

# LIMITAÇÕES NUTRICIONAIS PARA A CULTURA DO ARROZ EM SOLOS ORGÂNICOS SOB INUNDAÇÃO. I. CRESCIMENTO<sup>1</sup>

MARCELO PRUDENTE DE ASSIS<sup>2</sup>

JANICE GUEDES DE CARVALHO<sup>3</sup>

NILTON CURÍ<sup>3</sup>

JÚLIO CÉSAR BERTONI<sup>2</sup>

WANDER EUSTÁQUIO DE BASTOS ANDRADE<sup>4</sup>

**RESUMO** – Com o objetivo de avaliar as respostas do arroz à calagem, à adubação e à aplicação de silício em dois solos Orgânicos sob inundação, foram conduzidos dois experimentos em casa-de-vegeta o no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Os solos estudados foram coletados nos municípios de Macaé (RJ) e Lambari (MG). Os tratamentos constaram da testemunha (solo natural), completo (calagem, N, P, K, S, B, Cu, Zn, Mo), completo menos calagem, completo menos um nutriente de cada vez (exceto Mo) e completo mais silício. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Cada parcela foi constituída por um vaso com 5,3 kg de solo com três plantas. Os resultados mostra-

ram que o perfilhamento foi limitado principalmente pela omissão de N e de P, seguido pela omissão de K e S; as produ oes de matéria seca da parte aérea e da raiz foram limitadas pelas omissões de N, de P e de K no solo de Macaé e, no solo de Lambari, além destes, de S e da calagem; o teor de matéria orgânica não se mostrou um bom indicador da disponibilidade de N, e os níveis críticos não se mostraram efetivos na indica o da disponibilidade de P e K; a adi o de silício não teve efeito significativo sobre o crescimento, e a inunda o não substituiu a calagem em rela o   de corre o da acidez no solo de Lambari, e não propiciando também aumento na disponibilidade de P.

**TERMOS PARA INDEXA O:** *Oryza sativa*, nutri o mineral, silício

## NUTRITIONAL LIMITATIONS FOR RICE CROP IN BOG FLOODED SOILS UNDER FLOODING. I. GROWTH.

**ABSTRACT** - An experiment was conducted under greenhouse conditions at the Soil Science Department of the Federal University of Lavras, located in Minas Gerais state, Brazil, in order to study the effects of liming, fertilization and silicon application on flooded rice crop on two Bog soils collected at Maca  (RJ) and Lambari (MG) counties. The experimental design was completely randomized and each plot was constituted by a 5.3kg vessel with three plants. The treatments were: control (natural soil), complete (liming + N, P, K, S, B, Cu, Zn, Mo), complete without lime, complete minus one nutrient at each time (except Mo) and

complete plus silicon. The tillering was mainly limited by N and P omission, followed by K and S omission. The shoot and root dry matter yield was limited by N, P, K in the Maca  soil, and, in the Lambari soil, beyond these ones, by S and liming. The organic matter content was not a good indicator of N availability, and the critical levels were not effective to indicate P and K availability. The silicon addition had no significant effect on these parameters. The flooding condition did not substitute liming in terms of acidity correction in the Lambari soil and also did not increase P availability.

**INDEX TERMS:** *Oryza sativa*, mineral nutrition, silicon

---

1. Artigo extra do da Disserta o de Mestrado do primeiro autor

2. Estudante de Mestrado em Solos e Nutri o de Plantas, do Departamento de Ciências do Solo da UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA)

3. Professor Titular, UFLA/DCS, Caixa Postal 37, 37.200-000, Lavras-MG

4. Pesquisador PESAGRO/Esta o Experimental de Campos, Caixa Postal 114.331, 28.080-000, Campos dos Goytacazes - RJ

## INTRODUÇÃO

A inundação desencadeia no solo uma série de mudanas químicas e eletroquímicas que afetam profundamente a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento da cultura do arroz.

A presena de uma lâmina d'água sobre a superfície do solo reduz drasticamente as trocas gasosas entre solo e atmosfera. Nessas condioes, o O<sub>2</sub> e outros gases atmosféricos penetram no solo apenas por difusão na água intersticial. Esse processo, porém, é cerca de dez mil vezes mais lento que a difusão no solo bem drenado.

A conseq ncia imediata é que, dentro de poucas horas, os microrganismos aeróbicos consomem o O<sub>2</sub> dissolvido na água, ficando o solo praticamente isento de oxig nio molecular. Nessa condiao, passam a predominar no solo os microrganismos anaeróbicos ou anaeróbicos facultativos, que utilizam substâncias oxidadas solúveis (nitratos, óxidos de manganês, óxidos de ferro, sulfatos, entre outras), como receptores de elétrons, reduzindo-as (Ponnamperuma, 1972). Moraes (1973) ressalta, porém, que a drástica restriao na difusão do oxig nio não implica que todo o perfil do solo inundado esteja desprovido de ar, pois a concentraao de O<sub>2</sub> pode ser alta na camada superficial, na qual a difusão de O<sub>2</sub>   suficiente para o consumo de microrganismos aeróbicos. Segundo Ponnamperuma (1972), formam-se duas zonas distintas no solo inundado: a zona de oxidaao e a zona de reduao. Essas duas camadas apresentam regimes químico e biológico totalmente diferentes. Suas diferenas vão desde o tipo de microrganismo predominante (aeróbico ou anaeróbico) até a forma como aparecem os compostos químicos (oxidados ou reduzidos) e ocorrência de processos bioquímicos.

Segundo Ponnamperuma (1972), o potencial de oxirreduao é o principal fator diferenciador entre solos inundados e bem drenados, sendo que o baixo potencial de oxirreduao dos solos inundados indica seu estado de reduao, enquanto o alto potencial dos solos bem drenados reflete o seu estado de oxidaao. A intensidade de decréscimo do potencial de oxirreduao, após a inundaao, está relacionada ao seu valor inicial, pH inicial, ao cont eudo de matéria orgânica,   temperatura e   quantidade de receptores de elétrons (agentes oxidantes) existentes no solo.

Quando um solo ácido é inundado, normalmente o pH decresce durante os primeiros dias, atinge um mínimo e então cresce assintoticamente, estabilizando-se em valores próximos ao neutro, algumas semanas mais

tarde. O aumento do pH se deve à liberaao de íons OH<sup>-</sup> ou consumo de íons H<sup>+</sup> verificados nas reaoes de reduao. Esse aumento depende da relaao entre os íons H<sup>+</sup> ou OH<sup>-</sup> e o número de elétrons envolvidos na reaao. A reduao do ferro apresenta a mais alta relaao íons H<sup>+</sup>: elétrons, provocando, com isso, maior variaao de pH (Ponnamperuma, 1972).

Essas alteraoes eletroquímicas podem alterar a disponibilidade dos nutrientes: o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>   perdido por desnitrificaao, os teores de manganês e ferro em soluao aumentam devido à reduao dos óxidos, a disponibilidade de P pode ser aumentada, o sulfato é reduzido a sulfeto, os cátions podem ser deslocados do complexo de troca pelo ferro e passarem   soluao do solo, os micronutrientes podem ter sua disponibilidade alterada, seja pelo aumento de pH ou pela imobilizaao pelo sulfeto.

Com isso, as respostas   aplicaao de nutrientes nos solos inundados não seguem o mesmo padrão dos solos oxidados, não podendo extrapolar dados de uma situaao para outra. Portanto, tornam-se necessários estudos que caracterizem melhor as respostas   aplicaao de nutrientes em solos de várzea.

Del Gi dice, Freire e Tanaka (1979) consideraram que a nutriao mineral adequada das plantas   responsável por 50% do aumento da produtividade.

Dentre os nutrientes exigidos pela cultura do arroz, o nitrogênio é o que mais limita a produao, principalmente, nas cultivares modernas de alto rendimento (Peters e Calvert, 1982). A resposta ao nitrogênio tem sido verificada mesmo em solos com elevado teor de matéria orgânica, revelando que tal parâmetro não é bom indicador da disponibilidade de N para a cultura do arroz irrigado (Paula et al., 1990).

  semelhana do nitrogênio, o fósforo é importante para o perfilhamento. Por isso, sua exigência   maior nas fases iniciais (Barbosa Filho, 1987). Embora alguns autores considerem incerta a resposta do arroz em condioes de inundaao   aplicaao de P, Motta (1988) afirma que a inundaao apenas diminui a resposta ao P, sendo sua deficiência mais uma regra que uma exceao.

As respostas   adubaao potássica não têm sido verificadas com tanta freq ncia como para o nitrogênio e fósforo (Fornasieri Filho e Fornasieri, 1993). Segundo Tanaka, citado por esses autores, a deficiência de K não é muito freqüente em solos de várzea e, geralmente, está associada à toxidez de ferro.

A questão da calagem para o arroz irrigado apresenta controvérsias em funao da elevaao do pH

pela inundação. A calagem seria indispensável naqueles solos com baixo teor de Ca+Mg e como forma de manejo no controle da toxidez de ferro.

Devido à aplicação do enxofre como nutriente secundário na forma de sulfato de amônio e superfosfato simples, pouca atenção tem sido dada à nutrição e à demanda de enxofre pelo arroz. Mas, com a tendência de substituir essas formas de fertilizantes por formulações mais concentradas, a deficiência de enxofre tende a aumentar (Mesquita, 1993). Segundo Blair et al., citados por esse autor, a disponibilidade de enxofre para o arroz em condições de inundadas tem sido menor, uma vez que as plantas absorvem enxofre somente na forma de sulfato.

Os trabalhos com micronutrientes em solos de várzea são escassos e os resultados contraditórios. Cultivares modernas de alta produtividade e o uso de adubos concentrados podem levar a limitações por micronutrientes, como demonstrou Paula (1995), trabalhando com boro.

A adubação com silício, embora comum em outros países, ainda não é muito usada no Brasil. Mesmo não sendo considerado nutriente, a aplicação do silício traz inúmeros benefícios, destacando-se, entre eles, o aumento da disponibilidade de fósforo (Adams, 1980) e maior tolerância à toxidez de ferro (Fischer et al., 1990).

Segundo Malavolta e Muraoka (1985), os ensaios em vasos, utilizando a técnica do elemento faltante, indicam o elemento ou elementos mais limitantes ao crescimento e permitem uma determinação qualitativa da resposta esperada.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da calagem, da subtração de nutrientes e da adição de silício no crescimento do arroz irrigado em dois solos Orgânicos sob inundação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em casa-de-vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em Lavras - MG, em 1996, utilizando a técnica do elemento faltante ou diagnose por subtração.

Foram utilizados dois solos Orgânicos, sendo um proveniente de Macaé - RJ e o outro de Lambari - MG. As amostras de solo foram coletadas na camada superficial (0-20 cm) e tiveram as características químicas e físicas avaliadas segundo a metodologia proposta por Vettori (1969), modificada pela EMBRAPA (1979). Os resultados, respectivamente, para o solo de Macaé e Lambari foram:  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}=4$  e 4,7;  $\text{P}=39$  e  $7\text{mg}/\text{dm}^3$ ;

$\text{K}=175$  e  $39\text{ mg}/\text{dm}^3$ ;  $\text{Ca}=33$  e  $17\text{ mmol}/\text{dm}^3$ ;  $\text{Mg}=10$  e  $6\text{ mmol}/\text{dm}^3$ ;  $\text{Al}=26$  e  $21\text{ mmol}/\text{dm}^3$ ;  $\text{H} + \text{Al}=232$  e  $153\text{ mmol}/\text{dm}^3$ ;  $\text{SB}=48$  e  $24\text{ mmol}/\text{dm}^3$ ;  $t=74$  e  $45\text{ mmol}/\text{dm}^3$ ;  $\text{T}=280$  e  $177\text{ mmol}/\text{dm}^3$ ;  $m=35$  e  $47\%$ ;  $\text{V}=20$  e  $14\%$ ;  $\text{enxofre}=206$  e  $5,6\text{ mg}/\text{dm}^3$ ;  $\text{B}=0,46$  e  $0,07\text{ mg}/\text{dm}^3$ ;  $\text{Cu}=1,2$  e  $3,3\text{ mg}/\text{dm}^3$ ;  $\text{Fe}=580$  e  $200\text{ mg}/\text{dm}^3$ ;  $\text{Mn}=17$  e  $32\text{ mg}/\text{dm}^3$ ;  $\text{Zn}=3$  e  $1,5\text{ mg}/\text{dm}^3$ ; matéria orgânica= $213$  e  $220\text{ g}/\text{kg}$ ; areia= $80$  e  $300\text{ g}/\text{kg}$ ; silte= $440$  e  $370\text{ g}/\text{kg}$ ; argila= $480$  e  $330\text{ g}/\text{kg}$ .

Após secos e peneirados, os solos foram acondicionados em vasos com capacidade para 5,3 kg e incubados com  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgCO}_3$  puro para análise (exceto naqueles tratamentos em que se omitiu a calagem) na relação equivalente Ca:Mg de 4:1, com doses determinadas pelo método de saturação por bases para elevar o valor V para 50%. Os solos foram incubados durante uma semana, com umidade próxima à capacidade de campo.

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com onze tratamentos e quatro repetições, sendo cada solo considerado um experimento. Os tratamentos constaram de testemunha (solo natural), completo (calagem, N, P, K, S, B, Cu e Zn), completo menos calagem, completo menos um nutriente de cada vez e completo mais silício. O molibdênio foi aplicado em todos os tratamentos, exceto na testemunha.

A adubação foi baseada em Malavolta (1980), com algumas modificações. As doses usadas ( $\text{mg}/\text{kg}$  de solo) foram: N (400), P (200), K (350), S (31), B (0,5), Cu (1,5), Mo (0,1) e Zn (5,0). Os nutrientes foram aplicados ao solo em forma de solução. O N foi parcelado em quatro aplicações iguais (plantio e três coberturas) e o K em três aplicações iguais (plantio e duas coberturas). Para o tratamento completo + silício, foi usado termofosfato na forma sólida em quantidade calculada para fornecer todo o P, resultando, assim, em 177 mg de Si (solúvel em ácido cítrico a 2%) A calagem para esse tratamento foi feita levando em conta o CaO e MgO fornecidos pelo termofosfato.

As sementes de arroz (*Oryza sativa* L. cv. Sapucaí), após tratadas em solução de hipoclorito de sódio a 1%, foram semeadas em bandejas com vermiculita e, posteriormente, transplantadas para os vasos em número de três plantas por vaso.

A umidade do solo foi mantida em aproximadamente 70% do volume total de poros (VTP) por uma semana depois do plantio. Após esse período, o solo foi inundado, mantendo-se constante uma lâmina de água de  $5\pm 1$  cm, usando-se água desmineralizada.

O experimento foi conduzido até a floração, quando foram feitas a contagem do número de perfilhos e a colheita, separando-se as plantas em raiz e parte aérea. A parte aérea foi lavada em água comum e, em seguida, em água destilada, depois de seca em estufa a 60 °C com circulação forçada, foi pesada. As raízes foram lavadas em água comum, secas em estufa e pesadas.

As variáveis avaliadas foram: número de perfilhos por vaso, produção de matéria seca da parte aérea (folha + colmos), produção de matéria seca da raiz e relação raiz: parte aérea.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Duncan.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Número de perfilhos

Os resultados da contagem do número de perfilhos por vaso são apresentados na Tabela 1. No solo de Macaé, os maiores decréscimos no perfilhamento ocorreram na ausência de N (47,35%), não diferindo da testemunha, P (33,64%), K (21,18%) e Cu (20,87%). Os demais tratamentos, à exceção da testemunha, não diferiram estatisticamente do tratamento completo. O acréscimo do silício não influenciou no perfilhamento.

Para o solo de Lambari, o perfilhamento foi drasticamente reduzido pela omissão dos macronutrientes, principalmente P (73,71%) e N (71,65%), que não diferiram estatisticamente da testemunha. As omissões de S e K reduziu o perfilhamento em menor intensidade (27,84 e 24,23%, respectivamente). A omissão de zinco, entre os nutrientes, foi a que mais afetou o perfilhamento, embora não tenha diferido do tratamento completo. A ausência da calagem e a adição do silício não alteraram significativamente o perfilhamento em relação ao tratamento completo.

Esses resultados estão de acordo com Fageria (1984), o qual afirma que os nutrientes necessários para um ativo perfilhamento são N, P e S. Segundo Ishizuka e Tanaka, citados por esse autor, para um ativo perfilhamento é necessária uma concentração de N nas plantas acima de 35 g/kg, sendo que com 20 g/kg o perfilhamento cessa, e abaixo de 15, os perfilhos morrem.

Fageria (1980), por sua vez, encontrou aumentos significativos do perfilhamento em função da aplicação de P e segundo Honya, citado por Fageria (1984), quando o P está abaixo de 2,5 g/kg, o perfilhamento cessa.

A redução no perfilhamento na ausência do S, no solo de Lambari, pode ser explicada, segundo Marschner

(1986), pelo acúmulo de nitrogênio não proteico, que retarda o crescimento das plantas. Bastos (1993) também encontrou efeito do S no perfilhamento do arroz.

Existem poucos relatos na literatura de redução de perfilhamento por deficiência de K, porém Fornasier-Filho e Fornasieri (1993) citam que essa deficiência pode reduzir o perfilhamento.

### Matéria seca da parte aérea

A produção de matéria seca da parte aérea em função dos tratamentos é apresentada na Tabela 2. No solo de Macaé, a matéria seca foi afetada apenas pela omissão de N, P e K, que foram respectivamente 29,18%, 18,85% e 26,78% menores que o tratamento completo. A adição de silício, embora tenha sido superior ao tratamento completo, não chegou a apresentar diferença estatística.

No solo de Lambari, N, P e K foram, outra vez, os elementos mais limitantes; a ausência de S e da calagem provocou expressiva redução da matéria seca da parte aérea, embora em menor proporção. As omissões de boro e de cobre propiciaram produção de matéria seca superior ao tratamento completo, sugerindo que as doses usadas foram excessivas, causando fitotoxicidade.

A resposta ao nitrogênio era esperada, uma vez que, em solos de várzea, o teor de matéria orgânica, de acordo com Paula et al. (1990), não é um bom indicador da disponibilidade de nitrogênio. Segundo esses autores, o crescimento das plantas é mais limitado pela deficiência de nitrogênio do que pelos outros nutrientes.

A resposta ao P no solo de Macaé foi surpreendente, uma vez que o solo apresenta elevados teores do elemento e normalmente a inundação aumenta sua disponibilidade. Os resultados, porém, estão de acordo com Teo, Beytrouty e Gbur (1995) e Grande, Curi e Quaggio (1986), que não encontraram nenhuma correlação entre os teores de P extraídos pelo extrator Mehlich - 1 e o P absorvido pelo arroz irrigado, e também com Motta (1988), que encontrou resposta à aplicação do nutriente, mesmo em solos com alto teor de P extraído por Mehlich - 1.

A resposta ao potássio no solo de Macaé, cujo teor inicial do elemento é considerado alto, entra em contradição com Moraes e Freire (1974), os quais afirmam que a disponibilidade de K é aumentada pela redução do Fe e do Mn, que deslocam o K do complexo de troca para a solução do solo. Contudo, ao mesmo tempo em que sua concentração em solução aumenta, o K passa a sofrer a competição do Fe no processo de ab-

sorção. Segundo Vahl, Anghinoni e Volkweiss (1993), essa competição é de natureza mista, ou seja, competitiva e não competitiva, visto que o excesso de Fe aumentou o Km e diminuiu o Vmax, além de aumentar o Cmin. Esses autores sugerem que o Fe pode ocupar o

lugar do Ca na estrutura do carregador, alterando a sua estrutura e impedindo a ligação do K. A presença de inibidores formados em condições de inundação (ácido sulfídrico, azida e cianeto) também pode ter contribuído

**TABELA 1** - Número de perfilhos por vaso em função dos tratamentos. Lavras, 1996<sup>1</sup>

Tratamento	Solo	
	Macaé	Lambari
	Número de perfilhos por vaso	
Testemunha	37,25e	9,75d
Completo	80,25a	48,50ab
- Calagem	74,50ab	48,25ab
- N	42,25de	13,75d
- P	53,25cd	12,75d
- K	63,25bc	36,75c
- S	71,25ab	35,00c
- B	69,50ab	47,50ab
- Cu	63,50bc	51,75a
- Zn	70,75ab	43,00b
+ Silício	80,00a	50,25a
C.V.(%)	14,51	11,09

1. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de significância de 5%.

**TABELA 2** - Matéria seca da parte aérea em função dos tratamentos. Lavras, 1996<sup>1</sup>

Tratamento	Solo	
	Macaé	Lambari
	g / vaso	
Testemunha	72,25c	7,45g
Completo	161,36 a	96,86b
- Calagem	151,52 a	87,42c
- N	114,27b	24,56f
- P	130,94 b	16,45f
- K	118,14b	47,37e
- S	154,79a	73,01d
- B	171,79a	109,29a
- Cu	161,07a	107,97a
- Zn	163,85a	97,37b

+ Silício	170,91a	99,52b
C.V.(%)	9,65	8,33

**1. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de significância de 5%.**

para reduzir a absorção do elemento (Mitsui, citado por Fornasieri Filho e Fornasieri, 1993).

O uso da calagem para arroz em condições de inundação é controverso, uma vez que a inundação eleva o valor ao pH para valores próximos ao neutro (Ponnamperuma, 1972). No solo de Lambari, porém, a omissão da calagem reduziu significativamente a produção de matéria seca. Esse resultado concorda com Guilherme (1990), o qual concluiu que, em alguns solos, a simples inundação não substitui a calagem no que se refere à correção de acidez. Outra explicação seria o baixo teor de Mg nesse solo. Pedroso et al. (1985) sugerem aplicar calcário quando a soma de Ca+Mg no solo for menor que 50 mmol/dm<sup>3</sup> para suprir a planta com estes nutrientes. Nesse solo, o teor de Mg é baixo, indicando que houve deficiência desse nutriente.

Bertoni (1997) constatou decréscimo na produção de matéria seca de arroz na dose de 1,5 mg/kg de Cu, considerada adequada para a maioria das culturas. Paula (1995), trabalhando com B, não constatou fitotoxicidade, mesmo usando doses superiores àquela usada no presente trabalho.

A ausência de resposta ao silício está de acordo com Okuda e Takahashi (1965), os quais afirmaram que o efeito desse é mais acentuado na produção de grãos, não alterando de forma marcante os demais parâmetros.

**Matéria seca das raízes**

Os dados de produção de matéria seca de raízes são apresentados na Tabela 3. No solo de Macaé, as maiores limitações ao crescimento radicular foram propiciadas pela omissão de N, P e K, havendo superioridade estatística do tratamento completo sobre os demais. A omissão de K foi a mais limitante ao crescimento radicular, provavelmente devido ao papel que a adequada nutrição com esse nutriente apresenta sobre a oxidação das raízes, propiciando uma maior resistência à toxicidade de Fe, e também pelo seu papel na síntese e transporte de carboidratos. Segundo Troughton, citado por Barber (1984), o desenvolvimento das raízes depende do excesso de carboidratos que não é utilizado pela parte aérea.

**TABELA 3** - Matéria seca da raiz em função dos tratamentos. Lavras, 1996<sup>1</sup>

Tratamento	Solo	
	Macaé	Lambari
	g / vaso	
Testemunha	21,45d	4,30e
Completo	56,17a	43,04a
- Calagem	42,67b	37,48b
- N	30,08cd	11,82d
- P	27,55cd	7,95e
- K	27,11cd	14,52d
- S	36,01bc	30,42c
- B	41,26b	40,01ab
- Cu	40,42b	43,33a

- Zn	35,81bc	41,34ab
+ Silício	39,12b	37,78b
C.V.(%)	15,81	9,39

### 1. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de significância de 5%.

No solo de Lambari, o crescimento de raízes foi limitado principalmente por N, P, K e S. Esses resultados estão de acordo com Clarkson (1984), o qual afirma que os nutrientes que mais afetam o crescimento radicular são o N e o P, enquanto os efeitos do K e do S, ainda que significativos, são menos pronunciados.

#### Relação raiz:parte aérea

A relação raiz:parte aérea é apresentada na Tabela 4. No solo de Macaé, a maior relação raiz /parte aérea ocorreu no tratamento completo. Já no solo de Lambari, os maiores valores ocorreram nos tratamentos testemunha, - N e -P. Os resultados do solo de Lambari estão de acordo com Fornasieri Filho (1982), que afirma que a deficiência de N e a de P aumenta a relação raiz/ parte aérea. Segundo Russel (1977), quando esses nutrientes são adicionados, ocorre um maior crescimento da parte aérea, que não é acompanhado na mesma proporção pelas raízes. Para o solo de Macaé, o comportamento não se repetiu, podendo indicar uma flutuação na disponibilidade de nutrientes ao longo do ciclo. Segundo Brower, citado por Russel (1977), em cereais, na transição para o período reprodutivo, o peso da parte aérea continua a aumentar, en-

quanto a morte de raízes velhas não é compensada por novo crescimento.

Como as curvas de disponibilidade dos nutrientes em sistemas inundados são específicas para cada solo, com picos e queda de disponibilidade, ocorrendo em diferentes momentos (Mello, 1991), a deficiência de P e N pode ter ocorrido em diferentes estádios de ciclo vegetativo, afetando, de forma diferenciada, raiz e parte aérea. Outros fatores que podem ter contribuído para alterar a relação raiz /parte aérea são os teores iniciais dos elementos no solo e a toxidez de ferro, cujo pico também ocorre em momentos diferentes em cada solo.

### CONCLUSÕES

a) As omissões de N, P e K limitam o perfilhamento nos solos de Macaé e Lambari. O Cu foi limitante apenas no solo de Macaé e o S, apenas no solo de Lambari;

b) A produção de matéria seca da parte aérea do arroz é limitada pelas omissões de N, P e K no solo de Macaé, e no solo de Lambari, também, pelas omissões de S e da calagem. O B e o Cu, nas doses usadas, provocam redução na produção de matéria seca da parte aérea;

**TABELA 4** - Relação raiz:parte aérea em função dos tratamentos. Lavras, 1996<sup>1</sup>

Tratamento	Solo	
	Macaé	Lambari
Testemunha	0,29b	0,58a
Completo	0,35a	0,44bcd
- Calagem	0,29b	0,43bcd
- N	0,26bc	0,48abc
- P	0,21c	0,50ab
- K	0,23bc	0,31e
- S	0,23bc	0,42bcd
- B	0,24bc	0,37de

- Cu	0,25bc	0,41bcde
- Zn	0,22c	0,43bcd
+ Silício	0,23bc	0,38c
C.V.(%)	13,91	15,57

**1. Médias com a mesma letra não diferem entre si ao nível de significância de 5%.**

c) A produção de matéria seca da raiz do arroz é limitada principalmente pelas omissões de N, P, K e S;

d) Não há resposta ao silício no crescimento;

e) O teor de matéria orgânica não se mostra como um bom indicador da disponibilidade de N. Os níveis críticos de P e K no solo não se mostram como bons indicadores da disponibilidade desses elementos.

DEL GIÚDICE, R.M.; FREIRE, F.M.; TANAKA, R.T. Nutrição mineral e adubação do arroz. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.5, n.55, p.40-50, jul. 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro, 1979. n.p.

FAGERIA, N.K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Goiânia: Campus, 1984. 341p.

FAGERIA, N.K. Influência da aplicação de fósforo no crescimento, produção e absorção de nutrientes do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.1, p.26-31, jan./abr. 1980.

FISCHER, R.G.; ELMORI, I.E.; MILAN, P.A.; BISSANI, C.A. Efeito do calcário e fontes de silício sobre a toxidez de ferro em arroz irrigado. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.43, n.390, p.6-10, mar./jul. 1990.

FORNASIERI FILHO, D. **Efeitos do N, P, K, S e Zn no desenvolvimento, produção e composição mineral do arroz (*Oryza sativa* L.) cv IAC47 e IAC 435**. Piracicaba: ESALQ, 1982. 155p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 1993. 221p.

GRANDE, M.A.; CURI, N.; QUAGGIO, J.A. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich e resina, em solos cultivados com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.1, p.45-50, jan./abr. 1986.

GUILHERME, L. R. G. **Calagem e inundação em solos de várzea cultivados com arroz: alterações em pH, nitrogênio, fósforo e enxofre**. Lavras: ESAL, 1990. 113 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ADAMS, F. Interactions of phosphorus with other elements in soil and in plants. In: CHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E. J. (eds.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.655-680.

BARBER, S.A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. New York: J. Wiley, 1984. 398p.

BARBOSA FILHO, M.P. **Nutrição e adubação do arroz (sequeiro e irrigado)**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 129p. (Boletim Técnico, 9).

BASTOS, F. J. M. **Efeito do ferro, gesso agrícola e do calcário na produção de arroz (*Oryza sativa* L.) em solos de várzea inundados**. Lavras: ESAL, 1993. 90p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

BERTONI, J.C. **Efeito do cobre na nutrição e crescimento do arroz (*Oryza sativa* L.) cultivado em solos de várzea sob inundação**. Lavras: UFLA, 1997. 57p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

CLARKSON, D.T. Adaptações morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: ROSAND, P.C.(ed.). **Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1984. p.45-75.



- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. **Avaliação do estado nutricional e da fertilidade do solo: métodos de vegetação-diagnose por subtração em vasos**. Piracicaba: CENA-USP, 1985. 7p. (Mimeografado).
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 649p.
- MELLO, J.W.V. **Dinâmica do fósforo, ferro e manganês e disponibilidade do fósforo para o arroz em solos inundados**. Viçosa: UFV, 1991. 212 p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- MESQUITA, H.A. de. **Efeito do gesso e do calcário em solo Aluvial cultivado com arroz (*Oryza sativa* L.)**. Lavras: ESAL, 1993. 81p. (Dissertação - Mestrado em Fitotecnia).
- MORAES, J. F. V. Efeitos da inundação do solo. I. Influência sobre o pH, o potencial de óxido-redução e a disponibilidade do fósforo no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.8, n.7, p.93-101, 1973.
- MORAES, J.F.V.; FREIRE, C.J. Variação do pH, da condutividade elétrica e da disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em quatro solos submetidos à inundação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 9, n.9, p. 35-43, 1974.
- MOTTA, A.C.V. **Avaliação da disponibilidade de fósforo em solos de várzea do estado de Minas Gerais**. Lavras: ESAL, 1988. 95p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- OKUDA, A; TAKAHASHI, E. The role of silicon. In: HOPKINS, J. (ed.). **The mineral nutrition of rice plant**. Baltimore: Oxford & IBH, 1965. p.123-146.
- PAULA, M.B de. **Eficiência de extratores e níveis críticos de boro disponível em amostras de solos Aluviais e Hidromórficos sob a cultura do arroz inundado**. Lavras: UFLA, 1995. 69p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- PAULA, M.B. de; CARVALHO, J.G. de; SOARES, A.A.; NOGUEIRA, F.D. Avaliação da fertilidade de solo de várzea (Glei Húmico) para a cultura do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.4, p.571-577, abr. 1990.
- PEDROSO, B.A. **Arroz irrigado: obtenção e manejo de cultivares**. Porto Alegre: Saga, 1985. 175p.
- PETERS, G.A.; CALVERT, H.F. The Azzola - Anabaena symbiosis. In: RAOS, N.S.S. (ed.). **Advances in agricultural microbiology**. New Delhi: Oxford & Igh, 1982. p191-218.
- PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.24, p.29-96, 1972 .
- RUSSEL, R. S. **Plant root systems: their function and interaction with the soil**. Maidenhead-England: McGraw-Hill, 1977. 298p.
- TEO, Y.H.; BEYTROUTY, C.A.; GBUR, E.E. Relating soil test P uptake by paddy rice. **Soil Science**, Baltimore, v.159, n.6, p.409-414, June 1995.
- VAHL, L.C; ANGHINONI, I; VOLKWEISS, S.J. Cinética da absorção de potássio afetada por ferro, cálcio e magnésio em genótipos de arroz de diferentes sensibilidades à toxicidade de ferro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p 269-273, maio/ago. 1993.
- VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).