

# RESPOSTA DE PLÂNTULAS DE ARROZ CV. BRS – SOBERANA À APLICAÇÃO DE ZINCO VIA SEMENTE

## Response in rice cv. BRS – Soberana seedlings to addition of zinc to seeds

Danilo Eduardo Rozane<sup>1</sup>, Renato de Mello Prado<sup>2</sup>, Liliane Maria Romualdo<sup>3</sup>, Ronaldo Rosa Simões<sup>4</sup>

### RESUMO

A cultura do arroz constitui um dos principais cereais que apresenta alta resposta à aplicação de zinco, constituindo um dos principais cereais em que isso ocorre. Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar a aplicação de zinco em sementes, a partir de duas fontes, sobre a nutrição e o crescimento inicial da cultura do arroz cultivar BRS-Soberana. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em três repetições. Os tratamentos foram cinco doses 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0g de Zn por kg de semente, das fontes sulfato e óxido, além da testemunha. Após 30 dias da semeadura, avaliou-se a matéria seca (parte aérea e raiz) e o teor e acúmulo de zinco nas plantas. O sulfato de zinco não diferenciou ao óxido para produção de matéria seca total nas plântulas de arroz, entretanto, proporcionou maior absorção de Zn. A aplicação de zinco na forma de sulfato e óxido, na dose de 8g Zn.kg<sup>-1</sup> de semente proporcionou maior produção de matéria seca atingindo teor do nutriente, na parte aérea de 281 e 163 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Termos para indexação:** Adubação, micronutriente, nutrição mineral, *Oryza sativa* L., tratamento de semente.

### ABSTRACT

Rice is one of the main cereals that present high response to zinc addition. The present study assessed the effect nutrition and initial growth of rice crop, cultivar BRS-Soberana, different sources of Zn application on seeds, from two. A completely randomized design was used, with three replications. Treatments used were zinc from sulphate and oxide sources in five dosages of 1.0; 2.0; 4.0 and 8.0g of Zn per kg of seed, and an untreated control. Levels of zinc and its accumulation, as well as dry matter from the aerial part and the roots of the plants were evaluated thirty days after seed planting. The zinc sulphate did not differ from the oxide source when considering production of dry matter in the rice seedlings, although it propitiated higher Zn absorption by the plants. The addition of zinc as sulphate and oxide at an 8g Zn.kg<sup>-1</sup> of seed dosage propitiated higher dry matter production, attaining 281 e 163 mg.kg<sup>-1</sup> nutrient levels respectively, in the aerial part of the plants.

**Index terms:** Fertilization, micronutrients, mineral nutrition, *Oryza sativa* L., seed treatment.

(Recebido em 23 de outubro de 2006 e aprovado em 11 de setembro de 2007)

### INTRODUÇÃO

A ausência de zinco é considerado o fator que mais limita a produção de arroz no Brasil. A cultura do arroz tem apresentado alta resposta à aplicação de zinco no solo, em experimentação de campo (GALRÃO et al., 1978; MORAES et al., 2004) e casa de vegetação (FAGERIA, 2000; OLIVEIRA et al., 2003). Slaton et al. (2001), acrescentaram que a aplicação de Zn via semente de 2,2 a 5,7 g.kg<sup>-1</sup> foi a alternativa mais econômica que a aplicação no solo. Desse modo, na fase de crescimento inicial do arroz, a aplicação de Zn nas sementes, pode ser uma técnica importante, pois permite adequada distribuição uniforme do nutriente na área e também garante a nutrição da planta no estágio

inicial de crescimento, na fase em que o sistema radicular é pouco desenvolvido.

Plantas com deficiência de Zn, em estágios iniciais de desenvolvimento, têm seu desenvolvimento afetado e dificilmente poderão expressar seu máximo potencial genético, pois há prejuízo tanto na manutenção da atividade enzimática como para a enzima sintetase do triptofano ocasionando a diminuição do volume celular e o menor crescimento apical, devido à redução da síntese ou a própria degradação de auxinas como AIA (EPSTEIN & BLOOM, 2006). Outro agravante à falta de Zn seria o desarranjo na síntese protéica (RNA) e redução de nitrato, promovendo diminuição no nível de RNA, o que resulta em menor síntese de proteínas e dificuldade na divisão

Projeto com Auxílio à Pesquisa FAPESP Processo 2004/14662-6.

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutorando – Departamento de Solos e Adubos – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/FCAV – Universidade Estadual Paulista/UNESP – Via de Acesso Professor Doutor Paulo Donato Castellane, Km 5 – 14870-000 – Jaboticabal, SP – danilorozane@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor – Departamento de Solos e Adubos – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/FCAV – Universidade Estadual Paulista/UNESP – Via de Acesso Professor Doutor Paulo Donato Castellane, Km 5 – 14870-000 – Jaboticabal, SP – rmprado@fcav.unesp.br

<sup>3</sup>Zootecnista, Mestranda – Departamento de Solos e Adubos – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/FCAV – Universidade Estadual Paulista/UNESP – Via de Acesso Professor Doutor Paulo Donato Castellane, Km 5 – 14870-000 – Jaboticabal, SP – lilianeromualdo@yahoo.com.br

<sup>4</sup>Engenheiro Agrônomo, Mestrando – Departamento de Solos e Adubos – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/FCAV – Universidade Estadual Paulista/UNESP – Via de Acesso Professor Doutor Paulo Donato Castellane, Km 5 – 14870-000 – Jaboticabal, SP – ronaldors3@yahoo.com.br

celular; isto é explicado pelo fato de o Zn inibir a RNAase (desintegradora de RNA), e ainda fazer parte da RNA polimerase, que sintetiza RNA (MALAVOLTA, 2006).

Apesar de promissora, a técnica de aplicação de Zn, via semente, existem poucos estudos na cultura do arroz (SLATON et al., 2001), especialmente comparando-se fontes de zinco. Diante desse contexto, objetivou-se, o trabalho, avaliar a aplicação de zinco a partir de duas fontes, sobre a nutrição e o crescimento inicial da cultura do arroz cv. Soberana, cultivado em areia.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições de casa de vegetação, na FCAV/Unesp, campus Jaboticabal-SP. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em três repetições. Os tratamentos foram cinco doses 0; 1,0; 2,0; 4,0 e 8,0g de Zn por kg de semente, duas fontes de zinco, o sulfato de zinco (22% de Zn) e o óxido de zinco (50% de Zn).

As unidades experimentais foram bandejas de polietileno translúcido preenchidas com 5 L de areia grossa lavada, com 50 sementes de arroz cv. BRS-Soberana, que destina-se ao cultivo em sequeiro.

Para a aplicação de zinco nas sementes, utilizou-se a técnica de umedecimento, estabelecida segundo indicações de Volkweiss (1991), a partir da dissolução das respectivas fontes em um recipiente com quantidade mínima de água, adicionando-se esta mistura a seguir às sementes, que foram semeadas imediatamente. Considerou-se que a dose de Zn foi integralmente aplicada nas unidades experimentais (bandejas). Salienta-se que, durante o período experimental, todos os tratamentos foram fertirrigados com solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon (1950), menos zinco.

Aos 30 dias após a semeadura, efetuou-se o corte das plantas, separando-as em parte aérea e raízes. Depois todo o material vegetal foi lavado em água destilada, seco em estufa, com circulação de ar à temperatura de 65 a 70°C, até peso constante. A matéria seca das partes da planta foi pesada e moída para as determinações químicas dos teores de macro e micronutrientes no tecido vegetal, seguindo-se a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

A partir da matéria seca e do conteúdo dos nutrientes na planta, foram calculados os índices: (a) eficiência de absorção = (conteúdo total do nutriente na planta)/(matéria seca de raízes), conforme Swiader et al. (1994); (b) eficiência de transporte = ((conteúdo do

nutriente na parte aérea)/(conteúdo total do nutriente na planta)) x 100, de acordo com Li et al. (1991) e (c) eficiência de utilização = (matéria seca total produzida)<sup>2</sup>/(conteúdo total do nutriente na planta) segundo Siddiqi & Glass (1981).

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e para comparação das médias das fontes ao teste Tukey. As doses foram analisadas pelo estudo de regressão polinomial.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### a) Efeito das doses e fontes de Zn, na produção de matéria seca e no teor e acúmulo de zinco

De acordo com os resultados obtidos, constatou-se que houve efeito significativo das doses para todas as variáveis avaliadas, exceto à matéria seca da raiz. Quanto às fontes e à interação, observou-se que, para produção de matéria seca (parte aérea, raiz e planta inteira), não houve efeito significativo. Entretanto, houve efeito significativo no teor de Zn (parte aérea e raiz) e acúmulo de Zn (parte aérea, raiz e planta inteira) do arroz, em função da aplicação de doses de zinco, sob diferentes fontes, nas sementes (Tabela 1).

Observa-se ainda que as fontes de Zn aplicadas nas sementes foram semelhantes para o incremento da matéria seca das plântulas de arroz (Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Barbosa Filho et al. (1982) e Galvão & Mesquita Filho (1981), em arroz. Entretanto, em outros trabalhos com arroz constataram-se diferenças no desenvolvimento da planta, entre as fontes sulfato e óxido (FLOR et al., 1974; OHSE et al., 1997).

Tais variações, encontradas na literatura, mostram que as diferenças entre as fontes ocorrem além da solubilidade do material empregado, também em decorrência da própria cultivar escolhida (FAGERIA et al., 1995) do meio de cultivo empregado e da duração do experimento.

As doses de Zn, independentemente da fonte, aumentaram de forma quadrática a produção de matéria seca da parte aérea (Figura 1a) e de forma linear a produção de matéria seca da planta inteira (Figura 1b).

A resposta positiva da aplicação de Zn em sementes de arroz está de acordo com Ohse et al. (1997) e Slaton et al. (2001). Respostas semelhantes foram obtidas no desenvolvimento do arroz, com a aplicação de Zn no solo (GALRÃO et al., 1978; MORAES et al., 2004). Entretanto, Andrade et al. (1998), Bonnacarrère et al. (2004) e Machado et al. (1983) não observaram efeito positivo do Zn no arroz.

Tabela 1 – Resultados médios e o valor de F da produção de matéria seca, teor e acúmulo de zinco na parte aérea e raízes, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de zinco às sementes de arroz cultivar BRS-Soberana.

Causa de variação	Matéria seca			Teor de Zn		Acúmulo de Zn		
	----- g -----			----- mg kg <sup>-1</sup> -----		----- µg por planta -----		
	Parte aérea	Raízes	Planta inteira	Parte aérea	Raízes	Parte aérea	Raízes	Planta inteira
<b>Doses (D)</b>								
g.kg <sup>-1</sup>								
0	0,79	0,75	1,54	53,33	39,17	41,96	29,43	71,39
1	0,83	0,81	1,63	126,42	169,50	104,45	138,65	243,10
2	0,87	0,85	1,72	160,17	217,83	140,07	183,56	323,63
4	0,92	0,86	1,78	181,67	282,50	167,62	245,16	412,77
8	0,94	0,85	1,79	199,30	336,33	187,62	289,71	477,33
Teste F	9,96 <sup>**</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	3,07 <sup>*</sup>	511,79 <sup>**</sup>	229,46 <sup>**</sup>	436,01 <sup>**</sup>	68,82 <sup>**</sup>	137,81 <sup>**</sup>
<b>Fontes (F)</b>								
Sulfato	0,88	0,83	1,72	159,20 <sup>a</sup>	222,13 <sup>a</sup>	145,40 <sup>a</sup>	192,42 <sup>a</sup>	333,82 <sup>a</sup>
Óxido	0,85	0,82	1,67	129,15 <sup>b</sup>	196,00 <sup>b</sup>	111,29 <sup>b</sup>	162,18 <sup>b</sup>	273,47 <sup>b</sup>
Teste F	3,35 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	174,12 <sup>**</sup>	15,04 <sup>**</sup>	191,76 <sup>**</sup>	7,75 <sup>*</sup>	28,52 <sup>**</sup>
<b>Interação</b>								
D x F	1,49 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>	79,69 <sup>**</sup>	26,88 <sup>**</sup>	75,29 <sup>**</sup>	11,64 <sup>**</sup>	22,87 <sup>**</sup>
CV(%)	5,6	14,3	8,7	4,3	8,8	5,3	16,8	10,8

\* ; \* e ns - Significativo a 1% e a 5 % de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

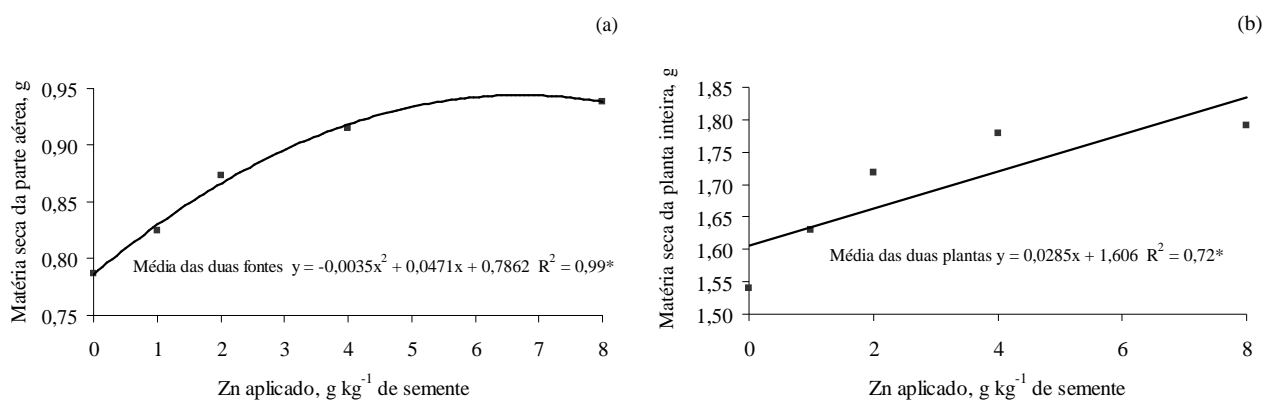


Figura 1 – Efeito das fontes de zinco em sementes de arroz, BRS-Soberana, na produção de matéria seca da parte aérea (a) e da planta inteira (b) em estágio inicial de crescimento.

Observou-se que a fonte sulfato afetou o teor de zinco com resposta quadrática na parte aérea e de forma linear na raiz (Figuras 2a, b), e de forma quadrática o acúmulo do nutriente nos diferentes órgãos analisados (Figuras 2c, d, e). Para a fonte óxido, a aplicação de Zn aumentou o teor do nutriente de forma quadrática (parte aérea e raiz) e também o acúmulo (parte aérea, raiz, planta inteira) (Figuras 2a, b, c, d, e).

Nota-se ainda, que o aumento das doses de Zn elevou o teor e o acúmulo de Zn de forma quadrática na

parte aérea, raiz e planta toda, para ambas as fontes aplicadas (Figuras 2a, b, c, d). Schöffel & Lúcio (2001), também verificaram, em arroz, o incremento da produção de matéria seca em função da absorção de Zn. Esse efeito do Zn, no crescimento das plantas, ocorre em função da participação do nutriente na rota metabólica do triptofano para ácido indolacético (AIA), que é a principal auxina de crescimento (FORNASIERI FILHO & FORNASIERI, 1993).

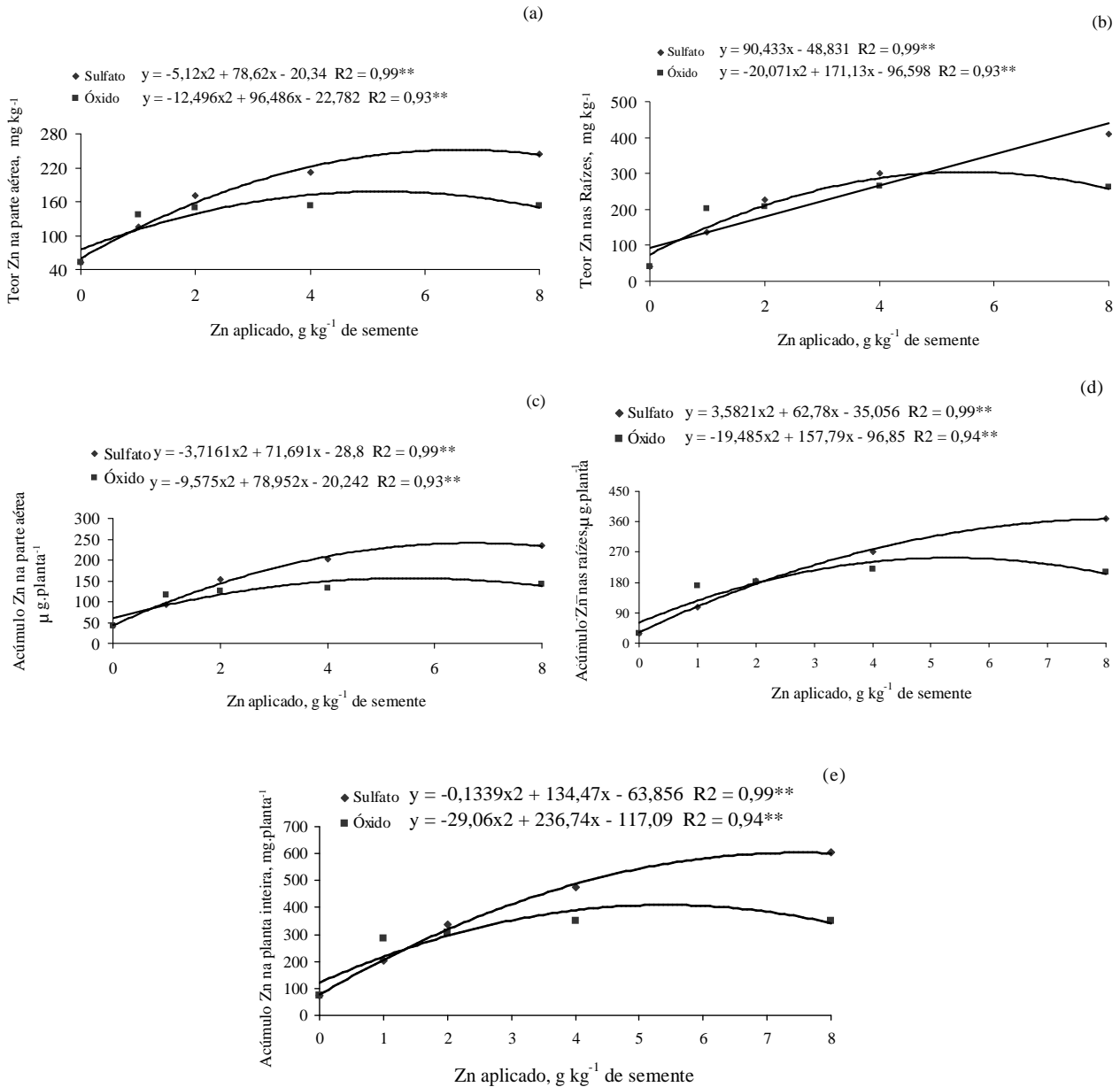


Figura 2 – Efeito da aplicação de fontes de zinco, em sementes de arroz, cultivar BRS-Soberana, no teor de Zn da parte aérea (a) e raízes (b) e acúmulo de Zn da parte aérea (c), raízes (d) e planta inteira (e), em estágio inicial de crescimento.

Salienta-se, ainda que a dose que proporcionou o maior teor de zinco (281,5 mg kg<sup>-1</sup>), na parte aérea do arroz, foi 7,68g Zn aplicado kg<sup>-1</sup> de semente na forma de sulfato; já o óxido proporcionou o maior teor 163,5 mg kg<sup>-1</sup>, em uma dose de 3,86g Zn aplicado kg<sup>-1</sup> de semente (Figura 2a). Tendência essa que se confirma também para o teor nas raízes, onde o sulfato foi superior ao óxido, proporcionando

um teor de 674,6 mg kg<sup>-1</sup>, com a aplicação da dose máxima de 8g Zn kg<sup>-1</sup> de semente. Ao passo que o óxido atingiu o maior teor de 268,2 mg kg<sup>-1</sup>, com a dose de 4,26g Zn aplicado kg<sup>-1</sup> de semente (Figura 2b).

Apesar da aplicação de Zn, especialmente na forma de sulfato, ter proporcionado alto teor do nutriente na parte aérea (281,5 mg kg<sup>-1</sup>), entretanto não foi detectado efeito

de toxidez, seja ela por diagnose visual e ou redução na matéria seca (Figura 1a, b). Oliveira et al. (2003) observaram teor de até 569 mg kg<sup>-1</sup>, em arroz, sem que a planta apresente sintomas de toxicidade. Salienta-se que tais efeitos foram relatados por Fageria (2000), em teor de Zn igual a 673g kg<sup>-1</sup>.

Assim, observou-se que a maior produção de matéria seca esteve associada com teor de Zn na parte aérea, variando de 163 a 281 mg kg<sup>-1</sup> para as fontes óxido e sulfato, respectivamente. Esses teores de Zn estão acima dos encontrados por outros autores, em arroz cultivado em vaso preenchido com solo, a exemplo de Barbosa Filho et al. (1982) (35mg kg<sup>-1</sup>); Schöffel & Lúcio (2001) (34–43 mg kg<sup>-1</sup>); Oliveira et al. (2003) (45 - 101 mg kg<sup>-1</sup>) e Moraes et al. (2004) (16 - 42 mg kg<sup>-1</sup>). Entretanto, tais teores de Zn estão abaixo do obtido por Barbosa Filho et al. (1992) (309 mg kg<sup>-1</sup>).

As diferenças obtidas de Zn no tecido vegetal, entre o presente trabalho e a literatura, devem-se principalmente às condições de cultivo diferenciadas como solo e areia. Além das diferentes cultivares empregadas Borket et al. (1998) também evidenciam que há amplitude na variação do nível crítico de toxicidade mesmo entre cultivares de mesma espécie.

Cabe salientar que, o acúmulo maior de Zn nas raízes comparativamente à parte aérea, deve-se ao fato da raiz ter atuado como “barreira” do elemento, para diminuir a possibilidade de toxicidade na planta, sendo um mecanismo de tolerância desse cultivar de arroz às altas doses do nutriente. Salienta-se que a tolerância das plantas ao excesso de Zn, está relacionada ao fato da planta exudar substâncias quelantes nas raízes, por meio de ligação do metal às cargas existentes na parede celular ou a complexação do metal (Zn) no citoplasma das células, por ácidos orgânicos e inorgânicos, fitatos e fitoquelatinas (WANG & EVANGELOU, 1994). Por fim, esses compostos formados são armazenados nos vacúolos na forma menos tóxica para a planta, mas ao proceder-se à análise química no tecido vegetal, esse é quantificado inferindo alto teor na planta.

#### **b) Efeito das doses e fontes de Zn sobre a eficiência nutricional**

Observa-se pela Tabela 2, que houve diferença entre os tratamentos, que sofreram interferências das doses para todos os parâmetros avaliados, entretanto o mesmo só ocorreu para as fontes e a interação na eficiência de absorção, já que para a eficiência de transporte, a interação foi não-significativa e para a eficiência de utilização não houve efeito significativo das fontes.

Para a eficiência de absorção constatou-se que o sulfato foi superior ao óxido, atingindo a máxima eficiência

de 67%, na dose de 8g Zn.kg<sup>-1</sup> semente, sendo que na dose zero a eficiência foi superior à todas as doses estudadas (Figura 3a). Esse fato pode ser explicado pelo baixo acúmulo de matéria seca radicular apresentada às menores doses, haja vista a limitação nutricional.

A interação entre fontes e doses somente não ocorreu para a eficiência de transporte. Salienta-se que o aumento das doses de Zn resultaram em diminuição significativa da eficiência de transporte do nutriente. Assim, as doses de Zn aplicadas às semente do arroz, proporcionaram incremento quadrático na eficiência de transporte de Zn, para ambas as fontes do nutriente. Observa-se ainda que, na dose zero, a eficiência foi superior à todas as doses estudadas (Figura 3b). Esse fato pode ser explicado pela baixa concentração no substrato, pois todo o Zn contido na semente foi transportado para a parte aérea a fim de desempenhar seu papel fisiológico na nutrição da planta.

Gao et al. (2005) salientam que a eficiência de transporte é um fator importante, explicando em 53% a produção das diferentes cultivares de arroz. IRRI (1969), afirmam que o teor de Zn da parte aérea de cultivares de arroz pode variar sob altas doses de Zn, pela maior capacidade de translocação do Zn do sistema radicular para a parte aérea.

Nota-se, na Tabela 2, que houve efeito significativo na eficiência de utilização em função das doses e na interação, no entanto, isso não ocorreu entre as fontes. Houve queda acentuada na eficiência de utilização com a elevação das doses de Zn, para ambas as fontes (Figura 3c), tendo menor eficiência obtida, pela fonte sulfato, com 4,03g Zn kg<sup>-1</sup>semente, proporcionando uma produção de 4,57g de matéria seca por mg de Zn acumulado (Figura 1b).

Oliveira et al. (2003) obtiveram resultados similares, trabalhando com resposta de duas cultivares de arroz à aplicação de zinco, onde a eficiência de utilização ficou em 3,79 e 6,67g de matéria seca por mg de Zn, adicionado às cultivares de arroz IAC162 e IAC202, respectivamente, indicando assim que a IAC 202 seria mais eficiente na utilização do Zn.

Pelos resultados, observou-se que a aplicação de zinco em sementes, na forma de sulfato, resultou em maior eficiência de absorção e transporte de Zn, comparada à forma de óxido, entretanto para eficiência de utilização as fontes foram semelhantes. Assim, como as fontes também foram semelhantes na produção de matéria seca, infere-se que a eficiência de utilização retratou esse fato mais adequadamente que as demais eficiências estudadas.

Tabela 2 – Resultados médios e valor de F da eficiência de absorção, transporte e de utilização do zinco, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de Zn às sementes de arroz cultivar BRS-Soberana.

Causa de variação	Eficiência de Absorção	Eficiência de Transporte	Eficiência de Utilização
Doses (D) g kg <sup>-1</sup>			
0	0,95	58,79	33,24
1	0,30	44,03	11,27
2	0,39	43,24	9,14
4	0,48	40,64	7,76
8	0,55	39,53	7,10
Teste F	288,59**	29,15**	512,72**
Fontes (F)			
Sulfato	0,39 <sup>a</sup>	76,79 <sup>a</sup>	13,62
Óxido	0,33 <sup>b</sup>	43,70 <sup>b</sup>	13,79
Teste F	40,89**	5,75*	0,15 <sup>ns</sup>
Interação			
D x F	31,04**	1,21 <sup>ns</sup>	4,28*
CV(%)	7,1	7,8	8,7

\*\* ; \* e <sup>ns</sup> - Significativo a 1% e a 5 % de probabilidade, e não significativo, respectivamente.

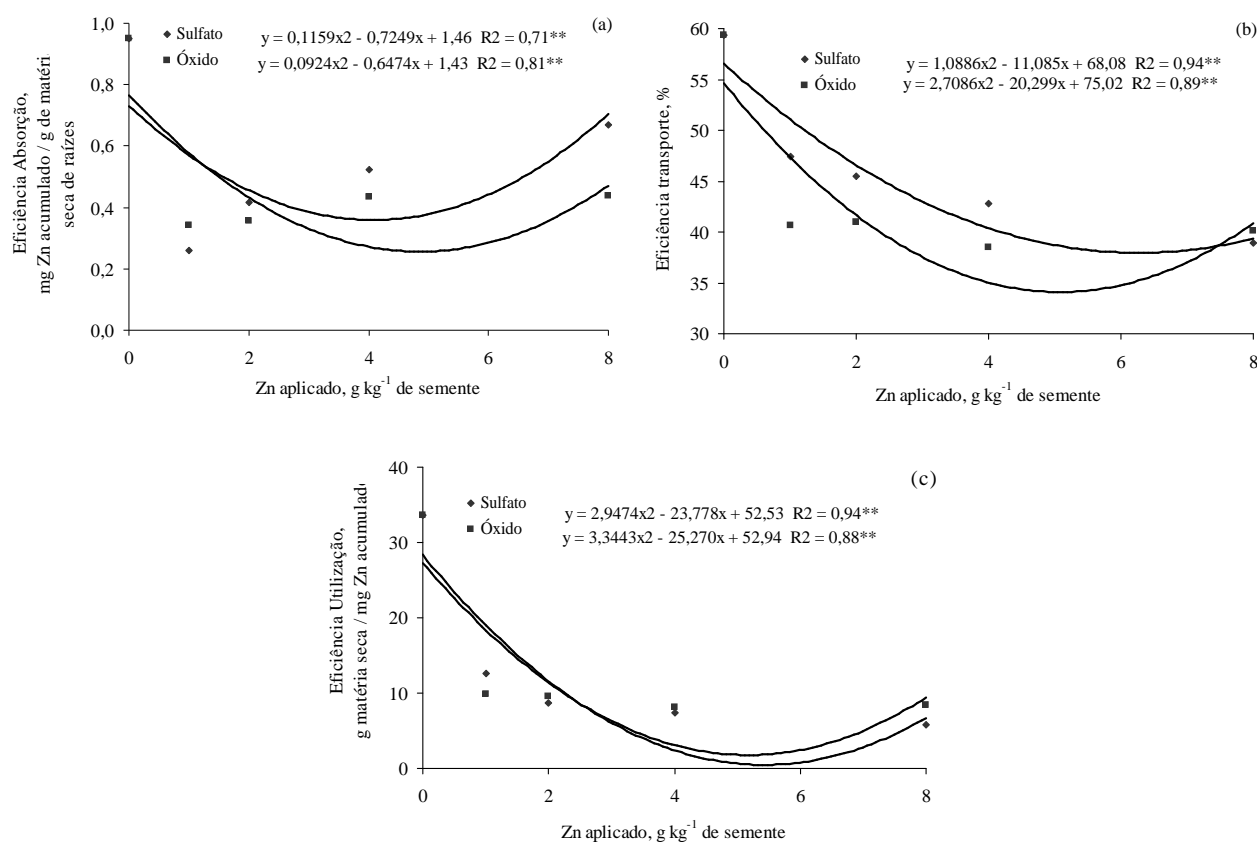


Figura 3 – Efeito da aplicação de fontes de zinco em sementes de arroz cultivar BRS-Soberana na eficiência de absorção (a), transporte do zinco (b) e utilização (c), em plantas em estágio inicial de crescimento.

### CONCLUSÕES

O sulfato de zinco não diferencia do óxido de zinco quanto à eficiência de utilização e a produção de matéria seca total em plântulas de arroz, entretanto, proporciona maior absorção de Zn.

A aplicação de zinco nas formas de sulfato e óxido, na dose de 8g Zn kg<sup>-1</sup> de semente, proporciona maior produção de matéria seca, atingindo teor do nutriente na parte aérea de 281 e 163 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, W. E. B.; SOUZA, A. F.; CARVALHO, J. G. Deficiências nutricionais no arroz irrigado em sucessão ao feijoeiro em solo de várzea. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1129-1135, 1998.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; CARVALHO, J. R. P. Fontes de zinco e modos de aplicação sobre a produção de arroz em solos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 12, p. 713-719, 1982.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F.; BARBOSA, A. M. Interações entre calagem e zinco na absorção de nutrientes e produção de arroz de sequeiro em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 355-360, 1992.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48 p. (Boletim técnico, 78).
- BONNECARRÈRE, R. A. G.; LONDERO, F. A. A.; SANTOS, O.; SCHMIDT, D.; PILAU, F. G.; MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D. Resposta de genótipos de arroz irrigado à aplicação de zinco. **Revista Faculdade Zootecnia Veterinária e Agronomia de Uruguaiana**, Uruguaiana, v. 10, p. 214-222, 2004.
- BORKERT, C. M.; COX, F. R.; TUCKER, M. R. Zinc and copper toxicity in peanut, soybean, rice and corn in soil mixtures. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 29, p. 2991-3005, 1998.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas, princípios e perspectivas**. Traduzido por Maria Edna Tenório Nunes. Londrina: Planta, 2006. 86 p.
- FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000.
- FAGERIA, N. K.; SANT'ANA, E. P.; MORAIS, O. P. Resposta de genótipos de arroz de sequeiro favorecido à fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 1155-1161, 1995.
- FLOR, M. C. A.; CHEANEY, R.; NEIRA, P. S. O problema da deficiência do zinco em arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 27, n. 282, p. 20-23, 1974.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: Funep, 1993. v. 1, 221 p.
- GALRÃO, E. Z.; MESQUITA FILHO, M. V. Efeito do zinco na produção de matéria seca do milho em um solo sob Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 5, p. 167-170, 1981.
- GALRÃO, E. Z.; SUHET, A. R.; SOUSA, D. M. G. Efeito de micronutrientes no rendimento e composição química do arroz (*Oryza sativa* L.) em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, p. 129-132, 1978.
- GAO, X.; ZOU, C.; ZHANG, F.; ZEE, S. E. A. T. M. van der; HOFFLAND, E. Tolerance to zinc deficiency in rice correlates with zinc uptake and translocation. **Plant and Soil**, Madison, v. 278, n. 1/2, p. 253-261, 2005.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water culture method for growing plants without soils**. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 1950. 347 p.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Zinc nutrition of rice. In: ANNUAL REPORT, 1969, Los Baños. **Proceedings...** Philippines: [s.n.], 1969. p. 155-161.
- LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Madison, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.
- MACHADO, M. O.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S. Influência do calcário na resposta do arroz irrigado a aplicação de zinco. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 12., 1983, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre: IRGA, 1983. p. 143-148.

- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Viçosa: UFV, 2006. 631 p.
- MORAES, M. F.; SANTOS, M. G.; BERMÚDEZ-ZAMBRANO, O. D.; MALAVOLTA, M.; RAPOSO, R. W. C.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Resposta do arroz em casa de vegetação a fontes de micronutrientes de diferentes granulometria e solubilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 611-614, 2004.
- OHSE, S.; SANTOS, O. S.; MENEZES, N. L.; SCHMIDT, D. Efeito de fontes e doses de zinco sobre a germinação e o vigor de sementes de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 369-373, 1997.
- OLIVEIRA, S. C.; COSTA, M. C. G.; CHAGAS, R. C. S.; FENILLI, T. A. B.; HEINRICH, R.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Resposta de duas cultivares de arroz a doses de zinco aplicado como oxissulfato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 387-396, 2003.
- SCHÖFFEL, E. R.; LÚCIO, A. D. C. Comportamento de variedades de arroz sob diferentes doses de zinco aplicadas no solo. **Revista Faculdade Zootecnia Veterinária e Agronomia de Uruguaiana**, Uruguaiana, v. 7/8, n. 1, p. 27-31, 2001.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.
- SLATON, N. A.; WILSON JUNIOR, C. E.; NTAMATUNGIRO, S.; NORMAN, R. J.; BOOTHE, D. L. Evaluation of zinc seed treatments for rice. **Agronomy Journal**, Amsterdam, v. 93, p. 152-157, 2001.
- SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.
- VOLKWEISS, S. J. Fontes e métodos de aplicação. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1998, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: Potafós/CNPq, 1991. p. 391-412.
- WANG, J.; EVANGELOU, V. P. **Metal tolerance aspects of plant cell wall and vacuole**: handbook of plant and crop physiology. Tucson: The University of Arizona, 1994. 325 p.