independente do efeito da inundação. Os teores de P na MSRA obedeceram a um modelo linear crescente ($y = 0,054 + 0,0000913x$, $R^2 = 0,95$) e na MSPA, um modelo quadrático ($y = 0,046 + 0,000136x - 0,00000014x^2$, $R^2 = 0,99$), variando de 0,052-0,091dagP/kg MSRA, e de 0,046-0,078dagP/kg MSPA (Figura 10).

Os teores médios de P na matéria seca foram maiores no solo GP, mas refletiu em maior ganho de produção de matéria seca (capítulo 2), indicando que outros fatores podem ter contribuído para menor ganho de matéria seca em plantas jovens de açaí crescendo neste solo.

É importante destacar o baixo teor de P requerido para o desenvolvimento de plantas de açaí, muito abaixo da faixa de teores citada por Marschner (1997) para o crescimento de plantas na fase vegetativa, de 0,3-0,5%.

Os níveis de potássio na matéria seca da parte aérea apresentaram interação inundação x fósforo significativa. No solo O, o modelo para o tratamento inundado foi quadrático ($y = 1,539 - 0,00221x - 0,0000034x^2$, $R^2 = 0,93$), com ponto mínimo de 1,18dag/kg na dose 320mgP/kg de solo. No tratamento não inundado, as doses de fósforo não alteraram os teores de potássio, com valores médios de 1,38dag/kg. As doses 150 e 450mgP/kg de solo foram as que apresentaram diferença significativa entre o tratamento inundado e não inundado, com menores teores de potássio na matéria seca da parte aérea do açaí no solo inundado (Tabela 7)

No solo GP inundado, a aplica o de doses de fósforo não alterou os teores de potássio, apresentando teores médios de 1,24dag/kg. No tratamento não inundado, a varia o obedeceu ao modelo linear crescente ($y = 1,38 + 0,000508x$, $R^2 = 0,47$), porém, com baixo CV e com desvio significativo do modelo. Nas doses 150 e 450mgP/kg de solo, o tratamento inundado foi superior ao não inundado (Tabela 8).

TABELA 8. Teores de K e S na matéria seca da parte aérea do açaí, no solo GP inundado e não inundado com diferentes doses de fósforo.

	Doses de P (mg/kg)			
	0	150	300	450
	K (dag/kg)			
Não Inundado	1,32 a	1,59 a	1,43 a	1,63 a
Inundado	1,38 a	1,16 b	2,24 a	1,19 b
	S (dag/kg)			
Não Inundado	0,17 a	0,22 a	0,23 a	0,15 a
Inundado	0,25 b	0,20 a	0,20 a	0,16 a

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si ao nível de 5% de significância.

Os teores de potássio na planta não foram reduzidos com a inundação do solo O, provavelmente devido aos altos teores de potássio disponibilizados com a inundação. As doses de fósforo contribuíram para redução de teores de potássio na parte aérea da planta, possivelmente devido à inibição competitiva atribuída ao aumento na absorção de Ca com a adição de fósforo ao solo até a dose 300mgP/kg de solo. No solo GP, o comportamento foi inverso, isto é, a inundação reduziu teores de K na planta e o fósforo favoreceu o aumento nos teores de K no solo não inundado. O aumento de K no solo não satisfatório com a inundação e a redução da área de absorção (MSRA) podem justificar estes resultados, assim como o aumento na absorção de cálcio com as doses de fósforo, em menor escala, favoreceram o efeito sinérgico na absorção de potássio. As interações entre os íons Ca e K são bem conhecidas, podendo ser positiva ou não, de acordo com as concentrações de Ca na solução externa. O Ca em concentrações não muito elevadas estimula a absorção de K e em altas concentrações a absorção de K pode ser inibida (Marschner, 1997, Malavolta et al., 1997).

O cálcio apresentou variações em seus teores com efeito da inundação e do fósforo, independentemente. No solo O, os teores médios de cálcio foram de 0,79 a 0,93dag/kg, para o solo inundado e não inundado, respectivamente. Menores teores foram encontrados no solo GP, 0,55 a 0,66dag/kg, com maiores teores também para o tratamento não inundado. O efeito das doses de fósforo sobre os teores de cálcio na MSPA no solo O e GP foi positivo, seguindo um modelo quadrático ($y = 0,7458 + 0,000996x - 0,0000014x^2$, $R^2 = 0,99$ / O; $y = 0,534 + 0,00088x - 0,0000016x^2$, $R^2 = 0,89$ / GP), com ponto máximo de 0,92dag/kg na dose 324mgP/kg de solo para o solo O, e de 0,66dag/kg na dose 280mgP/kg de solo para o solo GP.

O Ca é um elemento absorvido preferencialmente por fluxo de massa, logo a redução na transpiração e na área de absorção em solo inundado causou

redução na sua absorção. Esse efeito foi menos prejudicial no solo O por apresentar maior concentração de Ca. As doses de fósforo aumentaram a produção de MSRA, proporcionando aumento na área de absorção, melhorando o estado nutricional da planta.

Os teores de magnésio na matéria seca da parte aérea não variaram com efeito dos tratamentos, apresentando, respectivamente, valor médio de 0,19dag/kg e 0,15dag/kg, para os solos O e GP. O aumento de Mg no solo com a inundação não refletiu em aumento estatístico na planta.

A inundação não alterou os teores de S na planta em ambos os solos. No entanto, a adição de doses de fósforo ao solo favoreceu reduções lineares decrescentes ($y=0,25 - 0,00019x$, $R^2=0,86$) em plantas crescendo no solo GP inundado, indicando inibição na absorção de íons SO_4^{2-} pelo $H_2PO_4^-$. O modelo quadrático ($y= 0,165 + 0,000599x - 0,0000014x^2$, $R^2= 0,97$) refletiu a tendência para os teores obtidos com o solo GP não inundado, neste modelo, o ponto de máximo (0,23dag/kg) foi atingido na dose 218mgP/kg de solo.

Os teores de enxofre na matéria seca da parte aérea variaram com doses crescentes de fósforo no solo O. No entanto, devido ao não ajustamento de equações, não foi encontrado nenhum modelo para explicar a tendência dos dados. Os valores encontrados para o enxofre foram 0,07, 0,06, 0,08 e 0,06dag/kg para as doses de 0, 150, 300 e 450mgP/kg de solo, respectivamente. Esses valores foram inferiores ao encontrado no solo GP.

5.2.2 Micronutrientes

O comportamento dos teores de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) podem ser visualizados nas Figuras 12 e 13.

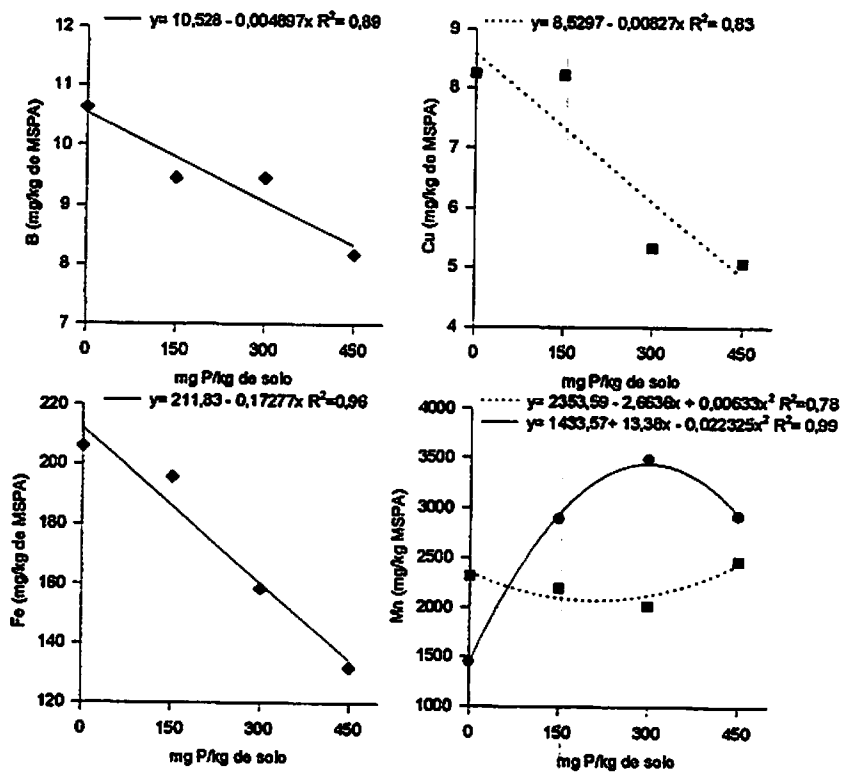


FIGURA 12. Efeito do fósforo (—; ♦) nos teores de micronutrientes da matéria seca do açaí no solo O, inundado (---; ■), não inundado(—; ●).

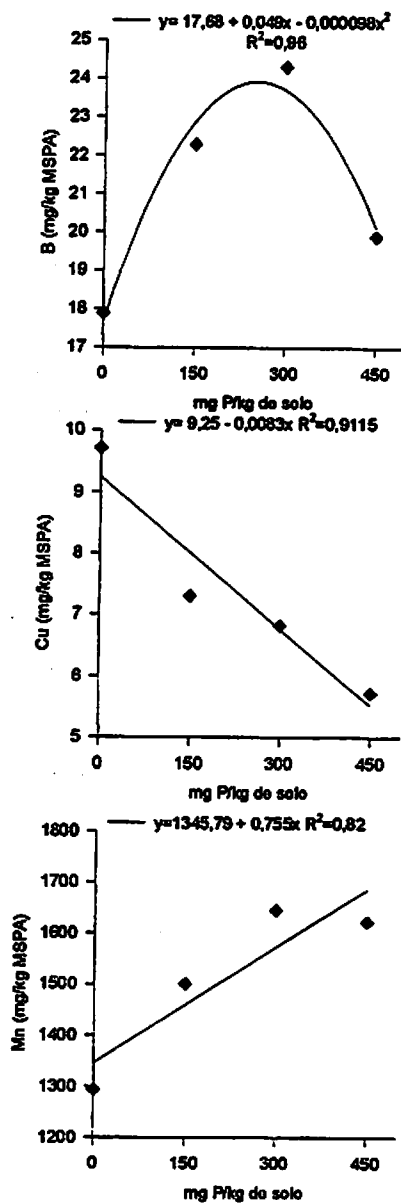


FIGURA 13. Efeito do fósforo nos teores de micronutrientes da matéria seca do açaí no solo GP.

O efeito da inundação nos teores de boro na matéria seca da parte aérea do açaí foi significativo apenas no solo GP, no qual verificou-se aumento de 19,94mg/kg para 22,2mg/kg. O fósforo alterou os teores de boro na matéria seca da parte aérea do açaí com redução linear ($y = 10,53 - 0,0049x$, $R^2 = 0,89$) no solo O e aumento quadrático ($y = 17,68 + 0,049x - 0,0000979x^2$, $R^2 = 0,96$), com ponto máximo de 23,92mg/kg na dose 252mgP/kg de solo, no solo GP.

Os teores médios de B na planta foram maiores no solo GP, concordando com os resultados de solo. No entanto, para o efeito dos tratamentos, os resultados de solo não corresponderam totalmente, já que não ocorreu alteração de B nos solos, exceto no solo GP não inundado, onde o B foi reduzido linearmente com o fósforo. No solo O não houve efeito de inundação nos teores de B na planta, correspondendo aos resultados de solo, onde o efeito da inundação também não ocorreu.

Os teores de cobre na MSPA variaram com a interação inundação x fósforo no solo O. No tratamento inundado, os teores variaram linearmente, diminuindo com aumento de fósforo ($y = 8,58 - 0,0000024x$, $R^2 = 0,83$). No tratamento não inundado, a aplicação de doses de fósforo não variou os teores de cobre neste solo, apresentando teores médios de 7,31mg/kg. Os teores de cobre só diferiram na dose 300mgP/kg de solo, com menores teores no tratamento inundado. Os teores de cobre para o solo GP variaram somente com as doses de fósforo, obedecendo modelo linear decrescente ($y = 9,25 - 0,0083x$, $R^2 = 0,91$), de 5,7 a 9,7mg/kg.

A absorção de Cu pode ter sido inibida pelo aumento da absorção de Ca na planta em solo O inundado com as doses crescentes de P, causando redução em seus teores. A dosagem de 300mgP/kg de solo correspondeu a maiores teores de Ca e menores de Cu na MSPA. O mesmo ocorreu para as plantas que cresceram em solo GP, no que se refere ao efeito inibidor de Ca na absorção de Cu (Malavolta et al., 1997).

Os teores de ferro variaram com o efeito da inundação e com a adição de fósforo no solo O. O tratamento inundado apresentou teores estatisticamente acima dos teores do tratamento não inundado, de 209,6 e 136,3mg/kg. O aumento de doses de fósforo resultou num decréscimo linear ($y = 211,8 - 0,173x$, $R^2 = 0,96$) no teor de ferro na matéria seca da parte aérea do açaí. No solo GP, o teor de ferro na matéria seca da parte aérea foi quase duas vezes maior no tratamento com inundação, com teor médio de 176,6 a 348,6mg/kg. Nesse caso, a dose de fósforo não afetou os teores de Fe na matéria seca da parte aérea, apesar de ter ocorrido aumentos de ferro no solo com as doses de fósforo.

Os teores de Fe na planta aumentaram com a inundação nos dois solos. No entanto, as doses de fósforo só influenciaram os teores de Fe na MSPA no solo O, onde maiores teores de P no solo resultaram em menores teores de Fe na planta. O aumento de Fe no solo com a inundação refletiu em aumento nos teores de Fe na planta. No solo GP, esse aumento ocorreu em maiores proporções por apresentar, potencialmente, maiores teores de óxidos de Fe, necessitando assim de maiores dosagens de P para reduzir a disponibilidade de Fe, evitando possíveis níveis de toxidez na planta. Os efeitos antagônicos entre o P e Fe foram estudados por Gupta et al. (1982), Singh e Singh (1983) e McKee Jr (1984). Os dois primeiros verificaram reduções na absorção de Fe, sendo que no trabalho de Gupta, esse efeito só foi verificado nas maiores doses de fósforo (90 mg/kg). O último autor referido não verificou redução na absorção de Fe com a dose de fósforo adicionada ao solo (100mg/kg).

A variação dos teores de manganês no solo O foi influenciada pela interação inundação x fósforo, resultando no modelo quadrático para o tratamento inundado ($y = 2353,6 - 2,66x + 0,00633x^2$, $R^2 = 0,78$) e não inundado ($y = 1433,6 + 13,4x - 0,0223x^2$, $R^2 = 0,99$), com pontos mínimo de 2073,4mg/kg na dose 210mgP/kg de solo e máximo de 3438,2mg/kg na dose 300mgP/kg de solo, respectivamente. Os teores de Mn diferiram estatisticamente em todas as

doses de fósforo, com maiores teores de manganês para o tratamento não inundado, exceto na ausência de P.

No solo GP, o manganês variou com o efeito dos tratamentos inundação e doses de fósforo. O efeito da inundação resultou em teores médios de manganês estatisticamente inferiores ao solo não inundado, de 1305,18 e 1726,2. O efeito de doses de fósforo também influenciou as doses de manganês, com um aumento linear ($y = 1345,78 + 0,755x$, $R^2 = 0,82$) nos teores de 1293,69 a 1622,75mg/kg.

A inundação proporcionou redução no teores de Mn na MSPA do açaí nos dois solos devido ao aumento na absorção de Fe. Os teores de fósforo aplicados no solo O resultaram em menores teores de Mn na planta quando inundada e maiores teores quando não inundada. A redução de Mn no solo O inundado pode ser devido aos altos teores de HPO_4^- disponibilizados durante a inundação. Já no solo GP, o efeito de doses de fósforo foi positivo por diminuir a absorção de Fe. Os altos teores de Fe no solo GP e maior disponibilidade de P no solo O com a inundação podem explicar a variação do efeito de P nos teores de B na planta. Vale ressaltar os altos teores de Mn, caracterizando a espécie como acumuladora de Mn, principalmente no solo O.

Os níveis de zinco na MSPA variaram com efeito da inundação e do fósforo no solo O. A inundação reduziu os teores de Zn de 35,06 para 28,61mg/kg. Devido ao não ajustamento de equações além da cúbica, não será exibido nenhum modelo para explicar a tendência dos dados com o efeito do fósforo no solo O. Os valores encontrados para o zinco foram 27,0, 36,1, 31,2 e 33,0mg/kg para as doses de 0, 150, 300 e 450mgP/kg de solo, respectivamente. No solo GP os teores de zinco sofreram variações somente com efeito da inundação, com redução significativa de 44,0 a 34,2mg/kg., quando o solo foi inundado.

Os teores de zinco na planta foram reduzidos com a inundação em ambos os solos, com maiores valores para o solo GP. A redução do teor de Zn no solo GP e aumento no solo O não refletiram nos teores nas plantas. O efeito do fósforo nos teores de Zn na planta só foi verificado no solo O, com a tendência de aumento com a dose 150mgP/kg de solo e decréscimo nas doses seguintes. Singh e Singh (1980) e McKee Jr (1984) relatam em seus trabalhos reduções nos teores de Zn em arroz e pinus com a aplicação de fósforo em solo inundado. Essa tendência não foi observada para o açaí.

5.3 Acúmulo de nutrientes na matéria seca

O resumo dos níveis de significância e os valores médios dos totais de macro e micronutrientes estão, respectivamente, na Tabela 9 e na Tabela 10.

TABELA 9. Significância estatística para acúmulo de macro e micronutrientes na matéria seca da parte aérea, e acúmulo de P na matéria seca de raízes (PRa) de plantas jovens de açaí no solo O e GP, em função da dose de fósforo, da inundação e da interação inundação x fósforo.

ACÚMULO DE NUTRIENTES NA PLANTA												
SOLO O												
Causa de variação	N	P	PRa	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fósforo (A)	**	**	**	**	**	**	*	*	**	**	**	**
Inundação (B)	**	**	**	**	**	*	ns	ns	**	**	**	**
A*B	**	**	**	**	**	**	*	*	**	**	**	**
SOLO GP												
Fósforo (A)	**	**	**	**	**	**	**	*	*	**	**	**
Inundação (B)	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	*	**	**
A*B	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

* e ** representam valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns representa valores não significativo a nível de 5% de probabilidade

TABELA 10. Médias (4 repetições) dos nutrientes acumulados na matéria seca da parte aérea de plantas jovens de açaí no solo O e GP.

ACÚMULO DE NUTRIENTES NA MSPA											
SOLO O - INUNDADO											
P	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg/kg	mg						µg				
O	77,4	1,4	65,6	29,6	7,2	3,3	48,1	36,3	1096,1	9899,7	106,4
150	64,9	1,5	47,4	28,2	7,0	2,3	40,4	29,2	818,2	7985,2	127,9
300	286,0	7,9	207,3	135,8	28,2	14,6	156,4	88,0	3229,1	33631,7	415,7
450	211,1	5,8	163,3	115,0	22,7	9,1	115,7	66,9	2000,6	32710,3	382,0
média	159,9	4,2	120,9	77,2	16,3	7,3	90,2	55,1	1786,0	21056,7	258,0
NÃO INUNDADO											
O	142,8	4,1	103,6	58,9	13,2	4,8	74,2	61,5	1096,7	10749,6	215,9
150	135,4	3,5	113,5	75,5	17,0	4,9	68,0	51,5	1296,6	23574,7	285,1
300	203,1	6,9	130,3	101,9	19,1	7,6	93,9	74,3	1187,9	34315,2	365,4
450	345,3	16,8	291,2	196,7	53,8	13,3	158,2	141,3	2306,6	60874,3	777,9
média	206,7	7,8	159,7	108,3	25,8	7,7	98,6	82,2	1472,0	32378,5	411,1
SOLO GP - INUNDADO											
P	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
mg/kg	mg						µg				
O	74,4	1,1	41,5	16,0	4,6	7,4	55,6	28,0	1195,9	3392,0	100,3
150	161,2	4,8	96,0	44,1	11,4	16,3	215,1	62,6	2524,7	10915,0	316,2
300	147,2	5,2	91,1	44,6	10,8	14,9	179,0	52,1	2660,0	11217,6	249,4
450	178,3	6,8	106,4	47,5	13,1	13,9	178,1	40,2	2688,2	11230,6	284,2
média	140,3	4,5	83,8	38,1	10,0	13,1	157,0	45,7	2267,2	9188,8	237,5
NÃO INUNDADO											
O	144,9	3,7	84,4	34,7	8,9	10,9	111,8	60,6	1175,2	9443,8	260,5
150	181,0	7,1	173,2	74,3	17,1	23,2	198,7	76,0	1975,3	18300,0	499,6
300	185,4	7,5	141,5	72,9	16,1	22,2	233,3	65,4	1781,2	17151,1	421,3
450	213,3	9,6	192,9	79,8	19,1	18,4	234,1	82,2	1933,7	23630,0	550,4
média	181,2	7,0	148,0	65,4	15,3	18,7	194,5	71,1	1716,4	17131,2	433,0

De acordo com as Tabelas 9 e 10, a inundação causou alterações em todos os nutrientes, exceto o boro e o enxofre para o solo O. O acúmulo de nutrientes foi reduzido com a inundação, devido à redução de matéria seca, sendo o Fe, o único nutriente que apresentou seus valores aumentados. As doses de fósforo, contribuíram para a melhorar resposta da planta à inundação quanto ao estado nutricional, principalmente no solo O onde ocorreu maior ganho de matéria seca. O solo GP destacou-se com maiores valores para os totais de Fe e B na planta. Os macronutrientes de maior acúmulo seguem a ordem decrescente no solo O: N>K>Ca>Mg>S>P; e no solo GP: N>K>Ca> S > Mg >P.

5.3.1 Macronutrientes

Os macronutrientes acumulados na matéria seca da parte aérea, para o solo O, apresentaram interação significativa inundação x fósforo, com modelos exponencial para o tratamento inundado e quadrático para o tratamento não inundado, conforme as Figuras 14 e 16. O fósforo quantificado na matéria seca da raiz seguiu modelo linear no tratamento inundado. No solo GP, o efeito de doses de fósforo obedeceu ao modelo quadrático, independente do efeito da inundação (Figuras 15 e 17)

O teste de médias dos macronutrientes acumulados para o efeito inundação dentro de doses de fósforo pode ser visto na Tabela 11.

O acúmulo de N na matéria seca da parte aérea de plantas jovens de açaí foi reduzido a 77% em ambos os solos, com maior acúmulo no solo O. As doses de fósforo adicionadas ao solo favoreceram o aumento no acúmulo de N na matéria seca. No solo O, o acúmulo de N apresentou o modelo $y = 50,91 + e^{(0,032x - 0,000045x^2)}$, $R^2 = 0,96$, com ponto máximo de 307,9mg na dose 350mgP/kg de solo para solo inundado, o equivalente a 370% de aumento no acúmulo de N em plantas no solo O inundado. O acúmulo de N para solo O não inundado

apresentou modelo quadrático ($y = 142,77 - 0,298x + 0,0017x^2$, $R^2=1,0$), com aumentos de 242% no acúmulo de N na dose máxima.

TABELA 11. Efeito da inundação e doses de fósforo para totais de macronutrientes da matéria seca do açaí, no solo O.

	Doses de P (mg/kg)			
	0	150	300	450
N (mg)				
Não Inundado	142,8 a	135,4 a	203,1 b	345,3 a
Inundado	77,3 b	64,85 b	285,9 a	211,1 b
P-MSRa (mg)				
Não Inundado	2,9 a	2,5 a	4,8 a	11,5 a
Inundado	0,88 a	1,2 a	3,8 a	3,17 b
P-MSPA (mg)				
Não Inundado	4,1 a	3,4 a	6,9 b	16,8 a
Inundado	1,4 b	1,5 b	7,8 a	5,8 b
K (mg)				
Não Inundado	103,6 a	113,5 a	130,3 b	291,2 a
Inundado	65,6 a	47,4 b	207,2 a	163,28 b
Ca (mg)				
Não Inundado	58,9 a	75,5 a	101,9 b	196,7 a
Inundado	29,6 b	28,2 b	135,8 a	115,0 b
Mg (mg)				
Não Inundado	13,2 a	17,0 a	28,2 a	53,8 a
Inundado	7,1 a	7,0 a	19,1 a	22,7 b
S (mg)				
Não Inundado	4,8 a	4,9 a	7,5 b	13,3 a
Inundado	3,2 a	2,3 a	14,6 a	9,1 b

Médias seguidas por letras distintas na vertical diferem entre si ao nível de 5% de significância.

No solo GP, o acúmulo de N com efeito de doses de fósforo proporcionou aumento linear independente da inundação ($y = 122,67 + 0,169x$, $R^2 = 0,81$), com aumentos de 162%.

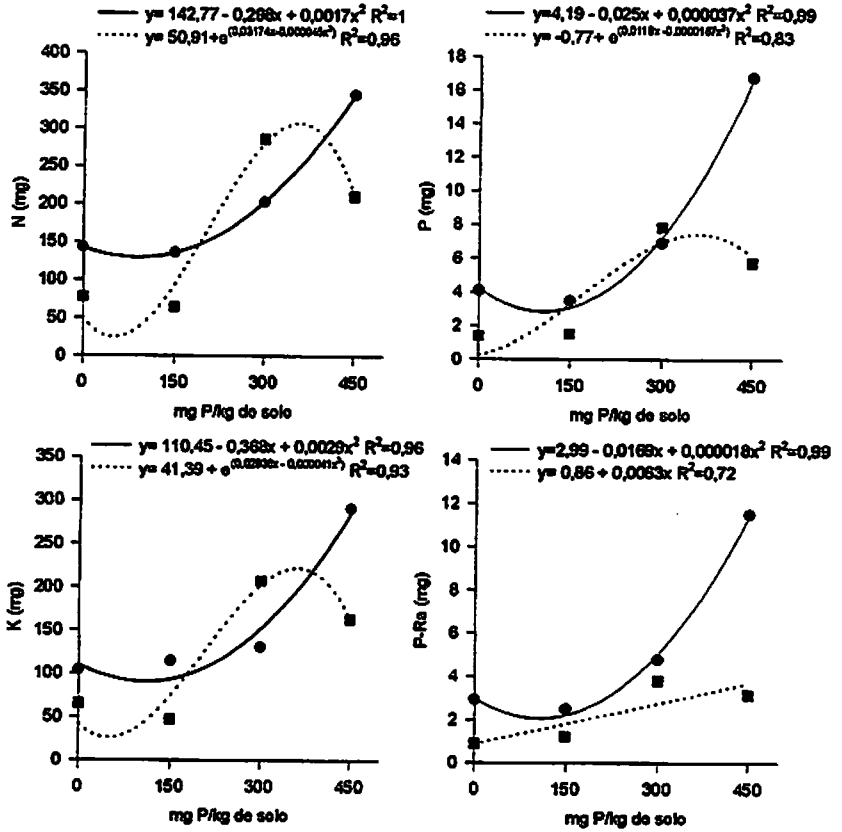


FIGURA 14. Efeito dos tratamentos no total de macronutrientes primários na matéria seca do açai no solo O, inundado (---; ■), não inundado (—; ●).

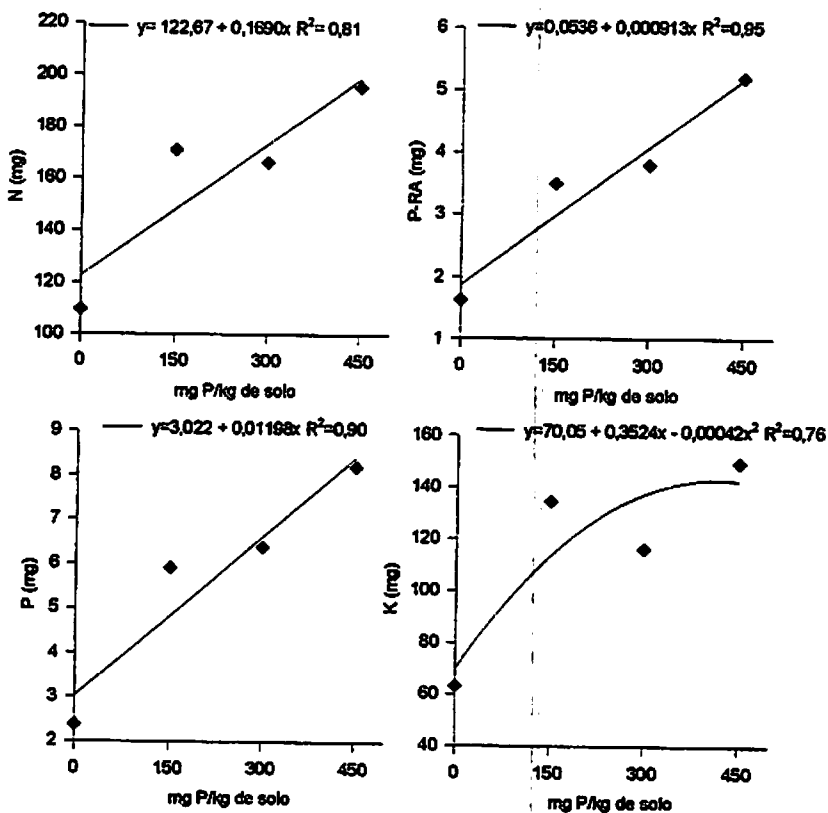


FIGURA 15. Efeito do fósforo nos totais de macronutrientes primários na matéria seca do açaí no solo GP.

O fósforo acumulado nas raízes e parte aérea apresentou valores reduzidos com a inundação a 42 e 54% e, 48 e 64%, para os solos O e GP, respectivamente. O acúmulo médio de fósforo foi semelhante entre os solos. O aumento de doses de P no solo proporcionou aumentos lineares no acúmulo de P no solo GP, independente da inundação. Na matéria seca de raiz ($y = 1,87 + 0,0074x$, $R^2 = 0,94$), o acúmulo de P variou em 321%, com a dose máxima

aplicada. Na matéria seca da parte aérea, o efeito das doses de fósforo ($y=3,02 + 0,12x$, $R^2=0,90$) resultou em aumento de 341%.

No solo O, o acúmulo de P- MSRA também apresentou um modelo linear crescente ($y= 0,86 + 0,0063x$, $R^2= .0,72$), com aumentos de 356%, na dose máxima aplicada em solo inundado. O modelo quadrático ($y=2,99 - 0,017x + 0,000079x^2$, $R^2=0,99$), no solo não inundado apresentou aumentos de 396% com a dose 450 mgP/kg de solo. O acúmulo de P na MSRA foi semelhante para o solo inundado e não inundado, diferindo estatisticamente apenas na dose 450mgP/kg de solo, com maiores valores para o tratamento não inundado.

O fósforo-MSPA (CV=30,25%) apresentou o modelo $y= - 0,768 + e^{(0,012x - 0,000017x^2)}$, $R^2= 0,83$, com ponto máximo de 7,3mg na dose 353mgP/kg de solo, para solo inundado, o equivalente ao aumento de 557%. Quando não inundado, ($y=4,19 - 0,025x + 0,00012x^2$, $R^2=0,99$), o aumento na dose máxima foi de 410%. Na MSPA, o acúmulo de P diferiu nas doses 0 e 450mgP/kg de solo, com maiores valores também para o tratamento não inundado

O acúmulo de K na matéria seca da parte aérea foi reduzido, respectivamente, a 76% e a 56% com a inundação em solos O e GP. Maiores acúmulos de K foram verificados no solo O, principalmente quando inundado. O fósforo também proporcionou aumento no acúmulo de K. No solo O, o aumento de K (CV=20,01%) seguiu um modelo exponencial ($y= 41,38 + e^{(0,029x - 0,000041x^2)}$, $R^2= 0,92$), com ponto máximo de 222,8mg de K na dose 354mgP/kg de solo, para solo inundado, um aumento de 316%. No solo não inundado ($y= 110,44 - 0,368x + 0,00017x^2$, $R^2=0,95$), o aumento foi em menor proporção, 281%, com a dose máxima aplicada. O acúmulo médio de K para as doses de fósforo apresentou valores superiores em plantas no solo inundado apenas na dose 300 mgP/kg de solo, não diferindo na ausência de fósforo.

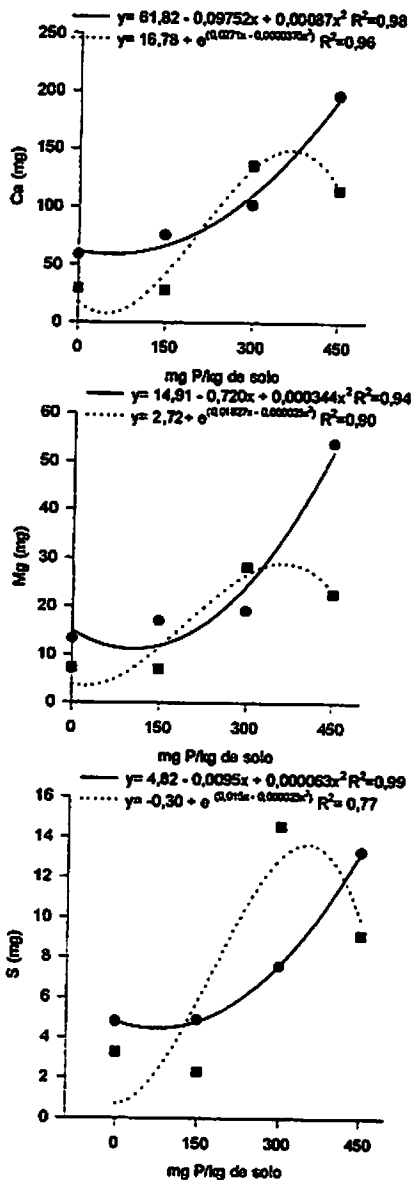


FIGURA 16. Efeito dos tratamentos no total de macronutrientes secundários na matéria seca do açaí no solo O, inundado (---;■) e não inundado(—;●).

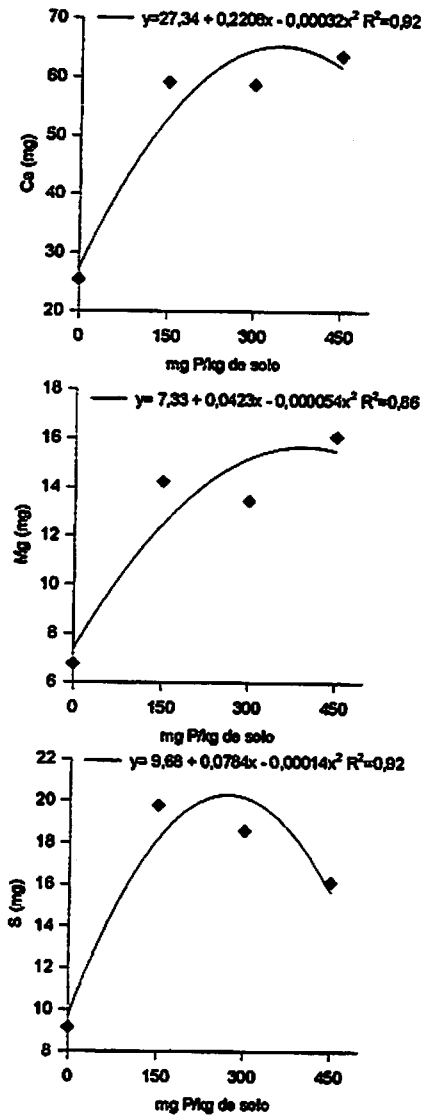


FIGURA 17. Efeito do fósforo nos totais de macronutrientes secundários na matéria seca do açaí no solo GP.

O efeito de doses de fósforo no solo GP elevou os níveis de K acumulado na parte aérea em 238%. O aumento seguiu um modelo quadrático ($y = 70,05 + 0,352x - 0,00042x^2$, $R^2 = 0,77$).

O acúmulo de Ca na matéria seca da parte aérea foi reduzido, respectivamente a 71% e a 58% com a inundação em solos O e GP. Maiores acúmulos de Ca foram verificados no solo O, favorecidos pelo fósforo. No solo O inundado, o aumento de Ca foi de 508%, na dose 361mgP/kg de solo, segundo o modelo $y = 16,78 + e^{(0,027x - 0,000037x^2)}$, $R^2 = 0,96$. No solo não inundado ($y = 61,82 - 0,097x + 0,00087x^2$, $R^2 = 0,98$), o aumento foi em menor proporção, 334%, na dose 450 mgP/kg de solo. O acúmulo médio de Ca para as doses de fósforo em sistema inundado, apresentou valores superiores na dose 300mgP/kg de solo em relação ao não inundado e inferiores nas demais doses.

No solo GP, o acúmulo de Ca sofreu aumentos de 253% com efeito das doses de fósforo, na dose 344mgP/kg de solo, de acordo com o modelo $y = 27,34 + 0,22x - 0,00032x^2$, $R^2 = 0,92$.

O acúmulo de Mg na matéria seca da parte aérea foi reduzido, respectivamente a 63% e a 65% com a inundação, nos solos O e GP. Maiores acúmulos de Mg foram verificados no solo O, favorecidas pelo o fósforo. No solo O inundado, o aumento de Mg foi de 392%, na dose 356mgP/kg de solo, segundo o modelo $y = 2,72 + e^{(0,018x - 0,000026x^2)}$, $R^2 = 0,90$. No solo não inundado ($y = 14,91 - 0,072x + 0,00034x^2$, $R^2 = 0,94$), o aumento foi em maior proporção, 407%, com a dose 450mgP/kg de solo. O acúmulo médio de Mg, para as doses de fósforo em sistema inundado só diferiu do não inundado na dose 450mgP/kg de solo.

No solo GP, o acúmulo de Mg (CV=20,96%) aumentou em 240% com efeito das doses de fósforo, na dose máxima aplicada, de acordo com o modelo ($y = 7,34 + 0,0423 - 0,000054x^2$, $R^2 = 0,86$).

O acúmulo de S na matéria seca da parte aérea apresentou resultados diferenciados com o efeito dos tratamentos entre os dois solos estudados. A inundação não ocasionou alterações no acúmulo de enxofre na matéria seca da parte aérea no solo O, mas no solo GP a redução foi na ordem de 85%. O efeito das doses de fósforo x inundação no solo O implicou em diferentes modelos de comportamento. No solo O inundado, o acúmulo de S sofreu aumentos de 404%, na dose 336mgP/kg de solo, de acordo com o modelo $y = -0,30 + e^{(0,015x - 0,000023x^2)}$ $R^2 = 0,77$, e quando não inundado ($y = 4,82 - 0,095x + 0,00063x^2$, $R^2 = 0,99$), o aumento foi de 277%. A dose 300mgP/kg de solo, ofereceu maiores acúmulos de S para solo inundado, comparado com o solo não inundado.

As doses de fósforo contribuíram para aumentos no acúmulo de S no solo GP em 222% na dose 270mgP/kg de solo, segundo modelo $y = 9,68 + 0,0784x - 0,00014x^2$, $R^2 = 0,92$.

3.5.2 Micronutrientes

Os totais de micronutrientes da matéria seca da parte aérea do açaí no solo O apresentaram variações segundo o efeito da interação dos tratamentos, com modelo exponencial para o tratamento inundado e quadrático para o tratamento não inundado (Figura 18 e Tabela 11). No solo GP, o efeito dos tratamentos foi isolado, com redução nos totais de micronutrientes com o efeito da inundação (exceto ferro e boro), e aumento quadrático com as doses crescentes de fósforo (Figura 19).

O acúmulo de boro na matéria seca da parte aérea registrou maiores valores no solo GP, concordando com os teores de B no solo. Não foi registrado efeito da inundação no acúmulo de B para este solo, e sim aumentos ($y = 88,7 + 0,93x - 0,0016x^2$, $R^2 = 0,95$) no acúmulo com a adição de fósforo em 265%, com a dose 284mgP/kg de solo. No solo O, os totais de B apresentaram aumentos de

341%, de acordo com o modelo $y = 31,14 + e^{(0,028x - 0,0000405x^2)}$, $R^2 = 0,93$, dose 347 mgP/kg de solo para solo com inundação e 213% ($y = 74,55 - 0,1675x + 0,00078x^2$, $R^2 = 0,99$), na dose 450mgP/kg de solo para solo sem inundação. A dose 300mgP/kg de solo contribuiu em maior acúmulo de B em plantas inundadas, superando os valores encontrados em plantas não inundadas.

O acúmulo da Cu na matéria seca da parte aérea apresentou maiores valores no solo O. Os totais de Cu apresentaram reduções de 64% com o efeito da inundação no solo GP, e aumentos de 149% na dose 278mgP/kg de solo, ponto de máximo da curva ($y = 46,73 + 0,139x - 0,00025x^2$, $R^2 = 0,64$). No solo O a redução foi de 67%, com aumentos de 245% na dose 345mgP/kg de solo ($y = 24,79 + e^{(0,024x - 0,000035x^2)}$, $R^2 = 0,87$), e de 230% ($y = 62,07 - 0,21x + 0,00085x^2$, $R^2 = 0,99$) na dose 450mgP/kg de solo para solo sem inundação. A dose 300mgP/kg de solo contribuiu em maior acúmulo de Cu em plantas inundadas no solo O, superando os valores encontrados em plantas não inundadas

O ferro foi o único nutriente que não sofreu redução em seu acúmulo com a inundação, e sim aumentos de 121% e 132% para o solo O e GP, respectivamente. Os maiores acúmulos de Fe foram registrados em plantas no solo GP. O efeito das doses de fósforo nos totais de ferro foi positivo, com aumentos em 202% na dose 326mgP/kg de solo ($y = 1247,73 + 7,16x - 0,0109x^2$, $R^2 = 0,91$), para solo GP, 317% na dose 341mgP/kg de solo ($y = 848,74 + e^{(0,046x - 0,000068x^2)}$, $R^2 = 0,96$) para solo O inundado e 210% na dose 450mgP/kg de solo ($y = 1173,46 - 2,25x + 0,0102x^2$, $R^2 = 0,87$), para solo O sem inundação. A dose 300mgP/kg de solo contribuiu em maior acúmulo de Fe em plantas inundadas no solo O, superando os valores encontrados em plantas não inundadas.

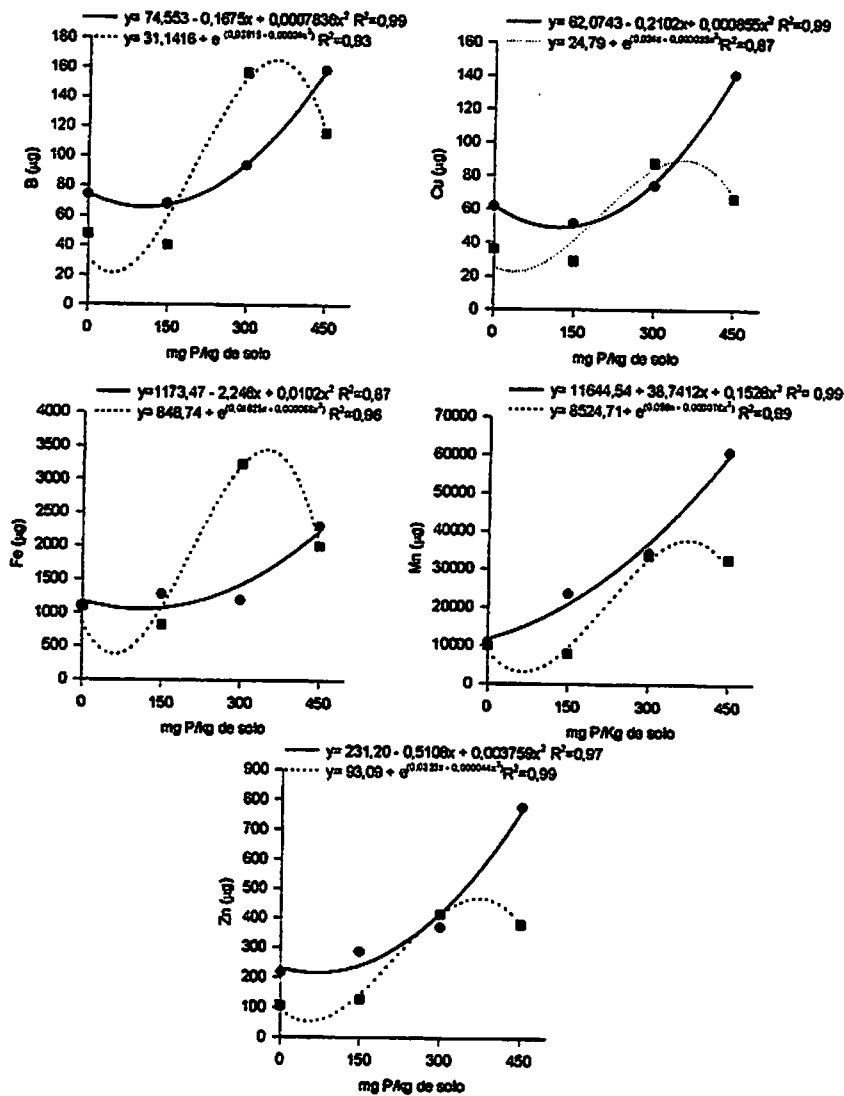


FIGURA 18. Efeito dos tratamentos no total de micronutrientes na matéria seca do açaí no solo O, inundado (—; ■) e não inundado(---; ●).

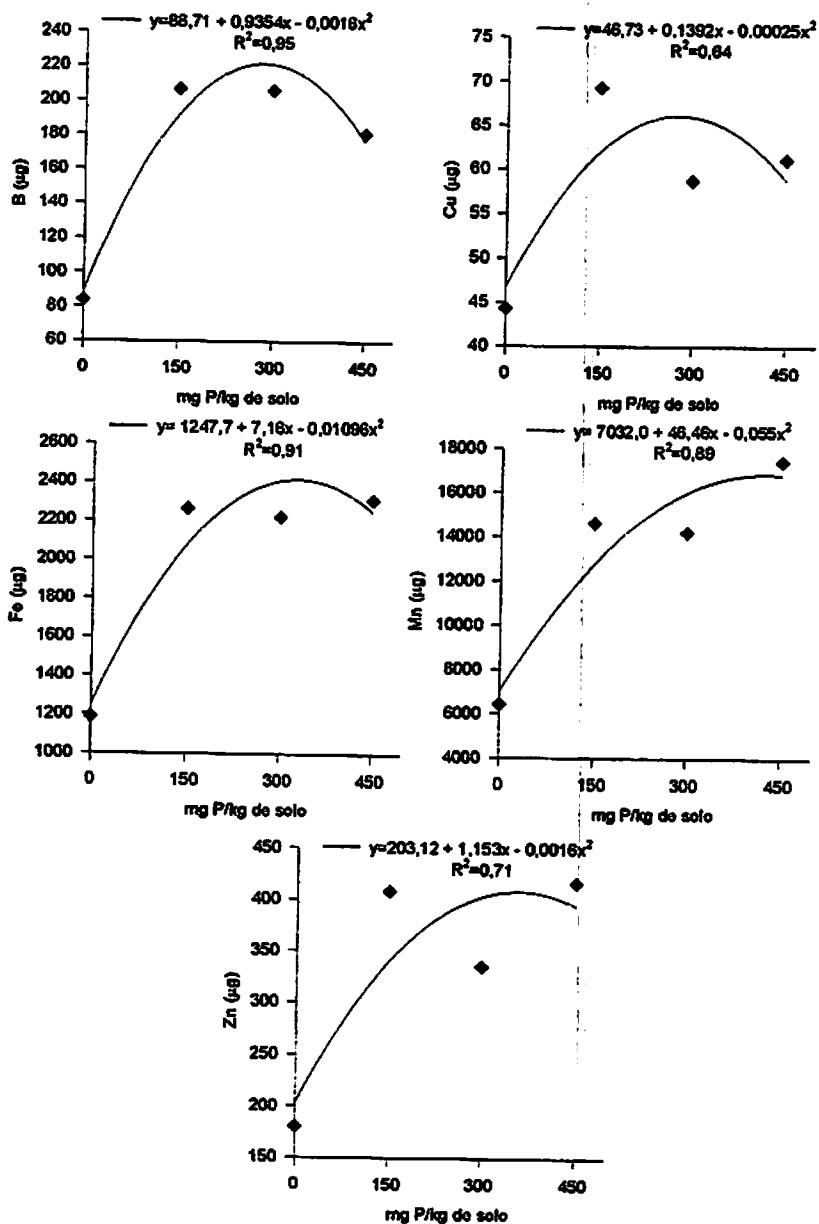


FIGURA 19. Efeito do fósforo nos totais de micronutrientes na matéria seca do açai no solo GP.

O acúmulo de Mn na matéria seca da parte aérea resultou em maiores valores no solo O. Os totais de Mn apresentaram reduções de 54% com o efeito da inundação no solo GP, e aumentos de 368% na dose 450mgP/kg de solo da curva ($y = 7032,0 + 46,46x - 0,0549x^2$, $R^2 = 0,89$). No solo O a redução foi de 65%, com aumentos de 443% na dose 371mgP/kg de solo ($y = 8524,7 + e^{(0,056x - 0,000076x^2)}$, $R^2 = 0,99$) em solo com inundação, e de 566% ($y = 11644,5 + 38,74x + 0,1525x^2$, $R^2 = 0,99$) na dose 450mg/kg de solo para solo sem inundação.

Na interação inundação x fósforo, as médias para doses de fósforo no acúmulo de Mn foram maiores para o solo O não inundado.

O acúmulo de Zn na matéria seca da parte aérea apresentou valores médios próximos para os dois solos. Os totais de Zn apresentaram reduções de 55% com o efeito da inundação no solo GP, e aumentos de 113% na dose 357mgP/kg de solo da curva ($y = 203,12 + 1,15x - 0,0016x^2$, $R^2 = 0,71$). No solo O, a redução foi de 63%, com aumentos de 456% na dose 367mgP/kg de solo ($y = 93,09 + e^{(0,032x - 0,000044x^2)}$, $R^2 = 0,99$) em solo com inundação, e de 360% ($y = 231,2 - 0,51x + 0,0037x^2$, $R^2 = 0,97$) na dose 450mgP/kg de solo para solo sem inundação. Na interação inundação x fósforo as médias para doses de fósforo no acúmulo de Zn foram maiores para o solo não inundado, não diferindo na dose 300mgP/kg de solo no solo O.

No teste de médias, houve diferença significativa em todas as doses, exceto para a 300mgP/kg de solo, ocorrendo os maiores valores para o tratamento não inundado.

6 CONCLUSÕES

O efeito dos tratamentos inundação e doses de fósforo alterou a disponibilidade de nutrientes no solo e o estado nutricional das plantas de açaí, com diferentes respostas entre os solos O e GP.

No solo O, a inundação afetou os valores médios de pH, K, Ca, Mg, Al, H+A, Cu, Fe, Mn e Zn, SB, T, m, V, com aumento no pH, K, Ca, B, Fe, Mn, SB, V, e redução nos teores de Al, H+Al, T e m. Os teores de P, Mg, B e t não foram afetados com a inundação, no entanto, com a interação, na dose 300mgP/kg de solo ocorreu diferença entre os teores de P, com menores valores para o solo inundado e na dose 450mgP/kg de solo, os teores de Mg, com maiores valores no solo inundado.

Na planta em solo O, os teores de macro e micronutrientes na matéria seca foram alterados com a inundação. Verificou-se reduções de P, Ca, Cu (somente na dose 300mgP/kg de solo), Mn e Zn, e aumentos de Fe. A inundação não alterou teores de N, K, Mg, S, B, Cu. A adição de fósforo no solo proporcionou aumento nos teores de P, Ca, Mn (não inundado) e redução nos teores de K(inundado), B, Fe e Cu (inundado). S e Zn não apresentaram comportamento regular. O acúmulo de nutrientes também foi alterado, ocorrendo exceção apenas com o B e S. O acúmulo de nutrientes foi reduzido com a inundação na seguinte ordem, em proporção: P> Mg> Zn> Mn> Cu> Ca> K> N. O Fe foi o único nutriente que apresentou seus valores aumentados. Todos os nutrientes tiveram seus valores acumulados aumentados com o fósforo.

No solo GP, os valores de pH, K, Al, H+A, Cu, Fe, Mn, Zn, SB, t, T, m e V foram alterados com a inundação, com aumento nos valores de pH, K, Ca, Fe, Mn, B, SB e V, e com redução no Al, t, T, m, Zn, Al+H. Os teores de P, Ca e Mg não variaram com a inundação.

Na planta em solo GP, o efeito da inundação nos teores de macro e micronutrientes do açaí causou redução de P, K, Ca, Mn e Zn, não alterou os teores de N, Mg, S, Cu e aumentou teores de B e Fe. A adição de fósforo no solo proporcionou aumento nos teores de P, K, Ca, Mn e reduziu teores N e Cu. O acúmulo de nutrientes foi reduzido com a inundação, na seguinte ordem, em proporção: Mn > Zn > K > Ca > P = Cu > Mg > N > S. O Fe foi o único nutriente que apresentou seus valores aumentados.

A aplicação de fósforo no solo proporcionou maior acúmulo de nutrientes nas plantas, com maior produção de matéria seca de raízes, aumentando a superfície de absorção. O efeito do fósforo foi importante na redução do efeito depressivo da inundação, melhorando o estado nutricional das plantas. O efeito das doses de fósforo adicionadas teve resposta diferenciada no solo O inundado. Destacando-se a dose 300mgP/kg de solo, que atingiu valores em nutrientes acima daqueles encontrados no solo não inundado.

Os macronutrientes de maior acúmulo, em média, seguem a ordem decrescente no solo O: N > K > Ca > Mg > S > P; e no solo GP: N > K > Ca > S > Mg > P. O solo O destacou-se com melhor ganho de matéria seca, maior acúmulo de nutrientes (exceto para o B e Fe) e menores teores de nutrientes (exceto Ca, Mg e Mn). As plantas com melhor desenvolvimento apresentaram os seguintes teores de nutrientes na matéria seca de parte aérea: 1,66g de N/kg, 0,08g de P/kg, 1,41g de K/kg, 0,95g de Ca /kg, 0,27g de Mg/kg, 0,06g de S/kg, 7,64mg de B/kg, 6,76mg de Cu/kg, 111,1mg de Fe/kg, 2918,1mg de Mn/kg, 37,4mg de Zn/kg.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMER, F.; SALEH, M. E.; MOSTAFA, H. E. Phosphate behavior in submerged calcareous soils. *Soil Science*, Baltimore, v. 151, n.4, p. 306-311, 1991.

BOLLAND, M. D. A. Effect of sowing density and flooding on the comparative phosphorus requirement of *Trifolium balansae* and *Trifolium subterraneum*. *Journal of Plant Nutrition*, v.18, n. 9, p. 1825-1843, 1995.

CRAWFOD, M. M. R. Oxygen availability as an ecological limit to plant distribution. *Advances in Ecological Research*, v.23, p. 93-183, 1992.

CRAWFOD, M. M. R.; BRAENDLE, R. Oxygen deprivation stress in a changing environment. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 47, n. 295, p. 145-159, 1996

DREW, M.C. Effects of flooding and oxygen deficiency on plant mineral nutrition. *Advances in Plant Nutrition*, London, v. 3, p. 115-159, 1988

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Ministério de Agricultura, 1979. n.p.

GUPTA, R. K.; SINGH, R. S.; GUPTA, N.; YADAV, A.S. Effect of phosphorus application on the transformation of iron in soil and iron nutrition of rice under two soil moisture regimes. *Journal Indian Society Soil Science*, v. 30, n.1, p. 58-62, 1982

—) HOLANDA, F, S, R. Efeito do fósforo na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) sob diferentes níveis de água em solos de várzea de Minas Gerais. Lavras: ESAL, 1992, 116 p.(Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)

- HUANG, B.; JOHNSON, W. J.; NeSMITH, D. S.; BRIDGES, D. C. Nutrient accumulation and distribution of wheat genotypes in response to waterlogging and nutrient supply. *Plant and Soil*, Netherlands, v. 173, p. 47-54, 1995
- HUANG, B.; JOHNSON, W. J.; NeSMITH, D. 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. 271, p. 193-202, 1994.
- JUGSUJINDA, A.; PATRICK, Jr. W. H. Evaluation of toxic conditions associated with orange symptoms of rice in a flood Oxisol in Sumatra, Indonesia. *Plant and Soil*, Netherlands, v.152, p. 237-243, 1993.
- KUMAR, S.; OMANWAR, P. K.; SACHAN, R. S.; SHARMA, R..B. Changes in some physicochemical properties and activities of iron and zinc on submergence of some rice soils. *Journal Indian Society Soil Science*, v.29, n.2, p. 204-207, 1981.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. *Avaliação do estado nutricional de plantas, princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. S. Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2ed. London: Academic Press, 1997. 889p.
- MCBRIDE, M.B. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1994. 406p.
- MCKEE, Jr. W. H.; HOOK, D. D.; DeBELL, D.S.; ASKEW, J. L. Growth and nutrient status of loblolly pine seedling in relation to flooding and phosphorus. *Soil Science of America Journal*, v. 48, p. 1438-1442, 1984.

- MELLO, J. W. V.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, A. C.; NOVAIS, R. F. Inundação e calagem em solos de várzea: adsorção e precipitação de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 16, p. 319-324, 1992
- MORAES, J. F. V. Efeito da inundação no solo. I. Influência sobre o pH, o potencial de óxido redução e a disponibilidade de fósforo no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 8, p. 93-101, 1973.
- MORAES, J. F. V. Efeito da inundação no solo. I. Influência sobre a absorção de nutrientes e o crescimento do arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 8, p. 103-108, 1973.
- MORARD, P.; SILVESTRE, J. Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: a review. *Plant and Soil*, Netherlands, v.184, p. 243-254. 1996.
- PATRA, D., HALDAR, M.; MANDAL, L.N. Effect of P, Cu and Zn application on the availability of Zn, Cu, Fe, Mn and P and their uptake by rice in waterlogged soil I - Availability in soil. *Journal Indian Society Soil Science*, v. 29, n.3, p. 337-342, 1981.
- PATRICK JR., W. H.; MAHAPATRA, I.C. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. *Advances in Agronomy*, New York, v. 20, p. 323-359, 1968.
- PEZESHKI, S.R. Plant response to flooding. In: WILKINSON, R. E.; DEKKER, M. *Plant-environment interactions*. New York, 1994. p. 289-321.
- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy*, New York, v.24, p. 29-98, 1972.
- PONNAMPERUMA, F. N.; CASTRO, R. V.; LOY, T. A. GUEVARA, E.R.; CANLAS, Z. M.; VALENCIA, C.M.; REALUYO, M. R.; RIEGO, D. C.; SAMANIEGO, S.G. *Soil chemistry*. Rep. Int. Rice Res. Inst., p. 113-130. 1968.

- PONNAMPERUMA, F. N.; ESTRELLA, M.; TIANCO, E. M.; LOY, T. Redox equilibria in flooded soils: I. The iron hydroxide systems. *Soil Science, U. S. A.*, v. 103, n.6, p. 374-384, 1967.
- SANCHEZ, A. P. **Properties and management of soils in the tropics.** New York: John Wiley, 1976. 618 p.
- SETTER, T. L.; ELLIS, M.; LAURELES, E. V. et al. Physiology and genetics of submergence tolerance in rice. *Annals of Botany, London*, v. 79, p. 67-77, 1997.
- SHIMOKOMAKI, M. et al. Estudo comparativo entre os palmitos de sabor doce SINGH, M.; SINGH, S. P. Effects of zinc and phosphorus on absorption of iron and nitrogen by submerged paddy. *Soil Science, U. S. A.*, v.135, n.2, p. 71-78, 1983.
- SINGH, M.; SINGH, S. P. Effects of zinc and phosphorus on absorption of iron and nitrogen by submerged paddy. *Soil Science, U. S. A.*, v.135, n.2, p. 71-78, 1983.
- SINGH, M.; SINGH, S. P. Zinc and phosphorus interaction in submerged paddy. *Soil Science, U. S. A.*, v. 129, n.3, p. 282-289, 1980.
- TOPA, M. A.; CHEESEMAN, J. M. Maintenance of P^{32} uptake and transport in *Pinus serotina* seedling under hypoxic growth conditions. *Physiology Plantarum, Copenhagen*, v. 92, p. 171-180, 1994.
- TOPA, M. A.; McLEOD, K. W. Responses of *Pinus serotina* and *Pinus taeda* seedlings to anaerobic solution culture. II. Change in tissue nutrient concentration and net acquisition. *Physiology Plantarum, Copenhagen*, v. 68, p. 532-539, 1986.
- VELLOSO, A. C. X. OLIVEIRA, C.; LEAL, J. R. Processos redox em Glei Húmico do estado do Rio de Janeiro: Variação das concentrações de Fe (II) e Fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v. 17, n.1, p. 27-33, 1993.

ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A.; SILVEIRA, P. Sistema de análise estatística para microcomputadores – SANEST. Pelotas: UFPEL, 1984. (Disquete)

ANEXOS

ANEXO A

Página

TABELA 1A	Resumo das análises de variância dos dados referentes às características fisiológicas: matéria seca de raiz (MSRA), matéria seca de parte aérea (MSPA), altura, diâmetro de coleto, fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (t), concentração de CO ₂ estomatal (Ci), fluorescência (Fv/Fm) de plantas jovens de açaí no solo O e GP.....	141
TABELA 2A	Resumo das análises de variância dos dados referentes à análise química dos solos O e GP: pH, Al, acidez potencial (H+Al), saturação por Al (m), saturação de bases (V), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC potencial (T).....	142
TABELA 3A	Resumo das análises de variância dos dados referentes à análise química dos solos O e GP: P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn.....	143
TABELA 4A	Resumo das análises de variância dos dados referentes a teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea, e teores de P na matéria seca da raiz de jovens de açaí nos solos O e GP.....	144
TABELA 5A	Resumo das análises de variância dos dados referentes a totais de nutrientes na matéria seca da parte aérea, e totais de P na matéria seca da raiz de plantas jovens de açaí nos solos O e GP.....	145

TABELA 1A

Resumo das análises de variância dos dados referentes às características fisiológicas: matéria seca de raiz (MSRA), matéria seca de parte aérea (MSPA), altura, diâmetro de coleto, fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (T), fluorescência (Fv/Fm) de plantas jovens de açaí no solo O e GP.

Solo O										
Causa de variação	G. L.	Q. M.								
		MSRA	MSPA	Altura	Dia. Col.	A	gs	T	Fv/Fm	
Fósforo (A)	3	49,9**	247,6**	963,5**	1,72**	2,4**	0,0017**	0,20**	0,0012**	
Inundação (B)	1	32,0**	34,1**	667,6**	0,01**	5,9*	0,0215**	3,32**	0,0095**	
A*B	3	19,3**	78,2**	333,8**	0,48**	3,0*	0,0021**	0,12**	0,0012**	
RESÍDUO	24	1,7	2,8	16,7	0,05	21,1	0,0233	0,10	0,1452	
C.V. (%)		22,53	15,98	7,10	11,85	24,58	36,27	28,41	9,97	

Solo GP										
Causa de variação	G. L.	Q. M.								
		MSRA	MSPA	Altura	Dia. Col.	A	gs	T	Fv/Fm	
Fósforo (A)	3	12,1**	51,0**	380,6**	0,97**	3,1**	0,0030**	0,22**	0,0035**	
Inundação (B)	1	44,4**	65,3**	306,1**	0,02**	0,7**	0,0221**	0,90**	0,0348**	
A*B	3	0,2**	0,3**	41,2*	0,04**	1,6**	0,0007**	0,03**	0,0002**	
RESÍDUO	24	0,6	2,0	12,0	0,05	2,0	0,0010	0,11	0,0038	
C.V. (%)		17,5	16,87	5,97	11,5	42,7	44,52	29,9	7,76	

* e ** representam valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns representa valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade

Resumo das análises de variância de dados referentes à análise química dos solos O e GP: pH, Al, acidez potencial (H+Al), saturação por Al (m), saturação de bases (V), soma de bases (SB), CTC, CTC efetiva (t), CTC potencial (T).

TABELA 2A

Solo O										
Causa de GL		Q. M.								
variação		pH	Al	H+Al	m	SB	t	T	V	
Fósforo (A)	3	0,06	0,11	1,2	25,9	0,2	0,1	1,2	1,8	
Inundação (B)	1	7,99	21,45	252,0	5967,8	12,5	1,0	148,8	1352,0	
A+B	3	0,08	0,10	3,0	24,3	0,3	0,2	2,7	11,0	
RESIDUO	24	0,02	0,06	1,2	26,7	0,5	0,3	0,8	19,8	
CV(%)		2,71	16,34	7,88	19,33	18,23	10,08	5,05	18,77	

Solo GP										
Causa de GL		Q. M.								
variação		pH	Al	H+Al	m	SB	t	T	V	
Fósforo (A)	3	0,08	0,03	2,1	0,2	0,4	3,9	7,0	6,9	
Inundação (B)	1	10,93	16,53	193,6	2,8	5,7	181,5	5591,5	3341,5	
A+B	3	0,11	0,05	3,9	0,3	0,4	4,6	13,1	24,5	
RESIDUO	24	0,17	0,04	0,5	0,4	0,4	1,6	18,7	22,5	
CV(%)		8,83	21,03	10,42	26,23	15,44	12,2	11,31	12,25	

* e ** representam valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns representa valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 3A
Resumo das análises de variância de dados referentes à análise química dos solos O e GP: P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Solo O												
Causa de G.L.		Q. M.										
variação.		P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn		
Fósforo (A)	3	14379	7119	0,014	0,03	0,001	0,12	1661	99	0,4		
Inundação (B)	1	149	151525	3,188	0,75	0,002	27,01	37552	23129	70,5		
A*B	3	428	5140	0,005	0,13	0,001	0,19	2310	213	1,6		
RESÍDUO	24	111	4359	0,257	0,03	0,002	0,30	2659	290	0,8		
CV(%)		16,67	19,25	20,11	28,06	37,35	19,13	23,84	27,54	19,19		

Solo GP												
Causa de G.L.		Q. M.										
variação.		P	K	Ca	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Zn		
Fósforo (A)	3	28655	6491	0,088	0,48	0,011	0,08	23864	7	0,6		
Inundação (B)	1	1861	53465	0,633	0,08	0,001	0,26	140854	405	13,5		
A*B	3	785	3723	0,119	0,06	0,013	0,04	9077	23	0,4		
RESÍDUO	24	738	3341	0,156	0,13	0,004	0,06	2309	11	0,2		
CV(%)		29,59	15,07	18,40	35,35	26,22	12,69	5,03	25,56	12,45		

* e ** representam valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns representam valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade

TABELA 4A

Resumo das análises de variância dos dados referentes a teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea, e teores de P na matéria seca da raiz de plantas jovens de açaí crescendo nos solos O e GP.

		Solo O (Teores)											
Causa de variação.		Q.M.											
G.L.		N	P	P-Ra	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fósforo (A)	3	0,14 ^{**}	0,008 ^{**}	0,001 ^{**}	0,06 [*]	0,051 ^{**}	0,003 ^{**}	0,005 ^{**}	8,0 [*]	8,8 ^{**}	9322 ^{**}	1278352 ^{**}	115 ^{**}
Inundação (B)	1	0,14 ^{**}	0,006 ^{**}	0,005 ^{**}	0,04 ^{**}	0,157 ^{**}	0,011 ^{**}	0,003 ^{**}	7,1 ^{**}	2,8 ^{**}	43045 ^{**}	1500863 ^{**}	332 ^{**}
A*B	3	0,04 ^{**}	0,004 [*]	0,006 [*]	0,06 [*]	0,009 ^{**}	0,003 ^{**}	0,001 ^{**}	1,5 ^{**}	6,2 [*]	1623 ^{**}	1884919 ^{**}	54 ^{**}
RESÍDUO	24	0,05	0,001	0,001	0,01	0,006	0,004	0,002	2,4	1,8	813	54782	27
CV(%)		12,14	17,59	20,49	8,7	8,72	31,83	18,49	16,47	19,38	16,48	9,48	16,42

		Solo GP (Teores)											
Causa de variação.		Q.M.											
G.L.		N	P	P-Ra	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fósforo (A)	3	0,36 [*]	0,0017 ^{**}	0,0026 ^{**}	0,01 ^{**}	0,025 ^{**}	0,002 ^{**}	0,0060 ^{**}	62,6 ^{**}	22,6 ^{**}	7591 ^{**}	207853 ^{**}	31 [*]
Inundação (B)	1	0,23 ^{**}	0,0006 ^{**}	0,0025 ^{**}	0,52 ^{**}	0,089 ^{**}	0,0007 ^{**}	0,0011 ^{**}	41,9 [*]	0,4 [*]	236582 ^{**}	1418093 ^{**}	775 [*]
A*B	3	0,01 ^{**}	0,0001 ^{**}	0,0003 ^{**}	0,11 ^{**}	0,009 ^{**}	0,0004 ^{**}	0,0054 ^{**}	22,0 ^{**}	4,2 ^{**}	4205 ^{**}	80311 ^{**}	26 [*]
RESÍDUO	24	0,09	0,0001	0,0002	0,02	0,004	0,0003	0,0008	9,0	2,8	5774	32126	59
CV(%)		14,89	11,93	18,21	10,89	10,01	12,08	14,25	14,25	22,75	28,94	11,82	19,61

* e ** representam valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns representa valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade

Resumo das análises de variância dos dados referentes a totais de nutrientes na matéria seca da parte aérea, e totais de P na matéria seca da raiz de plantas jovens de agul nos solos O e GP.

TABELA 5A

Solo O (Totals)														
Causa de G.L.			Q.M.											
variação.			N	P	P-Ra	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fósforo (A)	3	66758	140,7	53,7	40157	23163	1343	142,9	14604	6938	3257230	225067779	293667	
Inundação (B)	1	17549	106,9	79,3	12040	7734	724	0,8	565	5845	788953	1025423295	190479	
AxB	3	16899	52,8	24,4	14723	4696	551	50,0	4587	2615	2729398	349801415	66820	
RESÍDUO	24	1555	3,3	3,8	788	279	110	6,4	441	213	87022	32535877	4055	
C.V. (%)		21,5	39,25	50,68	20,01	20,01	49,085	33,82	22,24	25,06	18,11	21,16	28,99	

Solo GP (Totals)														
Causa de G.L.			Q.M.											
variação.			N	P	P-Ra	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Fósforo (A)	3	10594	47,6	17,4	11430	2514	133	180,4	27280	866	2341540	178228957	95976	
Inundação (B)	1	13361	48,9	48,5	33051	6005	228	243,8	5005	5127	2484694	504636740	305595	
AxB	3	909	0,1	0,1	873	72	1	6,9	2603	412	286422	18525753	4628	
RESÍDUO	24	1277	1,4	1,0	555	110	7	8,1	2913	214	401713	7752640	9443	
C.V. (%)		22,24	21,05	28,43	20,33	20,30	20,96	17,87	23,4	21,28	31,77	21,35	18,99	

e ** representam valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, e ns representa valores não significativos ao nível de 5% de probabilidade.

FIGURA 1B	Desenvolvimento de plantas jovens de açaí em resposta à inundação e fósforo no solo O.....	147
FIGURA 2B	Desenvolvimento de plantas jovens de açaí em resposta à inundação e fósforo no solo O: contraste entre as doses aplicadas e a dose 0 mgP/kg de solo.....	148
FIGURA 3B	Desenvolvimento de raízes de plantas jovens de açaí em resposta a inundação e fósforo no solo O; (a) raízes em solo inundado e não inundado; (b), aspectos de desenvolvimento geotropismo positivo.....	149
FIGURA 4B	Sintomas visuais de injúria em folhas de plantas jovens de açaí em solos inundados.....	150

FIGURA 1B. Desenvolvimento de plantas jovens de açaí em resposta à inundação e fósforo no solo O.

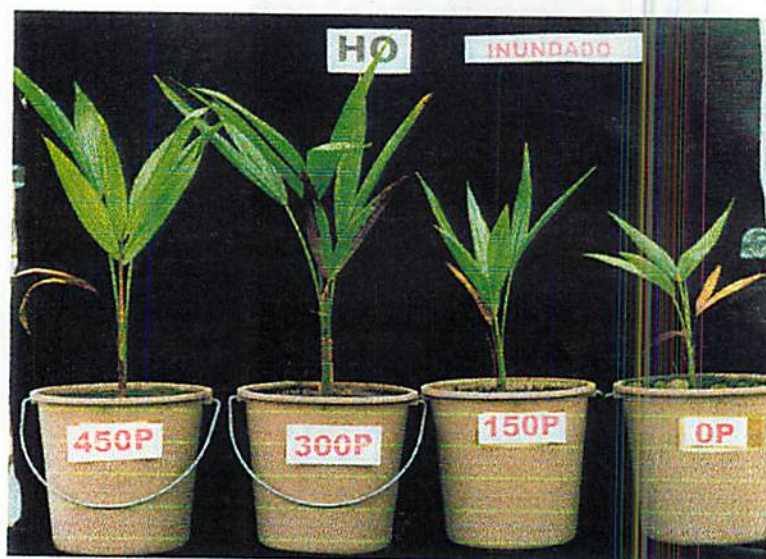
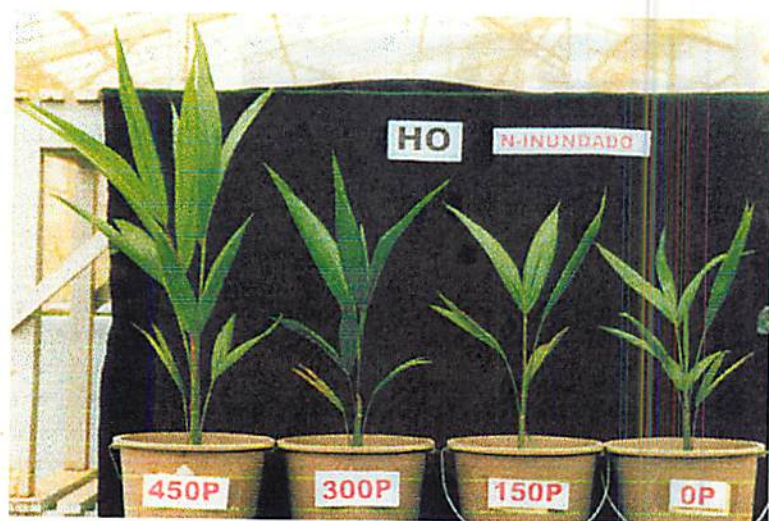


FIGURA 2B. Desenvolvimento de plantas jovens de açaí em resposta à inunda o e f3sforo no solo O: contraste entre doses aplicadas e a dose 0P.



FIGURA 3B. Desenvolvimento de raízes de plantas jovens de açaí em resposta à inundação e fósforo no solo O; (a) raízes em solo O inundado e não inundado; (b), aspectos de desenvolvimento geotropismo positivo.



FIGURA 4B. Sintomas visuais de injúria em folhas de plantas jovens de açaí em solos inundados.

