

# Adubação fosfatada em rúcula: produção e eficiência no uso da água

Phosphorus fertilization in arugula: production and efficiency in water use

---

*Edna Maria Bonfim-Silva<sup>1</sup>; Gislane Renata Frigo<sup>2</sup>; Maria Débora Loiola Bezerra<sup>2</sup>; Carolina Silva Alves dos Santos<sup>2</sup>; Helon Hébano de Freitas Sousa<sup>3</sup>,  
Tonny José Araújo da Silva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Professor Adjunto. Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Rondonópolis.  
E-mail: embonfim@hotmail.com

<sup>2</sup>Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Rondonópolis.

<sup>3</sup>Bolsista PNPD/CAPES, Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Rondonópolis.

---

**Resumo:** O fósforo é um importante nutriente para as plantas e sua presença no solo promove o crescimento e eleva a produção das hortaliças, trata-se do nutriente mais usado em adubação no Brasil. Objetivou-se avaliar o desenvolvimento da cultura da rúcula em doses de fósforo em Latossolo Vermelho do Cerrado. O experimento foi realizado em casa de vegetação com delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis doses de fósforo ( $P_2O_5$ ): 0; 80; 160; 240; 320 e 400  $mg\ dm^{-3}$  e seis repetições. Cada unidade experimental consistiu em um vaso de *Leonard* adaptado com capacidade de 1  $dm^3$  de solo. A cultura utilizada foi a rúcula (*Eruca sativa* Miller) cv. cultivada. As variáveis analisadas foram Valor SPAD (determinação indireta do teor de clorofila), número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea e de raiz da planta, além do consumo e eficiência do uso da água. Todas as variáveis foram submetidas à análise de variância e teste de regressão até 5% de probabilidade. A adubação fosfatada em níveis apropriados, entre 260,00 e 297,9  $mg\ dm^{-3}$ , promove o maior rendimento da cultura, além de melhorar a eficiência no uso de água das plantas.

**Palavras-chave:** *Eruca sativa*. Fósforo. Vaso de *Leonard*. Nutrição de plantas.

**Abstract:** Phosphorus is an essential nutrient for plants and its presence in the soil promotes growth and increases vegetables production; it is the most commonly used nutrient in fertilization in Brazil. This study aimed to evaluate the development of arugula culture in phosphorus levels in Oxisol of the Cerrado. The experiment was conducted in a greenhouse with a completely randomized design with six doses of phosphorus ( $P_2O_5$ ): 0; 80; 160; 240; 320 and 400  $mg\ dm^{-3}$  and six replications. Each experimental unit consisted of a Leonard vessel fitted with the capacity of 1  $dm^3$  of soil. The culture used was the arugula (*Eruca sativa* Miller) cv. cultivated. The variables analyzed were value SPAD (indirect determination of chlorophyll

content), the number of leaves, the fresh and dry weight of shoot and root of the plant, and the consumption and efficiency of water use. All variables were subjected to analysis of variance and regression testing up to 5% probability. The phosphorus fertilization at appropriate levels between 260.00 and 297.9 mg dm<sup>-3</sup> promotes greater crop yield and improves efficiency in plants water use.

**Keywords:** *Eruca sativa*. Phosphorus. Plant nutrition. SPAD value.

## Introdução

A produção brasileira de hortaliças aumentou 31% entre 2000 e 2011, sendo este crescimento devido à, principalmente, adoção de novas tecnologias, uma vez que a área praticamente não se alterou, mantendo-se em cerca de 800 mil hectares. A estimativa do número de empregos gerados pelo setor deve envolver pelo menos 7,3 milhões de pessoas (BELING *et al.*, 2013)

A rúcula é uma hortaliça folhosa herbácea, pertencente à família *Brassicaceae*, de rápido crescimento vegetativo e ciclo curto. O período que abrange desde a emergência das plântulas até a iniciação floral representa sua produção economicamente viável para o consumo humano, que se encerra ao atingir o maior tamanho das folhas. Suas folhas são relativamente espessas e recortadas, de coloração verde, com nervuras verde-claras (MORALES; JANICK, 2002).

A nutrição mineral das plantas é um dos fatores que afeta a expressão fisiológica de um genótipo. As hortaliças são bastante exigentes em fósforo, desde a formação da plântula até o período de frutificação (FILGUEIRA, 2000). Para obter altas produtividades em hortaliças, é necessária uma adubação fosfatada equilibrada, pois, este é o nutriente cuja falta no solo, mais frequentemente, limita a produção (FONSECA *et al.*, 1997). Segundo Malavolta (1985), o fósforo possui papel fundamental na vida das plantas, pois participa dos compostos ricos em energia como o ATP. O fósforo atua no processo de transferência de energia, assim, é indispensável para fotossíntese, translocação dentre outros processos metabólicos de relevância (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O fósforo é um importante nutriente promotor de crescimento que aumenta a produção das hortaliças, sendo um dos macronutrientes mais utilizados em adubação no Brasil, devido à carência generalizada de fósforo nos solos brasileiros, principalmente, aqueles predominantes nas regiões de clima tropical, e também pela forte interação do nutriente com o solo (RAIJ, 1991). Segundo Malavolta (1989), as plantas não conseguem aproveitar mais que 10% do fósforo total aplicado, pois nos solos tropicais ácidos, ricos em alumínio e ferro ocorre a adsorção deste nutriente. Na planta, o fósforo estimula o crescimento das raízes, fato que pode favorecer a absorção de água. À medida que a raiz da planta cresce, ela vai absorvendo os nutrientes que estão próximos por difusão; à medida que as raízes se estabelecem ocorre uma diminuição dos nutrientes próximos, formando um gradiente de concentração entre a região mais próxima e a mais distante da raiz. Este transporte dos nutrientes até as raízes é realizado pela água (NOVAIS *et al.*, 1990).

Limitações de fósforo no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento das raízes e da parte aérea, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de fósforo a níveis adequados no decorrer de seu crescimento (GRANT *et al.*, 2001).

Por isso há intensificação da busca de doses mais adequadas economicamente para a fertilização fosfatada que represente uma técnica funcional à obtenção de maiores produtividades no cultivo em diferentes solos (NOVAIS *et al.*, 1995).

Segundo Oliveira Júnior *et al.* (2008) e Valadão Júnior *et al.* (2008), dos macronutrientes essenciais às plantas, o fósforo é o elemento que limita mais frequentemente a produção das culturas na região dos cerrados. Isso ocorre pelo fato desse nutriente apresentar-se em formas pouco disponíveis para as plantas e pelas características de elevada adsorção dos solos dessa região (SANTOS *et al.*, 2011).

Portanto, objetivou-se pelo presente estudo avaliar o desenvolvimento e a eficiência o uso da água na cultura da rúcula em doses de fósforo em Latossolo Vermelho do cerrado.

## Material e Métodos

O estudo foi conduzido em casa de vegetação localizada nas coordenadas geográficas 16°27'52" S e 54°34'46" W, no Campus da Universidade Federal do Mato Grosso, em Rondonópolis-MT, Brasil.

O experimento contou com seis doses de fósforo ( $P_2O_5$ ) 0; 80; 160; 240; 320 e 400 mg  $dm^{-3}$ , cada dose constituiu um tratamento. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis repetições, cada parcela foi representada por um vaso de *Leonard* adaptado (Figura 1), com capacidade de 1  $dm^3$  de solo, a cultura utilizada foi a rúcula (*Eruca sativa* Miller) cv. Cultivada.

**Figura 1** - Vista geral do experimento com vasos *Leonard* adaptados cultivados com rúcula em fase inicial submetida a doses de fósforo em casa de vegetação.



Os vasos de *Leonard* adaptados foram construídos com garrafas PET (Politereftalato de Etileno) de 2,5 litros, conforme descrito em Porto *et al.* (2013). No ato da sementeira, a parte inferior do vaso recebeu 500 ml de água para que, através do pavio de lã, a capacidade de campo ( $0,2655\text{ cm}^3\text{ cm}^{-3}$ ) fosse mantida.

A água evapotranspirada foi repostada mantendo-se sempre na marca de 500 ml em cada uma das unidades experimentais.

O solo utilizado no preenchimento dos vasos foi coletado na camada de 0-20 cm de um Latossolo vermelho, em uma área de Cerrado, na região de Rondonópolis. Foram realizadas análises químicas e granulométricas para sua caracterização (Tabela 1).

**Tabela 1** - Caracterização químicas e granulométricas na camada de 0–0,20 m, do Latossolo Vermelho

pH	P	K	Ca	Mg	H	Al	CTC	V	M	M.O.	Areia	Silte	Argila
CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>			molc dm <sup>-3</sup>				%		g dm <sup>-3</sup>		g kg <sup>-1</sup>	
4,1	1,1	47	0,2	0,1	4,7	1,0	6,1	6,9	70,4	19,7	575	50	375

Realizou-se calagem com calcário dolomítico (28% de CaO, 20% de MgO e PRNT= 80,3%) para corrigir o pH e elevar a saturação por bases para 80%, permanecendo incubado por 20 dias.

Para os tratamentos de adubação fosfatada foi utilizado o superfosfato simples, que foi aplicado em única dose um dia antes do plantio. A adubação, tanto de nitrogênio quanto de potássio (K<sub>2</sub>O), foi de 150 mg dm<sup>-3</sup> utilizando-se como fontes a ureia e o cloreto de potássio, respectivamente. A adubação nitrogenada foi parcelada aos 9, 16 e 24 dias após a semeadura e o potássio foi aplicado aos 9 dias.

A semeadura foi realizada utilizando-se 12 sementes por vaso, no desbaste mantiveram-se apenas duas plantas por vaso. O corte e a avaliação das plantas foram realizados aos 30 dias após a semeadura, sendo analisados número de folhas, massa verde e seca da parte aérea e da raiz da planta, Valor SPAD (medida indireta do teor de clorofila), consumo e eficiência do uso da água.

O consumo da água foi considerado como o somatório do volume de água adicionado diariamente durante o ciclo da rúcula subtraindo-se o volume remanescente na parte inferior da garrafa por ocasião da coleta do experimento. A eficiência do uso da água foi determinada pela razão entre massa seca total (g) e o consumo de água (L). A massa seca total corresponde à massa seca das folhas mais a massa seca de raízes.

A massa fresca da parte aérea e raiz, após a pesagem, foi mantida em estufa de circulação forçada de ar a 65° C até atingir massa constante, a pesagem das massas foi realizada em balança semianalítica.

A determinação indireta do teor de clorofila foi realizada pelo valor SPAD utilizando o clorofilômetro SPAD 502 (MINOLTA CAMERA, 1989). Foi considerada a média das leituras em três folhas diferentes para cada unidade experimental.

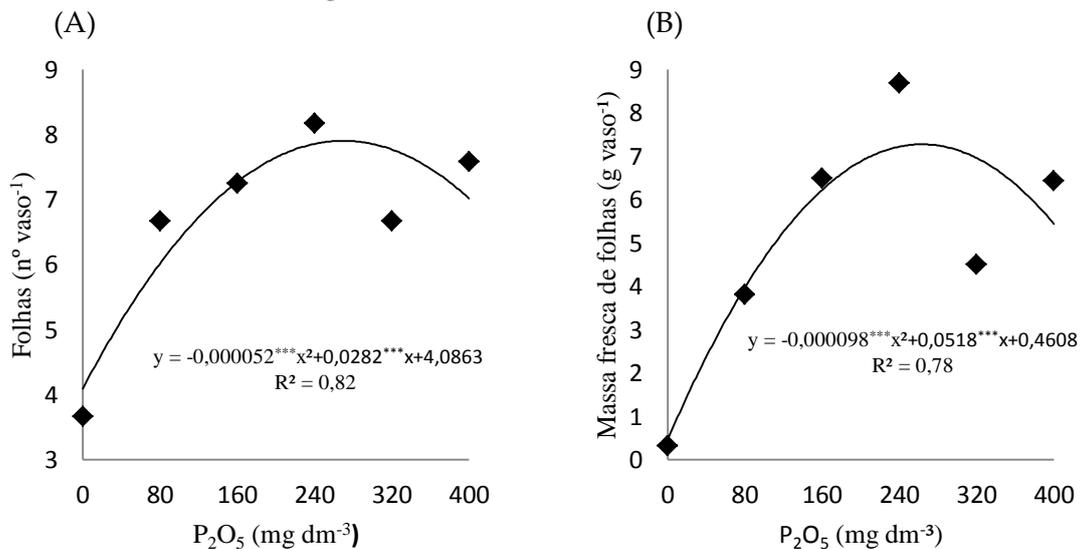
Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de regressão a 5% de probabilidade por meio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

## Resultados e Discussão

Houve efeito significativo para todas as variáveis analisadas, com ajuste ao modelo quadrático de regressão. O maior número de folhas foi observado na dose de

fósforo de 271,15 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 2A). A maior quantidade de folhas por planta resulta, em geral, numa maior área foliar, maior massa fresca e, conseqüentemente, produtividade. Cavalarro Junior (2006) observou relação positiva entre o número de folhas e a produção de massa fresca da parte aérea para a rúcula. Primavesi (1990), em estudos com berinjela, constatou que altas concentrações de fosfato no solo causam desequilíbrio nutricional às plantas diminuindo o número de folhas. Entretanto, Manfio (2007) constatou para a mesma cultura que, se a absorção de fósforo for baixa, a área foliar da planta é reduzida.

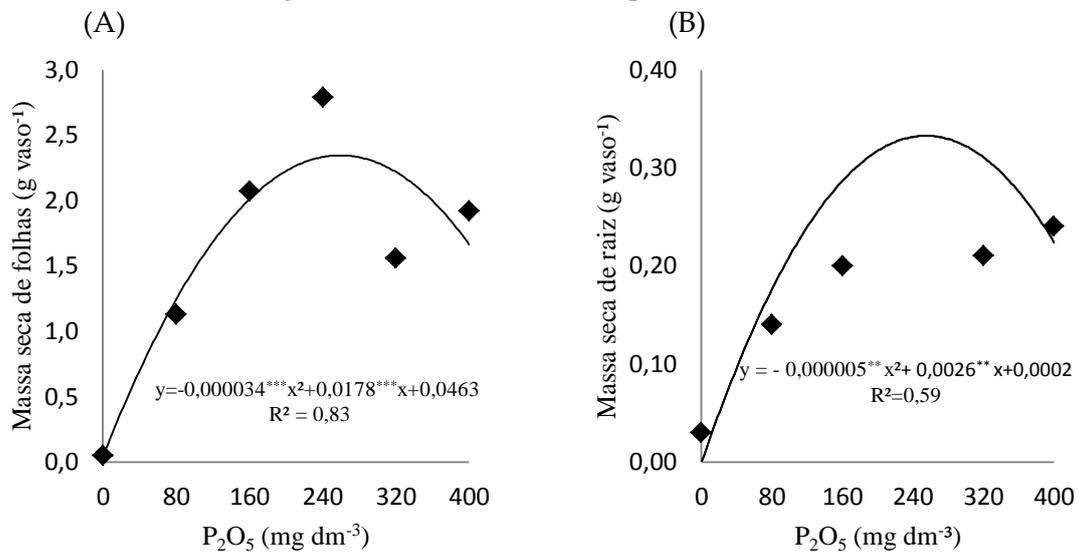
**Figura 2** - Número (A) e massa fresca (B) de folhas de rúcula cv. Cultivada submetido a doses de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). \*\*\*significativo a 0,1%.



A maior massa fresca de folhas de rúcula foi observada com a dose de fósforo de 264,29 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 2B). Cavallaro Júnior (2006) observou efeito positivo da adubação fosfatada para massa fresca da parte aérea da rúcula. Esses resultados corroboram os observados por Lana *et al.* (2004) em que a adubação fosfatada resultou em maior massa fresca da parte aérea da alface, na ausência de fósforo observaram significativa redução da massa fresca da parte aérea. Moreira *et al.* (2001), relacionando Zn e P na produção de alface, observaram que a melhor produção de folhas foi representada pela proporcionalidade direta entre estes os dois nutrientes, proporcionando maior área foliar.

A maior massa seca de folhas foi observado na dose de fósforo de 261,76 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 3A). Por ser um nutriente responsável por fornecer energia à planta, o fósforo está intimamente ligado à sua atividade fisiológica favorecendo o metabolismo, influenciando na produção e massa seca da rúcula. Porém, em doses elevadas torna-se tóxico devido ao desequilíbrio nutricional, comprometendo o desenvolvimento da cultura.

**Figura 3** - Massa seca de folhas (A) e raízes (B) de rúcula cv. Cultivada submetido a doses de fósforo. \*\*\*, \*\*, significativo a 0,1 e a 1%, respectivamente.



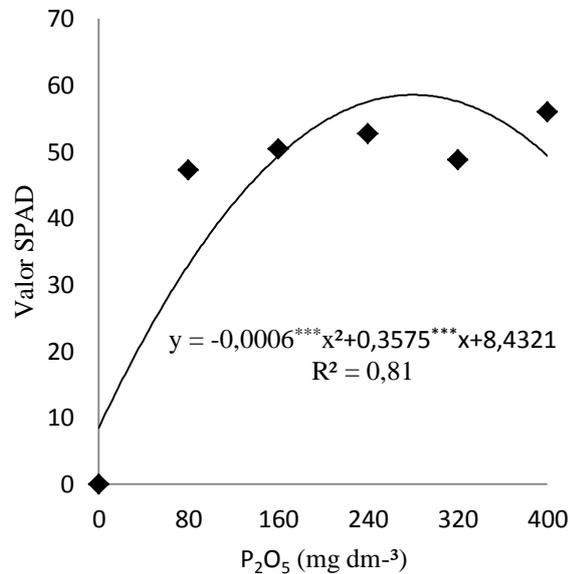
Segundo Moura (2001), em cultivo de pimentão, a eficiência na absorção de fósforo para a produção de massa seca da parte aérea foi atribuída ao bom desenvolvimento radicular das plantas que favoreceu a absorção deste nutriente. Cavallaro Júnior (2006) observou efeito positivo da adubação fosfatada para massa seca da parte aérea da rúcula. Em estudo com a alface, Lana *et al.* (2004) observaram que a de adubação fosfatada resultou em maior massa da parte aérea da alface. A aplicação do adubo fosfatado se mostrou eficiente no aumento do acúmulo de massa seca das folhas da alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.), (SOUZA *et al.* 2011). Cultivando alface e relacionando P e Zn, Moreira *et al.* (2001) identificaram que a produção de matéria seca da parte aérea não foi influenciada pela adição de zinco à solução, mas quando o nível de fósforo foi baixo e os níveis de zinco baixo, normal ou alto, o número de folhas e produção de matéria seca da parte aérea diminuíram.

A maior massa seca de raiz foi observada na dose de fósforo de 260,00 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 3B). De acordo com Medeiros (2005), a massa seca de raiz está relacionada à quantidade de água fornecida à planta, que facilita seu processo de absorção de nutrientes. Lana *et al.* (2004) observaram a diminuição da massa seca em alface na ausência de adubação fosfatada. Fernandes *et al.* (2007) obtiveram resultados positivos em relação à produção de massa seca total de leguminosas ao utilizar doses de fósforo. Koetz *et al.* (2012), trabalhando com rúcula submetida a doses de fosforo (0, 100, 200, 300, 400 e 500 mg dm<sup>-3</sup>), observaram para massa seca de raiz ajuste ao modelo de regressão linear, apresentando um incremento de 92,93% quando comparado a maior dose de fósforo com a ausência de adubação fosfatada.

O maior Valor SPAD foi observado na dose de fósforo de 297,92 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 4). De acordo com Souza *et al.* (2011), a concentração de clorofila nas folhas de alfavaca tendeu a aumentar com as dosagens de fósforo. Prado e Vale (2008) observaram que o efeito do nitrogênio no valor SPAD é influenciado pela aplicação de

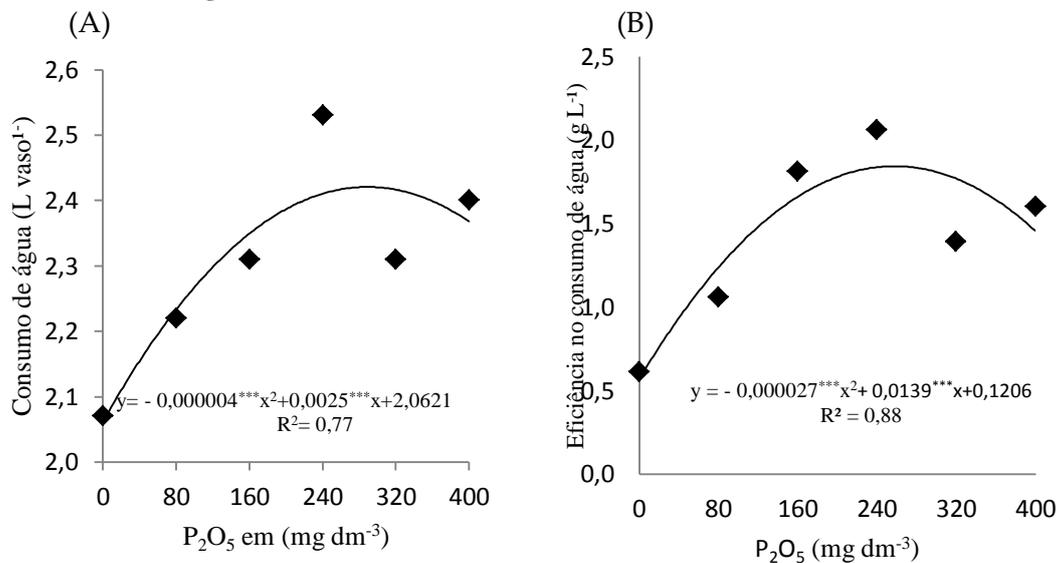
fósforo no limoeiro-cravo, essa relação deve-se ao efeito do fósforo nas plantas, pois é componente da molécula de ATP que fornece energia ao processo ativo de absorção de nitrogênio.

**Figura 4** - Valor SPAD de plantas de rúcula cv. Cultivada submetido a doses de fósforo ( $P_2O_5$ ). \*\*\*significativo a 0,1%



O maior consumo de água foi observado na dose de fósforo de  $312,5\ mg\ dm^{-3}$  (Figura 5A). Em estudos feitos com *Brachiaria*, Bonfim-Silva et al (2007) observaram que em vasos com área exposta de solo relativamente pequena ocorrem perdas mínimas de água por evaporação do solo, sendo a saída de água do sistema controlada principalmente pela superfície das folhas.

**Figura 5** - Consumo de água por planta de rúcula cv. Cultivada submetido a doses de fósforo ( $P_2O_5$ ). \*\*significativo a 0,1%



A maior eficiência no uso da água foi observada na dose de fósforo de 257,41 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 5B). Pôde-se observar que a produção de massa seca de rúcula por consumo de água aumentou de forma diretamente proporcional com as doses de fósforo de até 257,41 mg dm<sup>-3</sup>, a qual proporcionou melhor resultado. Doses acima desta promoveram diminuição da massa seca, comprovando que, em excesso, esse nutriente compromete o desenvolvimento da cultura.

Em estudos feitos por Andrade Junior e Klar (1997) com a cultura da alface, foram observados acréscimos na produção de matéria fresca das folhas a partir do aumento das lâminas de irrigação aplicadas, destacando a importância da disponibilidade de água para maior produção de fitomassa.

De acordo com Hanson e Orloff (1998) e Oliveira *et al.* (2003), existe relação positiva entre a produção de massa seca de uma cultura com sua evapotranspiração e, conseqüentemente, entre a produção de massa seca e a eficiência no uso de água.

## Conclusões

A adubação fosfatada em níveis apropriados, entre 260,0 e 297,9 mg dm<sup>-3</sup>, promove o maior rendimento da cultura, além de melhorar a eficiência no uso de água das plantas.

## Referências

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; KLAR, A. E. Manejo da irrigação da cultura da alface (*lactuca sativa* L.) através do tanque classe A. *Scientia Agricola*, v. 54, n. 1-2, 1997.

BELING, R. R.; SILVEIRA D.N.; CARVALHO, C.; KIST, B. B.; POLL, H. *Anuário brasileiro de hortaliças 2013*. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2013.

BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F. A.; DA SILVA, T. J. A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim braquiária em degradação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 309-317, 2007.

BOLLAND, M.D.A.; GLIKES, R.J. The chemistry and agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. *Journal of Crop Production*, v. 01, p. 139-163, 1998.

CAVALLARO JÚNIOR, M. L. *Fertilizantes orgânicos e minerais como fontes de n e de p para produção de rúcula e tomate*. 2006. 47f. Dissertação (Mestrado) – Curso de pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico de Campinas.

FERNANDES A. R.; MORAIS F. I. O.; LINHARES L. C. F.; SILVA, G. R. Produção de matéria seca e eficiência nutricional para P, Ca e Mg em leguminosas herbáceas. *Acta Amazônica*, v. 372, p. 169–176, 2007.

- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises estatísticas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, p.1039-1042, 2011.
- FILGUEIRA, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna, produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa: UFV, 2000.
- FONSECA, D. M. da.; GOMIDE, J.; ALVAREZ, V.H.V.; NOVAIS, R. F. de. Fatores que influenciam os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em campo. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v.21, p.35-40, 1997.
- GRANT, C. A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações Agronômicas*, n. 95, p. 1-5, 2001. Capturado em 14 ago. 2015. Online. Disponível em: [http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/B70BBB24C44D200283257AA30063CAA6/\\$FILE/Jornal%2095.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/B70BBB24C44D200283257AA30063CAA6/$FILE/Jornal%2095.pdf).
- HANSON, B. & ORLOFF, S. Double yield with half the water: Is it possible?. In: \_\_\_\_\_. CALIFORNIA/NEVADA ALFAFA SYMPOSIUM, Davis: University of Califórnia, 1998. p.75-87.
- KOETZ, M.; CARVALHO, K. dos S.; BONFIM-SILVA, E. M.; REZENDE, C. G.; SILVA, J. C. da. Rúcula submetida a doses de fósforo em Latossolo Vermelho do Cerrado. *Enciclopédia Biosfera*, v.8, p. 1554-1562, 2012.
- LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LUZ, J. M. Q.; SILVA, J. C. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. *Horticultura Brasileira*, v.22, p. 525-528, 2004.
- MALAVOLTA, E. Nutrição Mineral. In: FERRI, M. G. (Ed.). *Fisiologia vegetal 1*. São Paulo: EPU, 1985.
- MALAVOLTA, E. *ABC da adubação*. São Paulo: Ceres, 1989.
- MANFIO, M. *Rendimento da berinjela em função de doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>*. 2007. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba.
- MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A; GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: Efeitos sobre absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, p. 940-947, 2005.
- MINOLTA CAMERA. *Manual of chlorophyll meder SPAD 502*. Osak: 1989.
- MORALES, M.; JANIC, J. Arugula: a promising specialty leaf vegetable. In: J. Janick and A. Whipkey. *Trends in new crops and new uses*: ASHS Press, 2002.

MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CAMARGOS, M. I. Interação zinco e fósforo em solução nutritiva influenciando o crescimento e a produtividade da alface. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, p. 903-909, 2001.

MOURA, W. M.; LIMA, P. C.; CASALI, V. W. D. ; PEREIRA, P. R. G. Eficiência nutricional para fósforo em linhagens de pimentão. *Horticultura Brasileira*, v. 19, p. 306–312, 2001.

NOVAIS, R. F. de.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. de. Fósforo. In: ABEAS. *Curso de fertilidade e manejo do solo*: ABEAS – UFV, 1995.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Nutrição Mineral do eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. *Relação solo-eucalipto*: Ed. Folha de Viçosa, 1990.

OLIVEIRA, W.S.; OLIVEIRA, P.P.A; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.O. & TSAI, S.M. Disponibilidade hídrica relacionada ao conteúdo de nitrogênio e à produtividade da alfafa (*Medicago sativa* L.). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, p. 1275-1286, 2003.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; PROCHNOW, L. I; KLEPKER, D. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p. 623-631, 2008.

PORTO, R. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, D. S. M.; CORDOVA. N. R.; POLYZEL, A. C.; SILVA, T. J. A. Adubação potássica em plantas de rúcula: produção e eficiência no uso da água. *Agro@mbiente On-line*, v. 7, p. 28-35, 2013.

PRADO, R. M.; VALE, D. W. Nitrogênio, fósforo e potássio na leitura SPAD em porta-enxerto de limoeiro cravo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 38, p. 227-232, 2008.

PRIMAVESI, A. *Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais*. São Paulo: Nobel, 1990.

RAIJ, B. V. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Ceres–Potafos, 1991.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; MORETTI, B. S. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.193-202, 2011.

SOUZA, G. S. de; SILVA, J. dos S.; SANTOS A. R. dos; GOMES, D. G.; OLIVEIRA, U. C. de. Crescimento e produção de pigmentos fotossintéticos em alfavaca cultivada sob malhas coloridas e adubação fosfatada. *Enciclopédia Biosfera*, v. 07, p. 296-306, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2013.

SHUMAN, L.M. Mineral Nutrition. In: WILKINSON, R.E. *Plant-environment interactions*: Marcel Dekker, 1994. p. 149-182.

VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BERGAMIN A. C.; VENTUROSOS, L. dos R.; SCHLINDWEIN, J. A., CARON B. O.; SCHMIDT D. Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. *Scientia Agraria*, v. 09, p. 369-375, 2008.

# Estabilidade de agregados de um latossolo vermelho distrófico sob diferentes usos e manejos em Lambari D'Oeste-MT

Aggregate stability of a dystrophic oxisol under different uses and managements in Lambari D'Oeste-MT

---

*Leticia Helena Campos de Souza*<sup>1</sup>; *Maria Cândida Moitinho Nunes*<sup>2\*</sup>; *Sandra Mara Alves da Silva Neves*<sup>3</sup>; *Marcel Nascimento Cuiabano*<sup>4</sup>; *Fernanda da Silva Ferreira*<sup>4</sup>; *André Luiz de Souza*<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical. Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Sinop (FAMEVZ/UFMT)

<sup>2</sup> Prof. Dr<sup>a</sup> Departamento de Solos. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas (FAEM/UFPEL). E-mail: nunes.candida@gmail.com

<sup>3</sup> Prof. Dr<sup>a</sup> Departamento de Geografia. Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT)

<sup>4</sup> Engenheiro (a) Agrônomo (a). Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT)

---

**Resumo:** A estabilidade de agregados pode ser utilizada para avaliar os efeitos de diferentes usos e manejos na qualidade do solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico em áreas sob mata nativa, cana-de-açúcar no primeiro ano de cultivo com colheita mecanizada, cana-de-açúcar no oitavo ano de cultivo com quatro anos de colheita mecanizada e pastagem plantada há quinze anos. Foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada na camada de 0-0,1 m para determinação da estabilidade de agregados em água, através da distribuição dos agregados em classes de diâmetro, agregados >2 mm e diâmetro médio ponderado (DMP). O Latossolo Vermelho Distrófico apresentou maior concentração de agregados estáveis em água na classe de maior tamanho; as áreas sob cultivo de cana-de-açúcar apresentaram elevada concentração de agregados estáveis em água, aproximadamente 38%, na classe de maior tamanho (9,51-4,76 mm), tanto no primeiro como no quarto ano de cultivo sob colheita mecanizada; não houve diferença significativa para o DMP dos agregados nos diferentes sistemas de uso e manejo estudados. A área sob pastagem apresentou menor percentagem de agregados >2 mm (41,63%) em relação à área sob mata nativa (53,92%).

**Palavras-chave:** Agregação. Diâmetro Médio Ponderado (DMP). Cana-de-açúcar. Cobertura do solo. Colheita mecanizada.

**Abstract:** The aggregates stability can be used to assess the effects of different uses and managements on soil quality. Thus, the purpose of this study was to evaluate the stability of aggregates of a dystrophic Oxisol in areas under native forest; sugar cane in the first year of cultivation with mechanized harvesting, sugar cane cultivation in the eighth year with four years of mechanized harvesting, and pasture planted fifteen years ago. Soil samples were collected with structure preserved in the layer of 0-0.1 m to determine the stability of stability of aggregate in water, through the distribution of aggregates in diameter classes, aggregates > 2 mm and DMP. The dystrophic Oxisoil has a higher concentration of stable aggregates in water in the largest size class (9.51 to 4.76 mm); the areas under sugarcane cultivation showed a high concentration of water stable aggregates, approximately 38%, in the class of larger size, both the first and the fourth year of crops under mechanized cultivation; there was no significant difference to the DMP aggregate in the different use and management systems studied. The area under pasture showed a lower percentage of households > 2 mm (41.63%) when compared to the area under native forest (53.92%).

**Keywords:** Aggregation. Mean weight diameter (MWD). Sugar cane. Ground cover. Mechanized harvesting.

## Introdução

A estabilidade de agregados avalia a capacidade das estruturas secundárias do solo em resistir à erosão (NUNES; CASSOL, 2008) e, por se tratar de um atributo sensível às práticas agrícolas, pode ser utilizada na avaliação dos efeitos dessas práticas na resiliência do sistema solo (TAVARES FILHO *et al.*, 2012) e na avaliação da sua qualidade física (ARCOVERDE *et al.*, 2015; BALOTA *et al.*, 2015). Essa característica está diretamente relacionada com a densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água no solo e disponibilidade de nutrientes (CAMPOS, 2012). Quando há melhoria na agregação, reduz-se a erodibilidade (FERREIRA *et al.*, 2010), além de beneficiar o crescimento radicular das plantas (CORRÊA, 2002).

O plantio da cana-de-açúcar no sudoeste do Estado de Mato Grosso tem crescido, e com isso aumentam-se as intervenções humanas, no intuito de subsidiar um ambiente mais favorável ao desenvolvimento e estabelecimento das plantas. Souza *et al.* (2004) enfatizam que a estabilidade de agregados é a propriedade do solo que mais sofre modificações em consequência das práticas de manejo comumente utilizadas nesta cultura. Outra atividade de destaque na região é a pecuária, que se caracteriza pelo manejo inadequado, baixa reposição de matéria orgânica e nutrientes e compactação do solo pelo pisoteio animal. Dessa forma, há aumento da densidade e diminuição dos espaços porosos, o que prejudica o estabelecimento das forrageiras que alimentam o gado e também protegem o solo, favorecendo o aparecimento de plantas invasoras que são indicativos de pastagens degradadas (MULLER *et al.*, 2001). Em contrapartida, sabe-se que a vegetação existente em determinada área pode influenciar de forma significativa a agregação do solo e a resistência à desagregação (COSTA JUNIOR *et al.*, 2011), tanto no que diz respeito ao efeito de cobertura do dossel das plantas, que minimiza o impacto das gotas de chuva (VOLK; COGO, 2008), quanto em relação à formação dos agregados, uma vez que as raízes, ao crescerem, aproximam as partículas do solo, aumentam a população microbiana e a concentração de resíduos

orgânicos (OADES, 1978; BRONICK; LAL, 2005). Andrade *et al.* (2009), ao avaliarem o efeito de diferentes espécies de plantas de cobertura, verificaram melhor agregação em solos sob gramíneas e leguminosas, e os efeitos dessas culturas foram tão significativos que apresentaram valores iguais e/ou superiores a áreas sob condição de mata natural. Salton *et al.* (2008) avaliaram diferentes sistemas de manejo e verificaram melhor agregação em áreas onde era realizada a rotação da lavoura com pastagem, ou em áreas de pastagem permanente, obtendo valores semelhantes às áreas de vegetação natural. Como a qualidade estrutural do solo é uma condição essencial para garantir elevadas produtividades e esta, por sua vez, é influenciada pelo tipo de manejo adotado, o presente estudo teve como objetivo avaliar a estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico sob diferentes usos e manejos no município de Lambari D'Oeste-MT.

### Material e Métodos

As áreas estudadas pertencem à COOPERB (Cooperativa Agrícola dos Produtores de Cana de Rio Branco) – Destilarias Novo Milênio, situada no município de Lambari D'Oeste, região sudoeste do estado de Mato Grosso, bioma Pantanal, com altitude média de 220 metros, em longitude oeste 57°57'28" e latitude sul 15°28'40".

Foi realizada análise da estabilidade de agregados do solo de quatro áreas sob diferentes formas de uso e manejo, de acordo com descrição feita pela COOPERB: (1) área sob mata nativa; (2) área sob pastagem de *brachiaria brizantha*, plantada há 15 anos, com sinais de degradação, como infestação de plantas invasoras e solo descoberto/exposto; (3) área sob cana-de-açúcar no primeiro ano de cultivo e colheita mecanizada (cana nova); (4) área sob cana-de-açúcar por oito anos e quarto ano de colheita mecanizada (cana velha). O solo dominante nas áreas é um Latossolo Vermelho Distrófico (SANTOS *et al.*, 2006).

A área sob mata nativa se caracteriza por não ter sofrido antropização. A área de pastagem (*brachiaria brizantha*) foi plantada há 15 anos, sem preparo do solo, correção ou adubação, utilizando apenas a fertilidade natural do solo, sem controle de plantas invasoras. Na área de cana nova, foi realizado o revolvimento do solo e correção com calcário calcítico e, na ocasião do plantio, fora feita adubação com superfosfato simples. A área de cana velha fora plantada há oito anos, com os mesmos tratamentos culturais da área de cana nova, e não fora feita a renovação do canavial desde então. Foram delimitados dois hectares em cada área de estudo, onde foram coletadas amostras de solo deformadas e amostras com estrutura preservada, em seis pontos aleatórios, na camada de 0-0,1 m. As amostras deformadas de solo foram utilizadas para análise química e granulométrica (Tabela 1), realizadas no laboratório Plante Certo (Várzea Grande-MT).

**Tabela 1** - Caracterização química e granulométrica de um Latossolo Vermelho Distrófico sob cana velha, cana nova, pastagem e mata nativa, na camada de 0-0,1m.

Cultivos	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. g dm <sup>-3</sup>	S.B. cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	V %	CTC cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Areia ----- g kg <sup>-1</sup> -----	Silte	Argila
Cana Velha	5,9	31,0	4,4	50,7	5,1	569	99	332
Cana Nova	6,3	30,0	4,4	60,4	5,1	600	98	302
Pastagem	5,9	23,0	4,4	61,2	5,1	738	111	151
Mata Nativa	5,8	31,0	4,4	54,2	5,1	584	114	302

As amostras de solo com estrutura preservada foram utilizadas para a análise da estabilidade de agregados. Essas amostras foram armazenadas em potes plásticos e levadas para o laboratório, onde foram destorroadas manualmente, de acordo com a fraqueza natural e tamisadas em peneira com abertura de malha 9,51 mm e, após, foram secas ao ar e à sombra. O solo seco foi posto para pré-umedecimento por capilaridade por um período de 2 horas. Após, as amostras foram colocadas sobre um conjunto de peneiras com diâmetros de malha de 4,75; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm, respectivamente. O conjunto de peneiras foi colocado em um agitador vertical, semelhante ao proposto por Yoder (1936), com 28 oscilações por minuto e posto a agitar em água por um período de 10 minutos. O solo retido em cada classe foi seco em estufa a 105° C por 24 horas e posteriormente pesado, sem descontar o material inerte presente na massa de agregados.

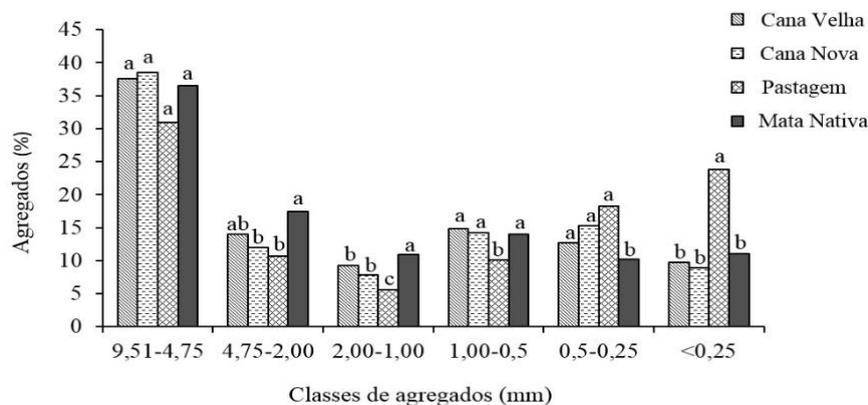
A partir dos dados obtidos foi determinada a estabilidade de agregados, representada pela distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de diâmetros, segundo metodologia de van Bavel (1949), diâmetro médio ponderado (DMP), descrito por Kemper e Rosenau (1986) e agregados > 2,0 mm.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste Tukey ao nível de 5% de significância, por meio do programa estatístico ASSISTAT 7.6 (SILVA; AZEVEDO, 2002).

## Resultados e Discussão

A distribuição dos agregados estáveis em água nas classes de diâmetro, apresentada na Figura 1, ilustra que a classe com maior concentração de agregados foi a de maior diâmetro (9,51-4,75 mm), independente do uso e sistema de manejo, com percentagem de agregados que variaram de 30 a 38 %, as quais não apresentaram diferença estatística significativa entre os sistemas.

**Figura 1** - Distribuição dos agregados estáveis em água em classes de diâmetro em um Latossolo Vermelho Distrófico sob cana velha, cana nova, pastagem e mata nativa. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.



A alta percentagem de agregados na classe de maior diâmetro para a área de mata nativa (36 % aproximadamente) pode ser explicada pela rica camada de folhas sobre o solo, típico destas áreas. Segundo Campos *et al.* (1999), solos com boa cobertura impedem ou diminuem a ação direta das gotas de chuva reduzindo a erosão hídrica, favorecem o desenvolvimento do sistema radicular, contribuem para a criação de um ambiente menos favorável à desagregação e condicionam agregados maiores e de maior estabilidade.

Nas áreas de cana velha e cana nova, o aporte de resíduos vegetais oriundos da colheita mecanizada pode ter contribuído para a grande concentração de agregados na classe de maior diâmetro (aproximadamente 38%). Segundo Souza *et al.* (2005) e Ceddia *et al.* (1999), a colheita mecanizada da cana-de-açúcar proporciona uma densa camada de palha, que varia de 12 a 16,7 t ha<sup>-1</sup>, que ao se decompor aumenta o teor de matéria orgânica (MO) no solo (LUCA *et al.*, 2008). A MO é considerada como o principal agente cimentante dos agregados (TISDALL; OADES, 1982), o que favorece o aumento da estabilidade de agregados (LUCA *et al.*, 2008). Quando sistemas de produção agrícola possibilitam que grandes quantidades de compostos orgânicos sejam acrescentados ao solo, o sistema solo tem condições de se auto-organizar em agregados maiores e mais complexos; quando não há o incremento/manutenção dos compostos orgânicos do solo, dá-se origem a agregados menores (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). Silva *et al.* (2006), entretanto, verificaram que o cultivo com cana-de-açúcar, em comparação com a mata nativa, reduziu a estabilidade dos agregados em água e o diâmetro médio ponderado dos agregados obtidos via úmida.

Nas áreas com cana, percebe-se o efeito benéfico das raízes desta família de plantas (gramíneas), representado pela tendência de maior concentração de agregados de maior diâmetro em relação à área sob pastagem, apesar de apresentar diferença estatística em relação aos demais tratamentos. Os resultados são explicados pela eficiência das raízes das gramíneas (*brachiaria* e cana) em promover a agregação do solo (WENDLING *et al.*, 2005; SALTON *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2009; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011), além do aporte de carbono pelas raízes, fundamental para a existência de agregados maiores (FERREIRA *et al.*, 2010).

Na segunda classe de diâmetro (4,75-2,00 mm), a percentagem de agregados na área de mata foi estatisticamente igual à cana velha, que por sua vez foi igual à cana nova e à pastagem, porém, estas foram inferiores à mata nativa (Figura 1). O maior tempo de colheita mecanizada da área de cana velha pode ter contribuído para a menor desagregação do solo, fazendo com que esta área fosse estatisticamente igual à área de mata nativa nesta classe de agregados. Esse efeito pode ser devido a maior quantidade de resíduos vegetais sobre o solo e o efeito de cobertura do dossel das plantas de cana que protegem o solo nas entrelinhas (BEZERRA; CANTALICE, 2006), na área da cana velha. Outro fato importante é o tempo de implantação da cultura, o qual favorece o estabelecimento do sistema radicular das plantas, que também pode ter contribuído para que esta área se igualasse à mata nesta classe de agregados. Como na área de cana nova, o tempo de colheita mecanizada e implantação da cultura são inferiores à cana velha, pode ter sido o motivo para valores inferiores à mata. A pastagem, por apresentar características de degradação, diretamente relacionadas com solo descoberto, o qual favorece sua desagregação (FERREIRA *et al.*, 2010), pode ter contribuído para a menor retenção de agregados nesta classe.

Na classe de 2,00-1,00 mm, a área de mata nativa apresentou maior percentagem de agregados retidos (10,8%); seguida das áreas de cana velha e cana nova, que foram iguais estatisticamente, com 9,2 e 7,8%, respectivamente, e da área de pastagem, que apresentou menor retenção de agregados nesta classe de diâmetro (5,6%).

Na classe de 1,00-0,5 mm de diâmetro dos agregados, a pastagem apresentou a menor percentagem de agregados retidos (10%), quando comparada aos demais tratamentos, que obtiveram aproximadamente 14%, e não se diferiram estatisticamente entre si (Figura 1).

Na classe de 0,5-0,25mm, a área sob pastagem, que até então havia apresentado as menores percentagens de agregados retidos na maioria das classes, em relação aos demais tratamentos, foi estatisticamente igual às áreas sob cana. Entretanto, nessa classe, a mata nativa apresentou a maior estabilidade dos agregados, representada pela menor concentração de agregados entre 0,5-0,25 mm.

Na classe <0,25 mm, a maior concentração de agregados foi no solo sob pastagem, com 23% de agregados retidos nesta classe, enquanto que para os demais tratamentos, cana velha, cana nova e mata nativa, foram observados 9,6; 8,9 e 11% de agregados retidos, respectivamente (Figura 1). A frágil agregação da área sob pastagem pode ser consequência do manejo inadequado adotado nestas áreas, com possível superpastejo. Esses resultados podem ser explicados pelo menor teor de argila desta área, comparando-a as demais (cana velha, cana nova e mata nativa), uma vez que solos com maior teor de areia são mais propensos à desagregação (NUNES; CASSOL, 2008; NUNES; CASSOL, 2011). O tempo de cultivo na área de pastagem pode ter contribuído para maior concentração de partículas de areia, pois, segundo Silva e Ribeiro (1997), quanto maior o tempo de cultivo do solo, maior a concentração de areia em superfície em consequência da perda vertical da argila. Esse fato, provavelmente, foi agravado pelo manejo inadequado do solo, caracterizado pela falta de incremento/reposição de matéria orgânica, diferente das demais áreas avaliadas, as quais recebiam aporte de resíduos vegetais. Os sinais de degradação da pastagem

observados na área, como presença de plantas invasoras, indicam áreas que não estavam sendo cobertas pela pastagem e, portanto, área com solo descoberto, e como já discutido, propenso à ação direta das gotas de chuva, o que faz com que o solo desagregue.

Como a percentagem de agregados > 2 mm leva em consideração o somatório das duas primeiras classes de agregados (9,51-4,75 mm e 4,75-2,00 mm), pelo resultado da distribuição de agregados anteriormente discutido, era de se esperar que a mata nativa apresentasse maiores resultados.

A área de mata nativa apresentou uma tendência de maior percentagem de agregados >2 mm (53,92%), porém, os dados não diferiram estatisticamente das áreas com cana velha (51,59%) e com cana nova (50,5%). A área sob pastagem apresentou menor percentagem de agregados >2 mm (41,63%) em relação à área sob mata nativa (53,92%) (Tabela 2).

**Tabela 2** - Percentagem de agregados >2 mm e diâmetro médio ponderado de um Latossolo Vermelho Distrófico sob cana velha, cana nova, pastagem e mata nativa.

Cultivos	Agregados > 2mm (%)	DMP (mm)
Cana Velha	51,59 ab	3,49 a
Cana Nova	50,50 ab	3,48 a
Pastagem	41,63 b	2,86 a
Mata Nativa	53,92 a	3,51 a
CV (%)	11,52	10,86

Médias nas colunas seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Os resultados obtidos corroboram os resultados encontrados por Corrêa (2002) e Wendling *et al.* (2005), os quais encontraram maior percentagem de agregados > 2 mm em área sob mata nativa, quando comparada com áreas cultivadas. Esses resultados podem ser explicados pela proteção do solo por meio da densa camada de resíduos vegetais, comum em áreas onde não se tem ação antrópica, o que protege os agregados da ação direta das gotas de chuva, permanecendo nestas áreas agregados maiores, considerados mais estáveis. A percentagem de agregados > 2 mm, verificada nas duas áreas sob cultivo de cana (Tabela 2), foi inferior aos valores encontrados por Souza *et al.* (2005) em área sob cana durante três anos, os quais obtiveram 62%, e por Souza *et al.* (2004), em área de trinta anos sob mesma cultura, os quais encontraram 60% destes agregados.

A área sob pastagem apresentou menor percentagem de agregados >2 mm (Tabela 2). Esses resultados foram inferiores aos encontrados por Andrade *et al.* (2009), que, em trabalho com diferentes culturas de cobertura, encontraram valores de 79,4% em área com cultivo de *brachiaria*. A área de *brachiaria* do presente estudo foi implantada sem correção e adubação do solo e sem controle de plantas invasoras. A presença de plantas invasoras é um indicativo de pastagem degradada, em consequência da área não ocupada pela pastagem, e sabe-se que solo descoberto facilita a dispersão dos agregados pelo impacto direto das gotas de chuva (MULLER *et al.*,

2001). A área de *brachiaria* conduzida por ANDRADE *et al.* (2009), entretanto, recebeu cuidados como a correção e adubação de plantio, e duas adubações de cobertura, o que melhora o desenvolvimento radicular e o estabelecimento da pastagem na área, de forma que tenha contribuído mais significativamente com a agregação do solo, além do controle de plantas invasoras. Provavelmente, a diferença encontrada entre os resultados se deve à condução de cada área com a *brachiaria*.

Quanto aos valores de DMP, os quais se elevam à medida que os agregados são retidos nas peneiras de maior diâmetro, não houve diferença estatística significativa entre as áreas estudadas (Tabela 2).

Os dados de DMP permitem inferir que o manejo empregado nas áreas sob cultivo de cana, neste estudo, está sendo adequado para proporcionar boa agregação ao solo, quando comparado com a área sob mata nativa. Apesar de não ter sido verificada diferença estatística do DMP entre as áreas, observa-se uma tendência de maiores valores nas áreas com maior aporte de resíduos vegetais (Tabela 2). Esses resultados corroboram os resultados encontrados por Wohlenberg *et al.* (2004), os quais verificaram maior estabilidade de agregados em áreas que aportavam material orgânico e cobriam o solo, assim como o verificado para o presente trabalho na área de mata e nas duas áreas sob cana. Entretanto, os resultados de DMP obtidos são superiores aos de Lima *et al.* (2008), os quais avaliaram alguns atributos físicos de um Planossolo Háplico sob diferentes sistemas de manejo, comparados ao campo nativo e concluíram que o DMP crítico ao crescimento das plantas é de 2,49 mm.

Os resultados de DMP encontrados para as duas áreas de cana foram semelhantes aos verificados por Souza *et al.* (2005) sob mesma cultura. Avaliando efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados, Corrêa (2002) encontrou DMP superior na mata nativa, quando comparado às áreas cultivadas. Este autor associa tais resultados aos altos teores de matéria orgânica, característico de áreas de mata. O DMP da pastagem foi o de menor valor (Tabela 2), e apesar de não ter apresentado diferença estatística das demais áreas, foi o que mais se aproximou do valor considerado crítico ao crescimento de plantas (2,89 mm), o que pode ser um indicativo do manejo inadequado que vem sendo empregado nessa área.

Em trabalho com diferentes famílias de plantas de cobertura, Andrade *et al.* (2009) obtiveram DMP consideravelmente superior ao encontrado no presente estudo, onde a área cultivada com *brachiaria* obteve 4,09 mm e se apresentou superior às demais plantas de cobertura de outras famílias de plantas, como leguminosas e até mesmo superior ao DMP da área de mata avaliada pelos referidos autores, isto porque esta família de plantas exerce importante função na formação e estabilização dos agregados, uma vez que o crescimento das raízes faz com que as partículas do solo se aproximem e os compostos orgânicos exsudados na rizosfera atuam como agentes cimentantes sobre os agregados (BRONICK; LAL, 2005). Agregados maiores são considerados mais estáveis e são indicativos de solo com maior qualidade estrutural (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009), e, de modo geral, pode-se dizer que o manejo das áreas estudadas vem sendo suficiente para garantir boa estabilidade dos agregados do solo em água em áreas sob mata nativa e cana, tanto no primeiro quanto no quarto ano de colheita. Porém, deve-se atentar ao manejo inadequado de áreas de pastagens, que geralmente não recebem correção da fertilidade, além de estarem sujeitas superpastejo,

resultando, dentre outros, em aporte deficiente de resíduos vegetais e comprometimento da qualidade dos agregados do solo.

### Conclusões

- O Latossolo Vermelho Distrófico apresentou maior concentração de agregados estáveis em água nas na classe de maior tamanho (9,51-4,76 mm);
- Não houve diferença significativa para o DMP dos agregados nos diferentes sistemas de uso e manejo estudados;
- As áreas sob cultivo de cana-de-açúcar apresentaram elevada concentração de agregados estáveis em água, aproximadamente 38%, na classe de maior tamanho (9,51-4,76 mm), tanto no primeiro como no quarto ano de cultivo sob colheita mecanizada;
- A área sob pastagem apresentou menor percentagem de agregados >2 mm (41,63%) em relação à área sob mata nativa (53,92%);
- A área sob pastagem apresentou menor estabilidade de agregados em água em relação às áreas de mata nativa e às áreas de cana-de-açúcar.

### Referências

ARCOVERDE, S. N. S.; SALVIANO, A. M.; OLSZEWSKI, N.; MELO, S. B. de; CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; PEREIRA, J. de S. Qualidade física de solos em uso agrícola na região semi-árida do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.5, p.1473-1482, 2015.

ANDRADE, R. Da S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande – PB, v.13, n.4, p.411–418, 2009.

BALOTA, E. L.; YADA, I. F. U.; AMARAL, H. F.; NAKATANI, A. S.; HUNGRIA, M.; DICK, R. P.; COYNE, M. S. Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.4, p.1003-1014, 2015.

BEZERRA, S. A.; CANTALICE, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.565-573, 2006.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, v.124, p.3-22, 2005.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L. C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.2, p.383-391, 1999.

CAMPOS, L. P. Matéria Orgânica e qualidade física do solo em ambientes brasileiros. In: FERNANDES, C. (Coor.) *Tópicos em física do solo*. Funep, Jaboticabal-SP, 2012, 144p.

CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. DOS; LIMA, E.; RAVELLI NETO, A.; SILVA, L. A. da Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.8, p.1467-1473, 1999.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.2, p. 202-9, 2002.

COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO M. DE C.; SIQUEIRA NETO, M; CAMARGO, P. B. de; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.. Carbono total e  $\delta^{13}C$  em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa – MG, v.35, n.4, p.1241-1252, 2011.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.31, n.4, p.913-932, 2010.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis*. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 2. ed., 1986, p.425-441.

LIMA, C. L. R. DE; PILLON, C. N.; SUZUKI, L. E. A. S.; CRUZ, L. E. C. da. Atributos físicos de um Planossolo Háptico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.5, p.1849-1855, 2008.

LUCA, E. F. DE; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C.. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.2, p.789-800, 2008.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES M. DE F.; DESJARDINS, T. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasileira, v.36, n.11, p.1409-1418, 2001.

NUNES, M. C. M.; CASSOL, E. A. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de Latossolos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa – MG, v.32, n. especial, p.2839-2845, 2008.

NUNES, M. C. M.; CASSOL, E. A. Produção de sedimentos pela erosão em entressulcos em três Latossolos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande - PB, v.15, n.6, p.541-547, 2011.

OADES, J.M. Mucilages at the root surface. *Journal Soil Science*, v.29, n.1, p.1-16, 1978.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato grosso do sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa – MG, v.32, n. 1, p.11-21, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2013. 353 p.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R. Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v.21, n.4, p.677-684, 1997.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.4, n.1, p. 71-78, 2002.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.10, p.579-585, 2006.

SOUZA, Z. M. DE; MARQUES JÚNIOR, J. E PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n.5, p.491-499. 2004.

SOUZA, Z. M. DE; PRADO, R. DE M.; PAIXÃO, A. C. S.; CESARIN, L. G...Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasileira, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C. T. M.; OLIVEIRA, J. F. de.; ALMEIDA, E. de; GUIMARÃES, M. de F. Atributos de solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.3, p.436-441, 2012.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal Soil Science*, v.33, n.2, p.141-163, 1982.

VAN BAVEL, C. H. M. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.14, p.14-20, 1949.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v.35, n.1, p.213-223, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v.33, n.4, p.743-755, 2009.

VOLK, L. B. DA S.; COGO, N. P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.4, p.1713-1722, 2008.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA E. de S.; NEVES, J. C. L.. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, 2005.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa-MG, v.28, n.5, p.891-900, 2004.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal American Society Agronomy*, Madison, Wisconsin, USA, v.28, p.337-351, 1936.

# Fluxo difusivo de fósforo sob influência de fontes fosfatadas em Latossolo Vermelho Distrófico

Phosphorus diffusive flow under the influence of phosphate sources in Dystrophic Red Latosol (Oxisol)

---

*Gustavo Ferreira de Sousa<sup>1</sup>; Maila Adriely Silva<sup>1</sup>; Júlia Camargos da Costa<sup>1</sup>;  
Carlos Henrique Eiterer de Souza<sup>2</sup>; Vanessa Júnia Machado<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Acadêmicos do curso de Agronomia pelo Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM.  
E-mail: gustavoferreira\_s@hotmail.com; m.adriely@hotmail.com;  
juliacamargosdacosta@hotmail.com

<sup>2</sup> Professores do Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM.  
E-mail: carloshenrique@unipam.edu.br ; vanessajm@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Devido ao fósforo apresentar uma dinâmica diferenciada em relação a outros elementos presentes no solo e ser influenciado diretamente pelo seu método de transporte e dinâmica com os colóides, as placas trocadoras de ânions (PTA) vêm se mostrando grandes aliadas ao seu estudo, visto que consegue assemelhar o fluxo difusivo do fósforo (FDF) no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o FDF de fontes de fertilizantes fosfatados em função do tempo de contato com o solo. O experimento foi conduzido no laboratório Central de Análise e Fertilidade do Solo - CEFERT pertencente ao UNIPAM, onde o delineamento utilizado foi o DBC constituído de 3 fontes, 3 datas (subparcelas divididas no tempo) e 4 repetições. Os tratamentos utilizados foram: T<sub>1</sub> – Super Fosfato triplo (SPT); T<sub>2</sub> – Super Fosfato triplo revestido por polímeros (SPT-POL); e T<sub>3</sub> - Organomineral (OM), e as datas avaliativas foram 10, 20 e 30 dias após aplicação (DAA). Foram coletadas as amostras de solo nas datas estabelecidas, e realizada a análise FDF pelo método de papel impregnado de óxidos de ferro (Papel-Fe), segundo Menon *et al.* (1988). Quando avaliado o FDF das fontes, aos 10 DAA, verificou-se que a fonte SPT apresentou menor FDF em relação às fontes SPT-POL e OM. Para avaliação do tempo, os dados foram submetidos a ajuste de regressão, mostrando quantidades crescentes de FDF apenas nas fontes SPT-POL e OM, sendo que o SPT apresentou menor fluxo difusivo.

**Palavras-chave:** Fósforo. Fornecimento. Solo. Adsorção. Fluxo difusivo.

**Abstract:** Because the phosphorus present a different dynamic compared with other elements in the soil, it is directly influenced by transport method and dynamic with colloids, anion exchangers plaques (AE) have been manifesting great ally to its study, since it can absorb the phosphorus diffusion flow (FDF) on the ground. The purpose of this study was to evaluate the PDF from sources of phosphate fertilizer depending on time of contact with the soil. The experiment was carried out in the Laboratório Central de Análise e Fertilidade do Solo – CEFERT, which belongs to UNIPAM. The experimental design was a RBD (randomized blocks)

with 3 sources, 3 dates and 4 repetitions. The treatments used were: T1 – Triple Superphosphate (TSP); T2 – Triple Superphosphate coated with polymers (TSP-POL); and T3 – Organomineral (OM), and the evaluative dates were 10, 20 and 30 days after the application (DAA). Soil samples were collected on the established date, and FDF analysis performed by the method of impregnated paper iron oxides (FeO paper) by Menon et al., (1988). When the PDF was evaluated from sources, 10 DAA, it was found the TSP showed lower PDF toward the sources TSP-POL and OM. To evaluate the time, the data were submitted to regression adjustment, showing increasing amounts of FDF only in SPT-POL and OM sources, and the SPT showed lower diffusive flux.

**Keywords:** Supply. Soil. Adsorption. Phosphate Fertilizer.

## Introdução

A baixa disponibilidade de fósforo é considerada a principal limitação da produção agrícola em condições tropicais e subtropicais (NOVAIS *et al.*, 2007) e sua quantificação é prática primordial para uma correta adubação. Os fatores do solo que influenciam na disponibilidade desse nutriente para as plantas são a umidade, o teor e mineralogia da fração de argila (BAHIA FILHO *et al.*, 1983) comumente denominado como poder tampão de P.

Associado a esse contexto tem-se a explicação da baixa eficiência na utilização de fertilizantes fosfatados, em que apenas cerca de 20 a 35% do total aplicado é realmente absorvido pelas plantas. Em relação a esse elemento, estima-se que na maioria dos solos exista em média 1.000 kg.ha<sup>-1</sup> somente na camada arável, porém, grande parte encontra-se em formas não-lábeis, e, conseqüentemente, não disponível para a planta (BARBER, 1995).

Além disso, seu principal mecanismo de transporte no solo é por difusão, sendo responsável por cerca de 90% do nutriente adquirido pelas plantas. A estimativa de difusão de P nos solos pode ser obtida a partir do fluxo difusivo, ou seja, a relação entre concentração e quantidade absorvida pelas plantas (AZEVEDO *et al.*, 2004).

O fluxo difusivo de fósforo no solo tem sido estimado diretamente pela utilização de papel-filtro impregnado com óxidos de ferro. Havendo uma presença de uma quantidade suficiente de óxido de Fe, a concentração de P na solução pode permanecer baixa para favorecer a dessorção contínua de P do solo (VAN DER ZEE *et al.*, 1987).

Esse método atua na extração de P com uma remoção gradual, contínua e não seletiva do P em solução, com a dessorção do P presente na fase sólida, a difusão mantém o equilíbrio solo/solução. O papel-filtro apresenta grupos funcionais que adsorvem o P da solução e promove a dessorção da fase sólida para o restabelecimento do equilíbrio do elemento com a solução (MENON *et al.*, 1989).

Assim, tratando-se de novas alternativas no emprego de fertilizantes fosfatados, o estudo da dinâmica do nutriente e capacidade de fornecimento para as plantas estão diretamente relacionados. Nessa perspectiva, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a dinâmica de reação e solubilização de Super Fosfato Triplo (SPT), Super Fosfato Triplo Polimerizado (SPT-POL) e Organomineral (OM) em câmaras de fluxo

difusivo de P, avaliados com utilização de Placas de papel filtro impregnado com óxidos de ferro.

## Material e Métodos

O experimento foi instalado e conduzido no Laboratório CeFert - Central de Análises de Fertilidade do Solo do UNIPAM, no período de julho a setembro 2013. Foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa coletado no município de Patrocínio-MG. Depois de coletada, a amostra do solo foi destorroada, homogeneizada, seca ao ar e peneirada em peneira de 2 mm de abertura, a fim de se obter a terra fina seca ao ar (TFSA) para posterior análise química (Tabela 1).

**Tabela 1** - Resultados da análise química da amostra de Latossolo Vermelho Amarelo Argiloso utilizado para experimento em câmaras de fluxo difusivo de P em função da aplicação de 1.000 mg.dm<sup>-3</sup> de P via diferentes fertilizantes por 30 dias.

pH	MOS	P- Rem	P- Me1	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> +	Al <sup>3+</sup> +	H <sup>+</sup> Al	SB	t	T	V	m
H <sub>2</sub> O	dag kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	--mg dm <sup>-3</sup> - -			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						----	-%----
5,41	4,07	3,54	1,05	6,5 7	0,30	0,1 8	0,0 4	1,00	0,66	0,7 0	1,66	40	6

Extratores: pH em água, K e P-assimilável por Mehlich-1, P-remanescente, teores de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup> trocáveis extraídos por KCl; acidez potencial por Acetato de Cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria, segundo metodologia da Embrapa (2009).

Durante o período experimental (30 dias), os potes foram mantidos com umidade equivalente, controlada a partir do peso. O delineamento adotado foi o em blocos casualizados (DBC) em parcelas subdivididas no tempo, apresentando 3 fontes de fertilizantes fosfatados, 3 tempos (subparcelas) e 4 blocos. Em todos os tratamentos foram aplicados 1.000 mg.dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, em relação aos respectivos tratamentos: T<sub>1</sub> – Super Fosfato Triplo (48% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); T<sub>2</sub> – Super Fosfato Triplo revestido por polímeros (41% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); e T<sub>3</sub> - Organomineral P (14% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

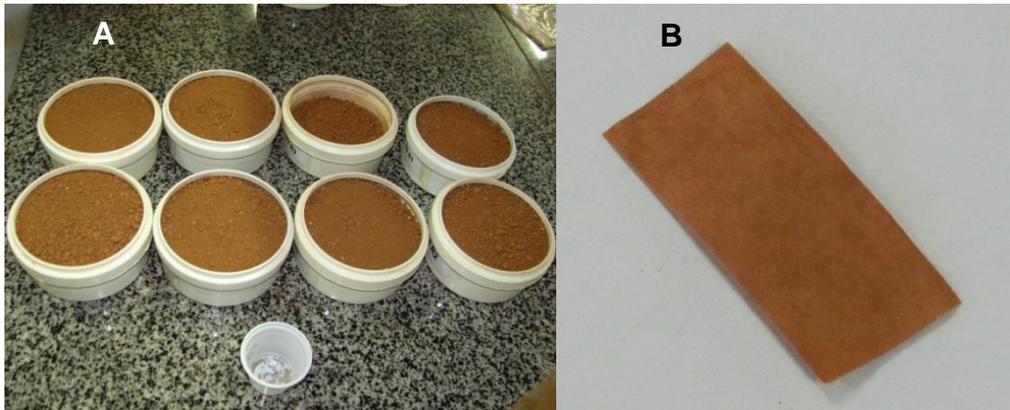
O intervalo de tempo para as determinações com extração de P (subparcelas) foi aos 10, 20 e 30 dias de incubação com placas trocadoras de ânions (PTA). As placas de papel filtro impregnadas de óxidos de ferro foram confeccionadas com 11 cm<sup>2</sup> e segundo metodologia proposta por Menon *et al.*, (1988) (Figura 1A).

Foram utilizados potes de 0,250 dm<sup>3</sup> (Figura 1B) de solo onde foram aplicadas as doses de fertilizantes testados. As câmaras foram preenchidas até a metade de seu volume com o solo, sendo então as PTA dispostas horizontalmente cobrindo-as com o restante do volume misturado aos respectivos tratamentos com adição do fertilizante fosfatado.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância e às épocas de coleta ajustados

modelos de regressão referentes à taxa de solubilização da fonte, ambos utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2000).

**Figura 1** - (A) Representação das câmaras preenchidas com solo que foram utilizadas no experimento de fluxo difusivo de fósforo; (B) Resina Trocadora de Ânions confeccionada a partir da metodologia proposta por Menon *et al.*, (1988). UNIPAM, Patos de Minas, MG.



## Resultados e Discussão

As análises do fluxo difusivo de fósforo quando avaliados em fontes de fertilizantes fosfatados mostraram interação significativa para as fontes utilizadas em relação ao tempo de avaliação, ou seja, houve um comportamento diferenciado em relação às fontes e os dias avaliados. Na avaliação realizada aos 10 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos, foi observado que o tratamento com Super Fosfato Triplo (SPT) não diferiu das demais fontes, porém quando avaliado nas datas de 20 e 30 DAA, houve diferença significativa entre as fontes (Tabela 1), mostrando que o SPT propiciou menor fluxo difusivo que o Super Fosfato Triplo Polimerizado (SPT-POL) e o Organomineral (OM). Isso ocorre devido ao SPT ser um fertilizante solúvel e não apresentar um complexo restritivo à sua liberação, como a proteção gerada pelo polímero do SPT POL.

Segundo Gonçalves *et al.* (1985), fertilizantes fosfatados solúveis, como o SPT, apresentam cerca de 90% de sua liberação nos primeiros momentos de contato com o solo, com isso, a adsorção de P apresenta a formação de P-não lábil, que não se encontra em equilíbrio com a solução, e conseqüentemente não fazendo parte do fluxo de difusão do elemento. Fato também afirmado por Reddy *et al.* (2005), que defendem que a adsorção é um processo que ocorre logo após a adição do fósforo do solo.

Para o tratamento com OM, Iyamuremye *et al.* (1996), afirmam que, com a adição de material orgânico nos solos, há uma redução da adsorção do elemento, visto que o material orgânico em decomposição favorece a liberação de OH<sup>-</sup>, o qual compete com os íons fosfatos pelos sítios e adsorção. Fato esse que corrobora com Tirloni *et al.* (2009), que também afirmam que um incremento na fração de matéria orgânica no solo pode promover a formação de complexos que diminuem a fixação de P, bloqueando os sítios de adsorção na superfície dos óxidos de ferro e alumínio.

**Tabela 2** - Valores médios de P disponível extraído por fluxo difusivo de P em placas trocadoras de ânions (PTA) após incubação de 1.000 mg dm<sup>-3</sup> de P via diferentes fertilizantes fosfatados aos 10, 20 e 30 dias de incubação em potes com 0,250 dm<sup>3</sup> de amostras de Latossolo Vermelho Amarelo argiloso. UNIPAM, Patos de Minas, MG, 2015.

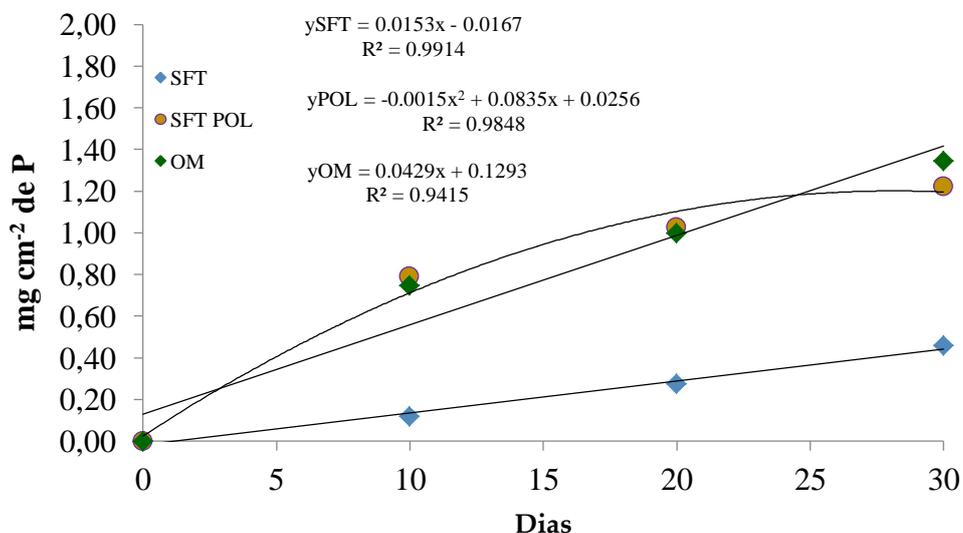
Fontes <sup>1</sup>	Dias		
	10	20	30
	mg.cm <sup>-2</sup> de P		
SFT	0.118bA*	0.158bA	0.182bA
SFT POL	0.789aA	0.237bB	0.196bB
OM	0.746aA	0.253bB	0.346abB
DMS <sub>Fontes</sub> = 0,2167		CV <sub>Fonte</sub> (%) = 24,45	
DMS <sub>Dias</sub> = 0,1654		CV <sub>Tempo</sub> (%) = 33,11	

<sup>1</sup>Fertilizantes: SFT- Super Fosfato triplo 2mm; Super Fosfato triplo revestido por polímeros 2mm; OM- Organomineral 14 % de P.

\*Valores seguidos por letras distintas, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

Quando avaliada a taxa de solubilização em decorrência do tempo, todos os tratamentos obtiveram um acréscimo do fluxo difusivo de fósforo, sendo os dados ajustados ao modelo de regressão (Figura 2). Isso é explicado devido ao aumento do tempo de contato do fertilizante com o solo, em que conseqüentemente há uma maior liberação do elemento no fluxo difusivo.

**Figura 2** - Modelos ajustados para a taxa de Fluxo difusivo de P em placas de troca aniônica enterradas após incubação de 1.000mg dm<sup>-3</sup> de P via diferentes fertilizantes fosfatados aos 10, 20 e 30 dias de incubação em potes com 0,250 dm<sup>3</sup> de amostras de Latossolo Vermelho Amarelo Argiloso. UNIPAM, Patos de Minas, MG, 2015.



## Conclusão

O SPT convencional propicia menor fluxo difusivo de fósforo em relação às demais fontes. A adição de complexos aos fertilizantes ocasiona maior taxa de fluxo difusivo de fósforo.

## Referências

- AZEVEDO, W.R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A.C. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.995-1004, 2004.
- BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M.; RESENDE, M.; RIBEIRO, A. C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 7, n. 3, p. 221-226, set./dez. 1983.
- BARBER, S.A. *Soil Nutrient Bioavailability. A mechanistic approach*. New York: Wiley & Sons, 1995. 414 p.
- EMBRAPA. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009.
- FERREIRA, D. F. *Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas*. Lavras: UFLA, 2000. 66 p.
- GONÇALVES, J. L. M.; FIRME, D. J.; NOVAIS, R. F.; RIBEIRO, A. C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, n.2, p.107-111, 1985.
- IYAMUREMYE, F.; DICK, R. P.; BAHAM, J. Organic amendments and phosphorus dynamics: phosphorus chemistry and sorption. Oregon State University Agric . Stn. Technical Paper. Nº 10599. *Soil Science*. V. 161. P. 426 435. 1996.
- MENON, R. G.; CHIEN, S. H.; HAMMOND, L. L. The Pi soil test: a new approach to test for phosphorus. IFDC Handbook, IFDC, *Muscle Shoals: Alabama, USA* 10p. 1988.
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. ; FONTES, R. L. F. ; CANTARUTTI, R. B. ; NEVES, J. C. L. . *Fertilidade do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v. 1. 1017 p.
- REDDY, K. R.; WETZEL, R. G.; KADLEC, R. H. Biogeochemistry of phosphorus in wetlands. In: SIMS, J. T. *et al.* Phosphorus: agriculture and the environment. Madison:

*American Society of Agronomy*, 2005. p. 263-316.

TIRLONI, C.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; TIRLONI, D.; COIMBRA, D.S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, p.977-984, 2009.

VAN DER ZEE, S. E. A. T. M.; FOKKINK, L. G. J.; van RIEMSDIJK, W. H. A. New technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. *Soil Science Society of America Journal*, v.51, n.3, p.599-604, 1987.

# Utilização níquel na cultura da soja

## Nickel use in soybean crop

---

*Daniel Fernandes Costa<sup>1</sup>; Vanessa Júnia Machado<sup>2</sup>; Luís Henrique Soares<sup>2</sup>; Evandro Binotto Fagan<sup>2</sup>; Marina Rodrigues dos Reis<sup>3</sup>; Ellen Mayara Alves Cabral<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Sagra Agrícola, Patos de Minas-MG. E-mail para contato: daniel.ptm@hotmail.com

<sup>2</sup>Professores do curso de Agronomia pelo Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Patos de Minas, MG.

<sup>3</sup>Alunas do curso de Agronomia pelo Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), Patos de Minas, MG.

---

**Resumo:** A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das culturas mais valiosas do mundo, não apenas por ser oleaginosa e fonte de proteína na alimentação animal, mas também por ser fonte de proteínas para a dieta humana e, recentemente, como utilização de matéria prima para a produção de biodiesel. A pressão por aumentos na produtividade faz com que seja necessário o balanceamento de fornecimento de nutrientes com as necessidades da cultura, para que esta possa expressar o seu potencial produtivo. O níquel, atualmente considerado como elemento essencial para as plantas, tem importante papel na ativação da urease e na fixação simbiótica de nitrogênio, além de proporcionar efeitos indiretos que aumentam a tolerância a doenças. Recentemente, trabalhos têm mostrado que o níquel também é importante para a tolerância a estresses abióticos em plantas. Dessa forma, o micronutriente pode potencializar a produtividade da cultura, no entanto, deve ser fornecido de forma controlada para que seu excesso não provoque toxidez nas plantas, o que pode reduzir a produtividade.

**Palavras-chave:** Micronutriente. Fixação biológica do nitrogênio. Urease. Estresse. Doenças.

**Abstract:** Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] is one of the most valuable crops in the world, not only because it is oilseed and protein source in animal feed, but also because it is a source of protein for the human diet and, recently, as use for the production of biodiesel. The pressure for increases in productivity makes it necessary balancing nutrient supply to the needs of the culture, so that it can express its productive potential. Nickel, currently considered an essential element for plants, plays an important role in the activation of urease and symbiotic nitrogen fixation, besides providing indirect effects that increase tolerance to disease. Recently, studies have shown that nickel is also important to abiotic stress tolerance in plants. Thus, this micronutrient may enhance crop yield, however, must be supplied in a controlled manner so that its excess causes no toxicity in plants, which may reduce productivity.

**Keywords:** Micronutrients. Biological nitrogen fixation. Urease. Stress. Disease.

## Introdução

A essencialidade dos elementos químicos às plantas está embasada em três critérios, sendo: (1) o fato desses elementos serem constituintes de um metabólito essencial ou serem requeridos para ação de um processo metabólico; (2) a planta não pode completar seu ciclo de desenvolvimento na ausência do elemento e (3) o elemento não pode ser substituído por outro. Com base nisso, os seguintes elementos minerais são considerados nutrientes de plantas: nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), molibdênio (Mo), boro (B), cloro (Cl) e níquel (Ni) (MARSCHNER, 2012).

Dessa forma, a agricultura moderna exige o uso de nutrientes em quantidades adequadas, de modo a atender critérios econômicos e, ao mesmo tempo, conservar o solo, possibilitando manter ou elevar a produtividade das culturas. Com o constante aumento do custo de produção, é necessário que se utilizem níveis mínimos de fertilizantes, que permitam boas produtividades e um retorno econômico maior. Se for feito um acompanhamento da fertilidade do solo, com análises periódicas, o produtor de soja poderá encontrar um ponto de equilíbrio dos nutrientes no solo e, com isso, fazer o uso racional de fertilizantes ou, até mesmo, suprimir o seu uso (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

O Ni foi o último elemento a ser incluído na lista dos essenciais (BROWN *et al.*, 1987). Assim, já se conhecem alguns aspectos da importância do Ni na ativação enzimática. Sabemos que ele é indispensável para a formação da urease, enzima responsável por desdobrar a ureia em outras formas de N (WITTE, 2011).

Também há evidências de que a aplicação de Ni em soja melhora a fixação biológica de nitrogênio (FBN), a principal forma de obtenção de nitrogênio pela planta. A FBN é o processo pelo qual o nitrogênio da atmosfera (N<sub>2</sub>) é captado e convertido por bactérias do gênero *Bradyrhizobium* sp. (que vivem em simbiose com a planta em suas raízes) em compostos nitrogenados assimiláveis pelo vegetal. Em plantações que recebem aplicações de Ni, percebe-se melhor formação de nódulos nas raízes, evidência de maior presença das bactérias ativas para suprir a demanda de nitrogênio da soja (EMERICH *et al.*, 1979; CAMARA, 2014).

Além disso, observações de campo mostram que a aplicação de Ni via folha reduziu a incidência de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em campo de produção de soja. Aliado a isso, tem sido constatado que plantas de soja com menor expressão do gene que codifica a urease apresentaram redução no número de lesões, lesões com pústulas, pústulas e pústulas abertas (WIEBKE-STROHM *et al.*, 2012). Embora os autores não tenham conseguido identificar como isso é regulado, essas informações indicam que a atividade da urease é importante para diminuir a susceptibilidade da soja à ferrugem asiática e que o Ni poderia contribuir nesse processo. No entanto, existem trabalhos que afirmam que a tolerância a patógenos e também a insetos é independente da atividade ureolítica da urease (POSTAL *et al.*, 2012). Em trabalhos realizados por Bai *et al.* (2006) houve redução da produção de metabólitos secundários importantes para a defesa contra doença, embora tal redução tenha ocorrido de forma indireta.

Assim, entender o metabolismo no Ni em plantas e como isso pode contribuir para a potencialização da produtividade das culturas é fundamental para justificar a utilização desse micronutriente na agricultura. Então, o objetivo desta revisão é ressaltar os efeitos do Ni em sistemas de produção de soja.

### **Níquel no ambiente**

O Ni, encontrado em alguns minerais, é um elemento químico, metálico, cuja concentração na superfície terrestre é da ordem de 0,008%. Tem cor branco-prateado, e suas características como ductibilidade, maleabilidade, elevado ponto de fusão, 1453° C, grande resistência mecânica à corrosão e a oxidação atribuem-lhe uma diversidade de usos (ANDRADE; SILVEIRA, 2004).

O Ni é encontrado em minerais sulfuretos, silicatados, arsenetos e oxidados. O teor de Ni no mineral e a concentração desse mineral em uma área bem definida e relativamente pequena na crosta terrestre definem os depósitos minerais que são explorados de acordo com suas reservas, e dessa forma constituem fontes de suprimento das demandas existentes (ANDRADE; SILVEIRA, 2004).

As reservas mundiais de Ni em 2003 foram definidas por depósitos minerais que ocorrem em vários países. Nesse contexto, Austrália, Cuba e Canadá representam 46% do total das reservas mundiais atualmente conhecidas (ALOVISI *et al.*, 2011). No Brasil, as reservas de Ni encontram-se nos estados de Goiás (74,0%), Pará (16,7%), Minas Gerais (5,1%) e Piauí (4,2%) (ALOVISI *et al.*, 2011).

O fator mais importante que determina a distribuição de Ni entre a fase sólida e a solúvel do solo é o pH, sendo a disponibilidade de Ni inversamente relacionada com esse índice (UREN, 1992). Anton (1990), ao trabalhar com dois solos, Latossolo Roxo Distrófico e Terra Roxa Estruturada, verificou que a calagem diminuía o teor de Ni extraível com extrator DTPA e reduzia o efeito tóxico de altas doses nas culturas.

### **Metabolismo do Ni em plantas**

A soja é uma das culturas mais valiosas do mundo, não apenas por ser oleaginosa e fonte de proteína na alimentação animal, mas também por ser fonte de proteínas para a dieta humana e, recentemente, como utilização de matéria prima para a produção de biodiesel. Tal fato gera elevada demanda de soja no mundo, a qual pode ser saciada de duas maneiras: aumentar a área plantada ou aumentar a produtividade. Para aumentar a produtividade com intuito de atingir a demanda futura e compensar o declínio da disponibilidade de terras agricultáveis, há necessidade de mais pesquisas, no sentido de otimizar o recurso genético das plantas para expressar a máxima produtividade, utilizando melhor os recursos minerais. A adequada disponibilidade e a maior eficiência na utilização dos micronutrientes estão entre as condições necessárias para maximizar a produtividade de soja (MASUDA, 2009; ALOVISI, *et al.*, 2011).

Nos últimos anos, a utilização de microelementos tem ganhado bastante destaque na cultura de soja, especialmente o Mo, o Co e o Ni. Tal fato se deve à

importância destes principalmente na FBN, embora possam possuir outras funções na planta (CAMARA, 2014).

O Ni costumava ser classificado como não essencial ou tóxico para as plantas. Presente em grande número de plantas, o Ni foi descrito por Dixon *et al.* (1975) como componente da enzima urease, despertando na comunidade científica o interesse acerca da sua função em plantas. Desde então, diversas pesquisas relatam respostas à fertilização com Ni, principalmente em soluções nutritivas e meio de cultura (cultura de tecido) (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001). Eskew *et al.* (1983) verificaram que plantas de soja deficientes em Ni apresentam níveis tóxicos de ureia nas pontas das folhas, ocasionando necrose destas, e isso se deve à diminuição da atividade da urease. Os mesmos autores afirmaram que a falta de Ni exerce influência sobre o crescimento e senescência da planta, no metabolismo do N e na absorção de Fe.

A partir do artigo de Brown *et al.* (1987), o Ni passou a ser tido como um elemento essencial, e, na publicação de Marschner (1995), ele foi incluído na lista dos micronutrientes de plantas. Também, Raven *et al.* (2001) e Taiz e Zeiger (2013) apresentam o Ni como micronutriente.

O Ni tem relação com a FBN, visto que aumenta a atividade da hidrogenase em bacterióides isolados dos nódulos. Algumas bactérias fixadoras de nitrogênio, como o *Rhizobium japonicum*, são capazes de conservar energia, pois a evolução do H<sub>2</sub> pela nitrogenase pode consumir até 40% da energia do nódulo (EMERICH *et al.*, 1979). Essas bactérias codificam hidrogenases, as quais são dependentes de Ni, e oxidam o H<sub>2</sub>. Foi demonstrado que baixos níveis de Ni nos solos agrícolas podem limitar a atividade da hidrogenase simbiótica de *Rhizobium leguminosarum* (KLUCAS *et al.*, 1983; URETA *et al.*, 2005).

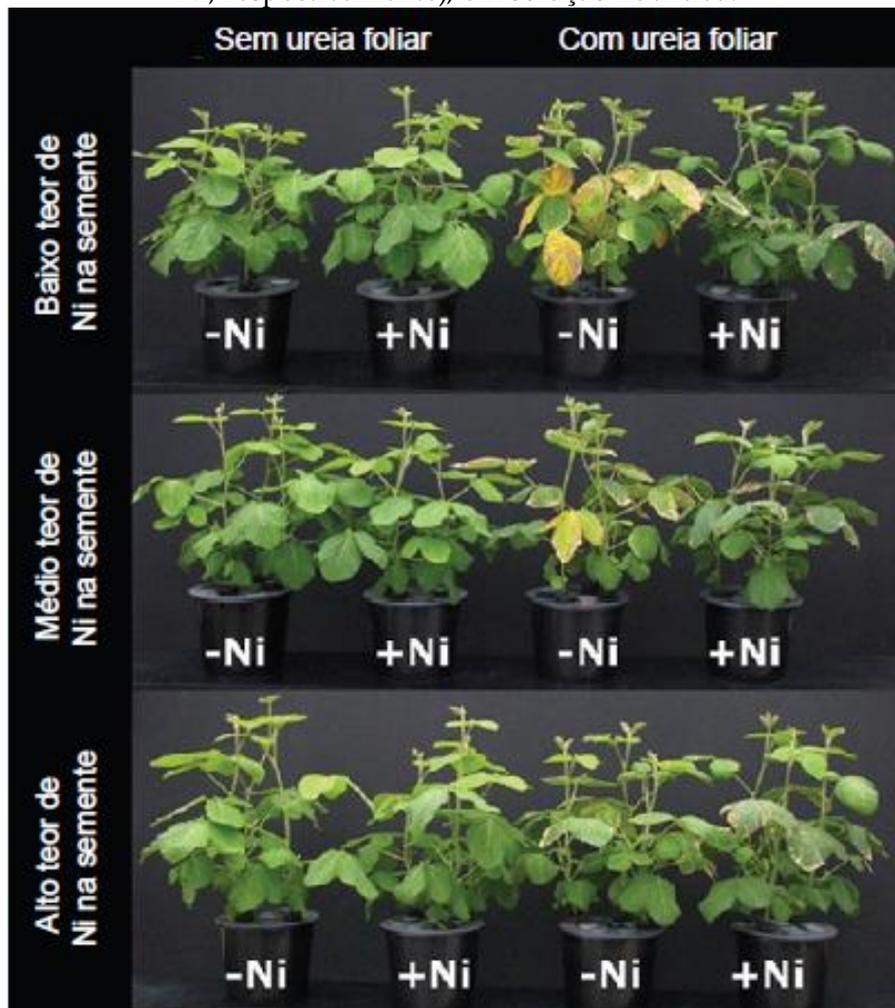
Nas sementes, o Ni apresenta relação direta com a germinação. A arginina é a principal forma de armazenamento de nitrogênio em sementes de soja. Trabalhos mostram que a arginina representa, em média, 17,3% no N total em sementes de soja. A degradação da arginina através da arginase envolve a liberação de ureia e ornitina. A ureia é catalisada pela urease, a qual requer como cofator o Ni (WITTE, 2011). Dessa forma, a utilização de Ni em sementes de soja pode, além de aumentar a eficiência da FBN, proporcionar melhor utilização das reservas contidas nas sementes, potencializando o crescimento inicial das plantas.

Recentemente o Ni tem sido relacionado com a desintoxicação das plantas submetidas a condições de estresse. Isso porque ativa a glioxalase I, necessária para a produção de D-lactato a partir do metilglioxal, metabólito produzido, principalmente, em condições de estresse que pode ser letal para as células (MUSTAFIZ *et al.*; 2014). A produção de metilglioxal incrementa drasticamente em condições de estresse devido ao aumento da produção de espécies reativas de oxigênio, desativando os mecanismos antioxidantes e interferindo com os processos de divisão celular (RAY *et al.*, 1994; MARTINS *et al.*, 2001; MAETA *et al.*, 2005; KALAPOPOS, 2008; FABIANO *et al.*, 2015). Isso sugere que o Ni é importante para a tolerância das plantas em condições de estresses.

### Utilização de Ni na soja

Trabalhos realizados por Kutman *et al.* (2012) mostram que o Ni armazenado nas sementes apresenta papel importante no desenvolvimento da soja, pois quando as sementes continham baixo teor de Ni, as plantas apresentaram menor crescimento e foram mais sensíveis aos danos causados pela aplicação de ureia aplicada via folha. Dessa forma, o enriquecimento de sementes com Ni é uma estratégia para aumentar o desenvolvimento das plantas e reduzir o nível de dano causado pela ureia endógena ou por possível suplementação de ureia via folha. Além disso, a aplicação do Ni associado à ureia via folha reduz os danos causados pela ureia, mesmo em sementes com alto teor de Ni (Figura 1). Tais resultados justificam o enriquecimento de sementes, a aplicação de Ni via tratamento de sementes ou via folha para potencializar a produtividade de soja.

**Figura 1** - Plantas de soja aos 29 dias cultivadas a partir de sementes com baixo, médio e alto teor de Ni e submetidas a aplicação foliar de ureia e de 0 e 0,2  $\mu$ M de Ni (+Ni e -Ni, respectivamente), em solução nutritiva.

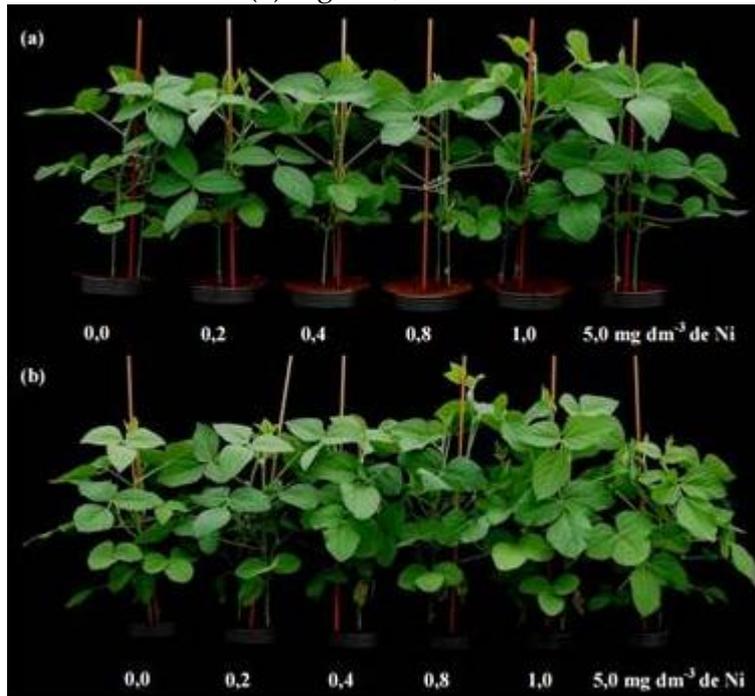


Fonte: Kutman *et al.* (2012).

Franco (2015), trabalhando com tratamento de soja com doses de Ni, concluiu que há aumento na FBN, favorecendo o acúmulo de Ni e N no grão, com aumento da atividade da urease. Segundo o mesmo autor, a aplicação de baixas doses de Ni (45 a 90 mg.kg<sup>-1</sup>, o que equivale a dose entre 2,5 a 5,0 g.ha<sup>-1</sup>) via sementes proporciona aumento do acúmulo de nutrientes na planta, incremento na massa seca da parte aérea, da massa seca de nódulos, aumento no teor de clorofila (índice SPAD) e da produção de grãos de soja

Trabalhos realizados por Rodak (2014) mostram que doses de 0,7 e 0,9 mg.dm<sup>-3</sup> proporcionaram maior acúmulo de massa seca de raízes de soja cultivada em solo franco arenoso e argiloso, respectivamente. Tal comportamento repercutiu em incremento no acúmulo de matéria seca total. No entanto, para o solo argiloso, todas as doses de Ni reduziram o número de vagens, número de grãos e massa de grãos, fato este atribuído ao maior teor de Ni inicial neste solo. Para o solo franco arenoso, as doses de Ni não influenciaram nestes componentes de produtividade. A autora atribui este comportamento ao elevado teor de Ni inicial na semente, o qual era de 0,78 mg.kg<sup>-1</sup>.

**Figura 2** - Plantas de soja no início do florescimento (estádio R<sub>1</sub>), cultivadas em solo (a) franco arenoso e (b) argiloso, submetidas a doses de Ni.



Fonte: Rodak (2014).

Esses dados apresentados mostram que a resposta da soja ao Ni é muito dependente da concentração de Ni nas sementes e do teor de Ni no solo cultivado. Dessa forma, antes da aplicação do Ni, deve ser realizada avaliação do Ni inicial, para determinar o potencial de resposta do determinado sistema de produção.

Os teores foliares de Ni na soja cultivada em Bela Vista-MS responderam positivamente à aplicação de Ni foliar, indicando que a concentração desse nutriente

na planta depende do fornecimento (ALOVISI *et al.*, 2011). Esses pesquisadores forneceram 132 g ha<sup>-1</sup> de Ni via folha, o que aumentou o teor de Ni foliar para 8,3 mg.kg<sup>-1</sup>, comparado a 0,1 mg.kg<sup>-1</sup> do tratamento não aplicado, indicando assim que a correção de deficiência pode ser conseguida facilmente com a aplicação suplementar às folhas. No entanto, neste ensaio não foi verificado efeito na produtividade da cultura.

### Ni e doenças de plantas

Existem relatos na literatura sobre o efeito no Ni na incidência de doenças (WOOD; REILLY, 2007). No campo, observações mostram que a aplicação de Ni reduz a severidade da ferrugem asiática em soja. Aliado a isso, tem sido mostrado que a aplicação de Ni pode induzir a produção de fitoalexinas, as quais protegem as plantas contra patógenos (WOOD; REILLY, 2007). Trabalhos realizados por Bai *et al.* (2006) mostram que a deficiência de Ni reduz a atividade da acetil CoA sintase, o que causa redução na produção de compostos do metabolismo secundário. Além disso, tem sido especulado que o elevado acúmulo de metais, como o Ni, em plantas é uma estratégia para aumentar a tolerância a insetos e patógenos (FONES; PRISTON, 2013).

Trabalhos realizados por Bruce Wood nos Estados Unidos mostram que a aplicação de Ni promove resistência contra o fungo *Fusicladosporium caryigenum*, causador da ferrugem em pecã (*Carya illinoensis*), além de corrigir os sintomas de orelha-de-rato, característicos da deficiência de Ni (REIS *et al.*, 2014) (Figura 3).

**Figura 3** - Efeito da concentração de Ni na incidência de ferrugem em pecã (*Fusicladosporium caryigenum*).

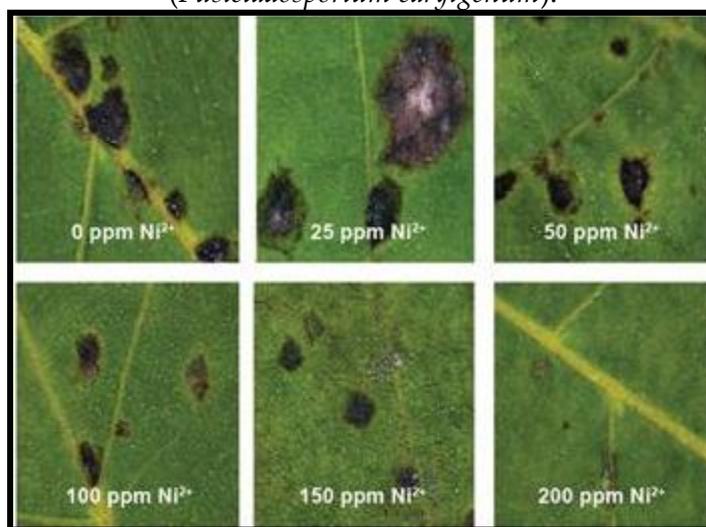


Foto de Bruce Wood.

Fonte: Reis *et al.* (2014).

Em plantas com menor expressão do gene que codifica a urease foi observada redução no número de lesões, lesões com pústulas, pústulas e pústulas abertas (WIEBKE-STROHM *et al.*, 2012). Aliado a isso, genótipos de *Glycine tomentella* infectadas com ferrugem asiática apresentaram alteração na expressão da UreG (proteína acessória da urease) e da glutamina sintase, as quais estão envolvidas no

metabolismo da ureia em plantas (PANTHEE *et al.* 2009; SORIA-GUERRA *et al.* 2010). Além disso, a liberação de amônia (NH<sub>3</sub>) pela urease pode contribuir pela menor severidade dos patógenos devido à toxicidade da NH<sub>3</sub> (CARLINI; POLACCO 2008). Essas informações sugerem que a atividade da urease é importante para a tolerância das plantas a doenças e que o Ni poderia contribuir nesse processo.

No entanto, o efeito tóxico da urease em patógenos e pragas persistiu mesmo depois da inibição irreversível da atividade ureolítica da enzima, demonstrando que outros efeitos além da atividade ureolítica estão envolvidos no papel da urease em tolerância a estresses bióticos (PANTHEE *et al.* 2009; SORIA-GUERRA *et al.* 2010). A canotoxina, uma isoforma da urease identificada em sementes de *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco), produz peptídeos que causam toxidez a insetos e patógenos. Estes apresentam entomotoxicidade a *Rhodnius prolixus* (barbeiro), *Callosobruchus maculatus* (caruncho-de-feijão), *Nezara viridula* (percevejo verde) e *Dysdercus peruvianus* (percevejo manchador do algodão) (CARLINI *et al.*, 1997; CARLINI; GROSSI-DE-SÁ, 2002; STANISÇUASKI *et al.*, 2005) e fungitoxicidade a *Mucor* sp., *Rhizoctonia solani* e *Penicillium herguei* (POSTAL *et al.*, 2012).

### **Toxidez e deficiência de Ni**

A fitotoxicidade do Ni é resultado de sua ação no fotossistema, causando distúrbios no ciclo de Calvin e inibição do transporte elétrico por causa das quantidades excessivas de ATP e NADPH acumuladas pela ineficiência das reações de escuro (KRUPA *et al.*, 1993). Além disso, o Ni, quando em altas concentrações no meio, pode inibir a absorção de micronutrientes metálicos, como Fe, Mn, Zn e Cu, o que causa deficiências dos mesmos.

No entanto, uma leve redução na absorção de Fe poderia proporcionar menor produção de etileno, responsável pela senescência, visto que o Fe desempenha papel na via de produção de tal hormônio. Aliado a isso, o Ni pode inibir a atividade da enzima ácido 1-carboxílico-1-amino ciclopropano oxidase (ACC oxidase) (LAU; YANG, 1976) e, dessa forma, reduzir a síntese de etileno. Dessa forma, a redução da produção de etileno poderia reduzir a senescência das folhas, mantendo estas verdes por maior período de tempo, ou seja, mantendo a produção de energia durante o enchimento dos grãos, período fundamental para determinação da massa dos grãos e da produtividade de soja.

Segundo Barton *et al.* (2006), os sintomas de toxidez de Ni não estão bem definidos para os estádios iniciais de toxicidade, porém nos estádios moderados e agudos, a toxidez produz clorose, geralmente semelhante aos sintomas de deficiência de Fe. Nas dicotiledôneas, aparecem manchas cloróticas entre as nervuras das folhas, semelhantes aos sintomas de deficiência de Mn (MALAVOLTA; MORAES, 2007; RODAK, 2014) (Figura 4). Tal efeito ocorre devido ao fato de que estes micronutrientes são absorvidos pelo mesmo transportador, denominado *IRT1* (*iron related transporter 1*) (VERT, 2002). Dessa forma, quando algum deste apresenta elevada concentração, há redução na absorção dos demais, o que justifica a necessidade de aplicação balanceada de Ni.

**Figura 4** - Sintomas da toxidez de Ni em soja cultivada em solo argiloso submetido à aplicação de  $5,0 \text{ mg.dm}^{-3}$ .



Fonte: Rodak (2014).

Liu e Wang (1993) estudaram a fitotoxicidade de Ni em arroz (*Oryza sativa* L.) e milho (*Zea mays* L.) e concluíram que houve redução de produção com as doses de Ni entre  $14$  e  $403 \text{ mg.kg}^{-1}$  de solo, sendo este efeito mais acentuado para o milho. Piccini e Malavolta (1992) avaliaram a toxidez de Ni em diferentes cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), utilizando solução nutritiva. A produção de feijão foi inversamente proporcional à concentração de Ni na solução. Na dose máxima,  $4 \text{ mg.L}^{-1}$  de Ni em solução, as cultivares não produziram sementes. Os mesmos autores observaram queda na produtividade de arroz e feijão cultivados em vasos, quando a dose de Ni estava acima de  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Foi relatada por Alovisei *et al.* (2011) pequena toxidez por Ni quando utilizado doses acima de  $44 \text{ g ha}^{-1}$ , embora não tenham apresentado efeito visual, sendo detectada por análise foliar. Segundo pesquisa realizada por Berton *et al.* (2006), a aplicação de  $210 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Ni na forma de  $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  é letal para plantas de feijão, quando semeado poucos dias depois da adição desse elemento ao solo, independentemente da elevação ou não da saturação por bases para 70% da CTC.

O sintoma característico da deficiência de Ni é a redução do tamanho da folha e abortamento da ponta das folhas ou dos folíolos, sendo que a intensidade do abortamento da ponta dos folíolos ou folhas é dependente do nível de deficiência. Normalmente, o ápice foliar apresenta forma obtusa (WOOD *et al.*, 2006) (Figura 5).

**Figura 5** - Sintomas de deficiência de Ni em pecã (*Carya illinoensis*) cultivada em condições de campo, popularmente como orelha-de-rato.



Fonte: Wood *et al.* (2006).

### Considerações finais

A soja é um dos símbolos da exploração agrícola do Cerrado e, por isso, tem sido intensamente estudada. Os conhecimentos da nutrição mineral e da adubação da cultura vêm sendo aprimorados a cada dia. Tendo em vista a necessidade de maior produção de grãos por área agricultável nos dias de hoje e ainda a necessidade de maior rentabilidade por área, a utilização do Ni pode resultar no aumento na produtividade, podendo ser alternativa para fortalecer a atividade agrícola. Atualmente, sabemos que o Ni potencializa a fixação biológica, além de ser essencial para a atividade da urease, sendo que estas funções justificam a sua utilização para maximizar a eficiência de utilização do N. Além disso, outros trabalhos mostram papel do Ni na tolerância a patógenos e estresses ambientais. Dessa forma, novos estudos devem ser realizados para elucidar como este micronutriente poderia contribuir no aumento da tolerância a estresses bióticos e abióticos nos sistemas de produção.

### Referências

- ALOVISI, A.M.T.; MAGRI, J.; DUTRA, J.E.; MAGRI, E.; SANTOS, M.J.G.; ALOSIVI, A.A. Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. *Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*. v. 15, n. 2, p. 25-32, 2011.
- ANDRADE, S.A.L.; SILVEIRA, A.P.D. Biomassa e atividades microbianas do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 1191-1198, 2004.
- ANTON, D.F.P. *Toxidez do níquel em arroz e feijão*. 1990. 144p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- BAI, C.; REILLY, C.C.; WOOD, B. W. Nickel deficiency disrupts metabolism of ureides, amino acids, and organic acids of young pecan foliage. *Plant Physiology*, v. 140, p. 433-443, 2006.

BERTON, R.S.; PIRES, A.M.M.; ANDRADE, S.A.L.; ABREU, C.A.; AMBROSANO, E.J.; SILVEIRA, A.P.D. Toxicidade do níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 8, p.1305-1312, 2006.

BROWN, P.H.; WELCH, R.M.; CARY, E.E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiology*. Rockville, v. 85, p. 801–803, 1987.

CÂMARA, G.M.S. Fixação biológica do nitrogênio em soja. *Informações Agronômicas*, n. 147, p. 1-9, 2014.

CARLINI, C.R.; GROSSI-DE-SÁ, M.F. Plant toxic proteins with insecticidal properties. A review on their potentialities as bioinsecticides. *Toxicon*, v. 40, p. 1515–1539, 2002.

CARLINI, C.R.; OLIVEIRA, A.E.; AZAMBUJA, P.; XAVIER-FILHO, J.; WELLS, M.A. Biological effects of canatoxin in different insect models. Evidence for a proteolytic activation of the toxin by insect cathepsin-like enzymes. *Journal of Economic Entomology*, v. 90, p. 340–348, 1997.

CARLINI, C.R.; POLACCO, J.C. Toxic properties of urease. *Crop Science*, v. 48, p. 1665–1672, 2008.

DIXON, N.E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R.L.; ZERNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5). A metalloenzyme. A simple biological role for nickel. *Journal of The American Chemistry Society*, v. 97, :p. 4131-4133, 1975.

EMERICH, D.W.; RUIZ-ARGÜESO, T.; CHING, T.M.; EVANS, H.J. Hydrogen-dependent nitrogenase activity and ATP formation in *Rhizobium japonicum* bacteroids. *Journal of Bacteriology*, v. 137, p. 153-160, 1979.

ESKEW, D.L.; WELCH, R.M.; CARY, E.E. Nickel: An essential micronutrient for legumes and possibly all higher plants. *Science*, v. 222, p. 621-623, 1983.

FABIANO, C.C.; TEZOTTO, T.; FAVARIN, J.L.; POLACCO, J.C.; MAZZAFERA, P. Essentiality on nickel in plants: a role in plant stresses. *Fontiers in Plant Science*, v. 6, p. 1-4, 2015.

FONTES, H.; PRESTON, G.M. The impact of transition metal on bacterial plant disease. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 37, p. 495-519, 2013.

FRANCO, G.C. *Tratamento de sementes de soja com níquel para o aumento da fixação biológica e atividade da urease*. 2015. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015. Disponível em:

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64134/tde-19052015-143424/>> Acesso em: 23 de novembro de 2015.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. 3. ed. Boca Raton, CRC Press, 2001. 413p.

KLUCAS, R.V.; HANUS, F.J.; RUSSELL, S.A.; EVANS, H.J. Nickel: a micronutrient element for hydrogen-dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 80, n. 8, p. 2253-2257, 1983.

KRUPA, Z.; SIEDLECKA, A.; MAKSYMIEC, W.; BASZYŃSKI, T. In vivo response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. *Journal of Plant Physiology*, v. 142, p. 664-668, 1993.

KUTMAN, B.Y.; KUTMAN, U.B.; ÇAKMAK, I. Nickel-enriched seed and externally supplied nickel improve growth and alleviate foliar urea damage in soybean. *Plant and Soil*, v. 1007, p. 1-15, 2012.

LAU, O-L.; YANG, S.F. Inhibition of ethylene production by cobaltous ion. *Plant Physiology*, Rockville, v. 58, p. 144-117, 1976.

LIU, C.L.; WANG, Y.P. Effect of nickel contamination in different soils on the growth of crops. *Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society*, v. 31, p. 172-182, 1993.

MAETA, K.; IZAWA, S.; INOUE, Y. Methylglyoxal, a metabolite derived from glycolysis, functions as a signal initiator of the high osmolarity glycerol-mitogen-activated protein kinase cascade and calcineurin/Crz1-mediated pathway in *Saccharomyces cerevisiae*. *The Journal of Biological Chemistry*. v. 280, p. 253-260, 2005.

MALAVOLTA; E.; MORAES, F.M. Níquel: de tóxico a essencial. *Informações Agronômicas*, n. 118, p. 1-3, 2017.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2<sup>nd</sup>ed. London, Academic Press, 1995. 889 p.

MARSCHNER, P. *Mineral nutrition of higher plants*. 3<sup>rd</sup> ed. Amsterdam: Elsevier, 2012. 643 p.

MARTINS, A.M.; CORDEIRO, C.A.; PONCES-FREIRE, A.M. In situ analysis of methylglyoxal metabolism in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEBS Letters*, n. 499, p. 41-44, 2001.

MASUDA, T. *Produção mundial*. Rondonópolis : Fundação MT, 2009. 42p. (Fundação MT. Boletim de Pesquisa de Soja, 13).

MUSTAFIZ, A.; GHOSH, A.; TRIPATHI, A.K.; KAUR, C.; GANGULY, A.K.; BHAVESH, N. S.; TRIPATHI, J.K.; PAREEK, S.; SOPORY, S.K.; SINGLA-PAREEK, S.L. A unique Ni<sup>2+</sup>-dependent and methylglyoxal-inducible rice glyoxalase I possesses a single active site and functions in abiotic stress response. *Plant Journal*, v. 78, p. 951–963, 2014.

PANTHEE, D.R.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L.; NARVAEZ, D.; YUAN, J.S.; STEWART JUNIOR, C.N. Differential expression of genes in soybean in response to the causal agent of Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) is soybean growth stage-specific. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 118, p. 359–370, 2009.

PICCINI, D.F.; MALAVOLTA, E. Effect of nickel on two common bean cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, v. 15, p. 2343-2350, 1992.

POSTAL, M.; MARTINELLI, A.H.S.; BECKER-RITT, A.B.; LIGABUE-BRAUN, R.; DEMARTINI, D.R.; RIBEIRO, S.F.F.; PASQUALI, G.; GOMES, V.M.; CARLINI, C.R. Antifungal properties of *Canavalia ensiformis* urease and derived peptides. *Peptides*, v. 38, n. 1, p. 22-33, 2012.

RAVEN, P.D.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. *Biologia vegetal*. 6. ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2001. 906p.

RAY, S.; DUTTA, S.; HALDER, J.; RAY, M. Inhibition of electron flow through complex I of the mitochondrial respiratory chain of Ehrlich ascites carcinoma cells by methylglyoxal. *Biochemical Journal*, v. 303 (Pt1), p. 69–72, 1994.

REIS, A.R.; RODAK, B.W.; PUTTI, F.F.; MORAES, M.F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxicidade em plantas. *Informações Agronômicas*, n. 147, p. 10-24, 2014.

RODAK, B.W. *Níquel em solos na cultura de soja*. 2014, 100p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

SORIA-GUERRA, R.E.; ROSALES-MENDOZA, S.; CHANG, S.; HAUDENSHIELD, J.S.; PADMANABAN, A.; RODRIGUEZ-ZAS, S.; HARTMAN, G.L.; GHABRIAL, S.A.; KORBAN, S.S. Transcriptome analysis of resistant and susceptible genotypes of *Glycine tomentella* during *Phakopsora pachyrhizi* infection reveals novel rust resistance genes. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 120, p. 1315–1333, 2010.

STANISÇUASKI, F.; FERREIRA-DA-SILVA, C.T.; MULINARI, F.; PIRES-ALVES, M.; CARLINI, C.R. Insecticidal effects of canatoxin on the cotton stainer bug *Dysdercus peruvianus* (Hemiptera: Pyrrhocoridae). *Toxicon*, v. 45, p. 753–760, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre, Artmed, 2013. 918p.

UREN, N.C. Forms, reaction and availability of nickel in soils. *Advances in Agronomy*, v.48, p.141-203, 1992.

URETA, A.C.; IMPERIAL, J. RUIZ-ARGÜESO, T.; PALACIOS, J.M. *Rhizobium leguminosarum* biovar viciae symbiotic hydrogenase activity and processing are limited by the level of nickel in agricultural soils. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 71, p. 7603-7606, 2005.

VERT, G.; GROTZ, N.; DÉDALDÉCHAMP, F.; GAYMARD, F.; GUERINOT, M.L.; BRIAT, J.F.; CURIE, C. IRT1, an Arabidopsis transporter essential for iron uptake from the soil and for plant growth. *Plant and Cell*, v. 4, n. 6, p. 1223-1233, 2002.

WIEBKE-STROHM, B.; PASQUALI, G.; MARGIS-PINHEIRO, M.; BENCKE, M.; BÜCKER-NETO, L.; BECKER-RITT, A.B.; MARTINELLI, A.H.S; RECHENMACHER, C.; POLACCO, J.C.; STOLF, R.; MARCELINO, F.C.; ABDELNOOR, R.V.; HOMRICH, M.S.; Del PONTE, E.M.; CARLINI, C.R.; CARVALHO, M.C.C.G.; BODANESE-ZANETTINI, M.H.C. Ubiquitous urease affects soybean susceptibility to fungi. *Plant Molecular Biology*, v.79, p.75-87, 2012.

WITTE, C-P. Urea metabolism in plants. *Plant Science*, Cambridge, v. 180, p. 431-438, 2011.

WOOD, B.W.; REILLY, C.C. Nickel and plant disease. In: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. (Ed.). *Mineral nutrition and plant disease*. The American Phytopathological Society, 2007. p. 215-231.

WOOD, B.W.; REILLY, C.C.; NYCZEPIR, A.P. Field deficiency on nickel in tress: symptoms and causes. *Acta Horticulturae*, v. 721, p. 83-97, 2006.

# Inoculação de bactérias diazotróficas em plantas de trigo cultivado no sul de Mato Grosso

Diazotrophic bacteria inoculated in wheat plants in southern Mato Grosso

---

Salomão Lima Guimarães<sup>1</sup>; Thiago de Andrade Vila<sup>2</sup>; Marcos Souza dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professor Doutor da Universidade Federal de Mato Grosso – Campus  
Universitário de Rondonópolis. E-mail: slguimaraes@ufmt.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola e Ambiental – Universidade Federal de Mato Grosso – Campus  
Universitário de Rondonópolis.

---

**Resumo:** O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desenvolvimento do trigo inoculado de bactérias diazotróficas associativas cultivado no sul de Mato Grosso. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com vasos de 8 dm<sup>3</sup> contendo Latossolo vermelho distrófico, dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado, constituído de 5 tratamentos: três estirpes de bactérias diazotróficas associativas, um inoculante comercial recomendado para a cultura do trigo (composto pela combinação das estirpes AbV5 e AbV6 de *Azospirillum brasilense*) e um controle nitrogenado (80 mg dm<sup>-3</sup>), com 5 repetições, totalizando 25 parcelas experimentais. Foram avaliados número de folhas, número de panículas, número de perfilhos, altura de plantas, índice SPAD, massa seca da parte aérea, de raízes e massa de 100 grãos. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observou-se efeito positivo da inoculação das bactérias diazotróficas associativas, uma vez que as estirpes avaliadas foram capazes de suprir parte da demanda de nitrogênio requerido pelo trigo. Em algumas características produtivas, verificou-se comportamento similar ou próximo ao apresentado no tratamento com adubação nitrogenada. Conclui-se, portanto, que a inoculação com bactérias diazotróficas pode ser uma alternativa para suprir parte da necessidade de nitrogênio que as plantas de trigo requerem para completar o ciclo produtivo.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L. Cerrado. Latossolo.

**Abstract:** This study aimed to evaluate the development of wheat plants inoculated with diazotrophic associative bacteria in southern Mato Grosso. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Mato Grosso, Campus Rondonópolis in pots of 8 dm<sup>3</sup> containing Oxisol, arranged in completely randomized design, with 5 treatments: three strains of associative nitrogen-fixing bacteria, a commercial inoculant recommended for wheat (composed by the combination of AbV5 and AbV6 - *Azospirillum brasilense*) and a nitrogen control (80 mg dm<sup>-3</sup>), with 5 repetitions, totaling 25 plots. We evaluated the number of leaves, number of panicles, number of tillers, plant height, SPAD index, shoot dry mass of roots and 100 grains mass. The results were submitted to analysis of variance and Tukey test at 5% probability. There was a positive effect of inoculation of associative diazotrophic bacteria, since

the strains evaluated were able to supply part of the nitrogen demand required by the wheat. In some productive traits there was similar behavior in or near the treatment with nitrogen fertilization. It follows therefore that inoculation with diazotrophs can be an alternative to supply part of the nitrogen need the wheat plants require to complete the production cycle.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L. Cerrado. Oxisol.

## Introdução

Considerado fonte de energia e principal insumo de vários alimentos e preparos de consumo humano e animal, o trigo (*Triticum aestivum* L.) é um dos grãos de maior importância nutricional, por ser rico em fibras e nutrientes e (PAÍGA *et al.*, 2012).

Para seu cultivo, o trigo necessita de nitrogênio, que é um nutriente essencial e exigido quantitativamente pela maioria das plantas, estando relacionado fisiologicamente ao metabolismo vegetal das plantas. Além disso, o uso de forma indiscriminada de fertilizantes nitrogenados podem gerar impactos ambientais por meio da contaminação de lençóis freáticos, solos e rios (FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

A possibilidade de substituição total ou parcial de fontes químicas de nitrogênio pela fixação biológica de nitrogênio (FBN) deve ser considerada nos cultivos do trigo, pois diminui os custos de produção e contribui para uma agricultura mais sustentável, sem impactos negativos no ambiente (FIGUEIREDO *et al.*, 2008; FERREIRA *et al.*, 2010; GUIMARÃES *et al.*, 2013).

Para a cultura do trigo, há poucos estudos sobre a FBN em solos de Cerrado, apresentando a necessidade de pesquisas visando à seleção de estirpes de bactérias associativas com potencial de fixação do nitrogênio em associação com plantas de trigo. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento do trigo inoculado de bactérias diazotróficas associativas, cultivado em solo de Cerrado.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Federal de Mato Grosso no Campus Universitário de Rondonópolis, situado nas coordenadas geográficas: 16°27'45" Latitude Sul, Longitude Oeste, com altitude de 284m.

Foram utilizados cinco tratamentos: três estirpes de bactérias diazotróficas associativas (MTaz8 – similar à *Azospirillum* sp.; MTh2 – *Bacillus* sp.; MTb3 – similar à *Burkholderia* sp.), um inoculante comercial (composto pelas estirpes ABV-5 e ABV-6 de *Azospirillum brasilense*); um controle nitrogenado (80 mg dm<sup>-3</sup> na forma de ureia), com 5 repetições, totalizando 25 parcelas experimentais.

O solo utilizado foi coletado na camada de 0-20 cm em região de Cerrado, classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2009). No momento da coleta, o solo foi peneirado em malha de 4 mm e posteriormente retirou-se uma amostra para análise laboratorial, como demonstrada na Tabela 1, que serviram de base para a calagem e as adubações fosfatada e potássica. Foi realizada a calagem para

fins de correção da acidez do solo e elevar a saturação por bases a 60%, ficando o solo incubado por um período de 30 dias (SOUZA; LOBATO, 2004).

**Tabela 1** - Análises química e física do solo na profundidade de 0–20 cm.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	SB	V	M.O	Areia	Silte	Argila
CaCl <sub>2</sub>	mg dm <sup>-3</sup>		-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----				%		-----g Kg <sup>-3</sup> -----		
4,1	1,1	47	0,2	0,1	1,0	0,4	6,9	19,7	575	50	375

Todas as parcelas experimentais receberam adubação com fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e potássio (K<sub>2</sub>O) nas quantidades de 80 e 150 mg dm<sup>-3</sup>, utilizando como fontes superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Foram semeadas 10 sementes por vaso, deixando cinco plantas após o desbaste, o qual foi feito quando as plantas atingiram 10 cm de altura.

Para a inoculação, as bactérias foram multiplicadas em meio de cultura Dygs (RODRIGUES NETO *et al.*, 1986), numa mesa agitadora shaker a 100 rpm por um período de 24h. Foram aplicados 3 mL do caldo bacteriano (10<sup>8</sup> UFC mL<sup>-1</sup>) próximo ao sistema radicular das plantas, quando estas atingiram 10cm de altura. A utilização do inoculante comercial seguiu as recomendações do fabricante (120 a 150 mL para cada 50 kg de sementes).

A capacidade de campo dos vasos foi mantida em 60% da capacidade máxima de retenção de água, por método gravimétrico, de acordo com Bonfim-Silva *et al.* (2011).

Foram avaliadas as variáveis altura de plantas, índice SPAD, número de folhas, número de perfilhos (aos 45 DAS), número de panículas, massa seca da parte aérea, de raízes e peso de 100 grãos (aos 110 DAS).

Para a leitura do índice SPAD utilizou-se um medidor de clorofila da marca Falker e foi realizada na folha abaixo da folha bandeira e foram realizadas 5 amostras por parcela (Figura 1).

A altura de plantas foi avaliada tomando por base a distância da superfície do solo até a inserção da folha bandeira. O número de folhas, perfilhos e panículas foram quantificado de forma manual.

A parte aérea das plantas e as raízes foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 65°C por até atingir peso constante. A massa seca da parte aérea, raízes e peso de 100 grãos foram quantificados por meio de pesagem em balança semianalítica.

**Figura 1** - Índice SPAD em plantas de trigo inoculadas com bactérias diazotróficas associativas.



A análise estatística foi realizada com a utilização do Software SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011), sendo os dados submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### Resultados e Discussão

A inoculação das bactérias diazotróficas associativas influenciou no desenvolvimento das plantas de trigo em todas as variáveis analisadas. Apresentou diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis de altura de plantas e índice SPAD (Tabela 2).

**Tabela 2** - Altura e índice SPAD em plantas de trigo inoculadas com bactérias diazotróficas associativas.

Tratamentos	Altura (cm)	Índice SPAD
Inoculante comercial	28,6 ab	39,3 b
MTaz8	29,0 ab	39,6 b
MTh2	25,8 b	38,8 b
MTb3	31,0 a	39,5 b
Controle N	30,4 a	44,3 a
CV (%)	7,69	5,50

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de significância de 0,05.

Com relação à altura de plantas, os tratamentos que apresentaram maiores valores foram aqueles cujas plantas foram inoculadas com a estirpe MTb3 e também as plantas correspondentes à controle nitrogenado, corroborando com Sala *et al.* (2007), que, trabalhando com trigo cultivado com bactérias diazotróficas endofíticas, observaram aumento da altura de plantas, atribuindo os efeitos à produção de

fitormônios de crescimento que são produzidos pelas bactérias, além do nitrogênio fixado biologicamente.

Trabalhos conduzidos por Coelho *et al.* (1998), Zagonel *et al.* (2002), Espindula *et al.* (2010) e Pietro-Souza *et al.* (2013) relacionam a altura das plantas de trigo com o aumento nas doses de nitrogênio aplicado, contudo salientam sobre a possibilidade desse efeito não ser vantajoso, haja vista a possibilidade de acamamento ou tombamento das plantas.

O maior valor SPAD foi verificado em plantas adubadas com nitrogênio mineral. Todos os tratamentos de inoculação com bactérias diazotróficas mostraram comportamento similar para essa variável.

Outros estudos têm demonstrado também correlações positivas entre o nitrogênio utilizado e o conteúdo de clorofila (TEIXEIRA FILHO *et al.*, 2010; VIANA; KIEHL, 2010; FIOREZE; RODRIGUES, 2012).

Diferindo dos resultados do presente trabalho, Jordão *et al.* (2010), em estudos realizados com inoculação em milho e capim, notaram que houve efeito positivo da inoculação em plantas de milho com *Azospirillum brasilense*. A média da leitura do índice SPAD nos tratamentos com a presença da bactéria foi maior que a média dos tratamentos em que não houve inoculação, comprovando a eficiência desse micro-organismo em disponibilizar nitrogênio às plantas por meio da fixação biológica.

Maior número de folhas, perfilhos e panículas em plantas de trigo foi observado no tratamento com a adubação nitrogenada (Tabela 3).

**Tabela 3** - Número de folhas, perfilhos e panículas em plantas de trigo inoculadas com bactérias diazotróficas associativas.

Tratamentos	Número de folhas	Número de perfilhos	Número de panículas
Inoculante comercial	121,4 bc	37,2 b	23,2 b
MTaz8	116,8 bc	29,8 b	20,4 b
MTh2	102,4 c	29,0 b	19,4 b
MTb3	133,6 b	35,8 b	20,8 b
Controle N	178,2 a	57,4 a	43,2 a
CV (%)	11,84	16,22	20,4

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de significância de 0,05.

Considerando-se que as plantas adubadas com nitrogênio apresentaram a máxima produção obtida (100%), dentre os tratamentos de inoculação houve produção no número de folhas de 74,9% no tratamento MTb3. Contudo, para as variáveis número de perfilhos e panículas, verificaram-se percentuais de 64,8% e 53,7% respectivamente em plantas que receberam o inoculante comercial.

O nitrogênio exerce grande influência na produção de gramíneas. De acordo com estudos realizados por Fioreze (2011) e Espindula *et al.* (2010), este parâmetro está relacionado à disponibilidade do nitrogênio, que pode acarretar alterações no ciclo, capacidade de absorção, desenvolvimento da planta, limitando ou beneficiando características produtivas.

A inoculação com bactérias diazotróficas associativas tem exercido efeitos positivos para o trigo (VOGEL *et al.*, 2013) e para outras gramíneas como o arroz (GUIMARÃES *et al.*, 2007), *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (SANTOS, 2013) e *B. decumbens* cv. Decumbens (GUIMARÃES *et al.*, 2011).

Quanto à massa seca da parte aérea, foi observada diferença significativa entre os tratamentos, com maior produção em plantas adubadas com nitrogênio mineral. Não houve diferença para o acúmulo de massa seca de raízes (Tabela 4).

**Tabela 4** - Massa seca da parte aérea e de raízes em plantas de trigo inoculadas com bactérias diazotróficas associativas.

Tratamentos	Massa seca da parte aérea	Massa seca de raízes
Inoculante comercial	14,45 b	23,84 <sup>ns</sup>
MTaz8	15,23 b	25,87
MTh2	13,33 b	24,49
MTb3	15,73 b	24,29
Controle N	25,98 a	31,74
CV (%)	13,07	16,34

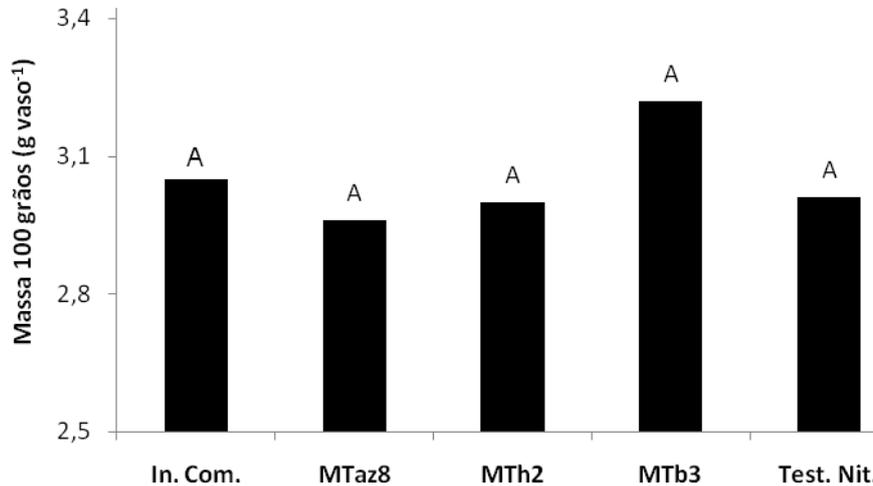
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey no nível de significância de 0,05. <sup>ns</sup> – não significativo.

Trabalhos conduzidos por Didonet *et al.* (2000) e Sala *et al.* (2008) indicam que doses e épocas de aplicação de nitrogênio afetaram de forma diferenciada o acúmulo de massa seca de panículas, apresentando benefícios quanto ao número, tamanho e peso em plantas de trigo. O aumento no número de folhas associado ao seu tamanho contribui para o aumento da área foliar, agindo positivamente na interceptação de energia solar incidente, promovendo, por conseguinte, maior assimilação de carbono, o qual pode contribuir significativamente para aumentar o acúmulo de massa seca pelas plantas (CRUZ *et al.*, 2003).

Para a massa seca da parte aérea, acréscimos nos valores, em função das doses de nitrogênio, foram encontrados na cultivar de trigo EMBRAPA-22, em dois anos de cultivo sucessivo (COELHO *et al.*, 1998). Sala *et al.* (2005) em experimento com trigo em condições de campo observaram incrementos na massa seca em plantas inoculadas com bactérias diazotróficas, comprovando os efeitos benéficos dessa associação para o trigo.

A variável massa de 100 grãos não apresentou diferença significativa. Contudo, o maior valor foi encontrado em plantas inoculadas com a estirpe MTb3, com incremento de aproximadamente 7% em comparação à controle nitrogenada (Figura 2).

**Figura 2** - Massa de 100 grãos de plantas de trigo inoculadas com bactérias diazotróficas associativas. In.Com = Inoculante Comercial recomendado para o trigo; MTaz8 = similar à *Azospirillum* spp.; MTh2 = *Bacillus* sp.; MTb3 = similar à *Burkholderia* spp.; Test.Nit. = controle nitrogenada.



O rendimento de grãos em plantas de trigo é determinado por vários fatores, como o número de panículas por planta, número de espiguetas por panícula, número de grãos e peso médio do grão, os quais dependem diretamente dos fatores de origem genética e do ambiente (CRUZ *et al.*, 2003).

Os resultados observados corroboram com os obtidos por Mendes *et al.* (2011) e Moura (2011), que em experimentos com trigo inoculado com *Azospirillum brasilense* os tratamentos submetidos à inoculação não se diferiram estatisticamente da controle nitrogenada para a massa de 1000 grãos.

A inoculação com bactérias diazotróficas associativas também tem apresentado efeitos benéficos em outras gramíneas para esta variável. Goes (2012), em experimento com arroz em condições de campo submetido à irrigação e analisando o teor de nitrogênio nos grãos, verificou que os maiores teores foram encontrados nos tratamentos associados às bactérias diazotróficas.

Estudos realizados por Baldani *et al.* (2000) mostraram que, em experimentos conduzidos em casa de vegetação, estirpes de *B. brasilensis* promoveram aumentos na produção de grãos de arroz que variaram entre 11% e 20% em relação a controle absoluto (sem adubação nitrogenada e sem a inoculação de bactérias diazotróficas), sugerindo a utilização dessa técnica como forma de substituição de parte do nitrogênio mineral que é empregado anualmente nas lavouras de arroz, trigo e outras gramíneas.

## Conclusão

As estirpes de bactérias diazotróficas associativas avaliadas neste estudo foram capazes de suprir parte da demanda de nitrogênio requerido pela cultura do trigo.

## Referências

- BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I.; DOBEREINER, J. Inoculation of rice plants with the endophytic diazotrophs *Herbaspirillum seropedicae* and *Burkholderia* spp. *Biology Fertility of Soils*. v. 30, p.485-491, 2000.
- BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A. da; CABRAL, C. E. A.; KROTH, B. E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico. *Revista Caatinga*, v.24, n.2, p.180-186, 2011.
- COELHO, M.A.O.; SOUZA, M.A.; SEDIYAMA, T.; RIBEIRO, A.C.; SEDIYAMA, T.; RIBEIRO, A.C.; SEDIYAMA, C.S. Respostas da produtividade de grãos e outras características agronômicas do trigo EMBRAPA-22 irrigado, ao nitrogênio em cobertura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 555-561, 1998.
- CRUZ, P. J., CARVALHO, F. I. F.; SILVA, S. A.; KUREK, A. J.; BARBIERI, R. L.; CARGNIN, A. Influência do acamamento sobre o rendimento de grãos e outros caracteres em trigo. *Revista Brasileira de Agrociências*, Pelotas, v. 9, n. 1, p. 05-08, 2003.
- DIDONET, D.A.; LIMA, O.S.; CANDATEN, M.H. ; RODRIGUES, O. Realocação de nitrogênio e de biomassa para os grãos, em trigo submetido à inoculação de *Azospirillum*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, p.401-411, 2000.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 2009. 2ª Ed. 412p., 2009
- ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, M. A. de; GROSSI, J. A. S.; SOUZA, L. T. de. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, p.1404-1411, 2010.
- FERREIRA, D. F. Programa Sisvarexe: Sistema de Análise de Variância. *Ciência agrotecnologia*, Lavras, v.35, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, J. S., MOREIRA L. Q., GIORI, F. G. e REIS, V. M. Avaliação de duas variedades de trigo inoculadas com bactérias diazotróficas na ausência ou presença de doses de N-fertilizante, em condições de casa de vegetação. Seropédica, RJ: EMBRAPA: *Boletim de pesquisa e desenvolvimento* 61, 2010.
- FIGUEIREDO, M. V. B., BURITY, H. A., STAMFORD, N. P., SANTOS, C. E. R. S. *Microrganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para agricultura*. Guaíba, RS: Agrolivros, 568p., 2008.
- FIOREZE, S. L.; RODRIGUES, J. D. Efeito da densidade de semeadura e de reguladores vegetais sobre os caracteres morfofisiológicos da folha bandeira do trigo. *Revista Brasileira Ciência Agrária*, Recife, v.7, n.1, p.89-96, 2012.

FIGLIAREZZA, L. S. *Comportamento produtivo do trigo em função da densidade de semeadura e da aplicação de reguladores vegetais*. 86 f. 2011 (Dissertação de mestrado). Botucatu: UNESP, 2011.

GUIMARÃES, S. L.; BALDANI, V. L. D.; JACOB-NETO, J. Viabilidade do inoculante turfoso produzido com bactérias associativas e molibdênio. *Revista Ciência Agronômica*, v. 44, n. 1, p. 10-15, 2013.

GUIMARÃES, S.L.; BONFIM-SILVA, E.M.; POLIZEL, A.C.; CAMPOS, T. S. Produção de capim marandu inoculado com *Azospirillum* spp. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, n.13, 2011.

MENDES, M. C.; ROSÁRIO, J. G. DO; FARIA, M. V.; ZOCHE, J. C.; WALTER, A. L. Avaliação da eficiência agrônômica de *Azospirillum brasilense* na cultura do trigo e os efeitos na qualidade de farinha. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v.4, p.95-102, 2011.

MOURA, R. S. *Lâminas de água, inoculação de sementes com Azospirillum brasilense e doses de nitrogênio em arroz terras altas*. 59f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

PAÍGA, P.; MORAIS, S.; OLIVA-TELES, T. *et al.* Extraction of ochratoxin A in bread samples by the QuEChERS methodology. *Food chemistry*, v. 135, n. 4, p. 2522-2528, 2012.

PIETRO-SOUZA, W.; BONFIM-SILVA, E. M.; SCHLICHTING, A. F.; SILVA, M. C. Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.6, p.575–580, 2013.

RODRIGUES NETO, J.; MALAVOLTA JÚNIOR, V.A.; VICTOR, O. Meio simples para isolamento e cultivo de *Xanthomonas campestris* pv. *citri* tipo B. *Summa Phytopathologica*, v.12, p.16, 1986.

SALA, V. M. R.; CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, J. G.; SILVEIRA, A. P. D. Novas bactérias diazotróficas endofíticas na cultura do trigo em Interação com adubação nitrogenada, no campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Brasília, v. 32, p. 1099-1106, 2008.

SALA, V. M. R.; FREITAS, S. S.; DONZELI, V. P.; FREITAS, J. G.; GALLO, P. B.; SILVEIRA, A. P. D. Ocorrência e efeito de bactérias diazotróficas em genótipos de trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:345-352, 2005

SALA, V. M. R.; CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, J. G.; SILVEIRA, A. P. D. Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.42, n.6, p. 833-842, 2007.

SANTOS, C. S. A. *Capim Marandu submetido à inoculação com bactérias diazotróficas associativas em Latossolo Vermelho de Cerrado*. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, 2013.

SOUSA, D. M. G., LOBATO, E. *Cerrado: Correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; SA, M.E.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, n.8, p.797-804, 2010.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 4, p975-982, 2010

VOGEL, G. F., MARTINKOSKI, L., MARTINS, P. J., BICHEL, A. Desempenho agrônômico de *Azospirillum brasilense* na cultura do arroz: uma revisão. *Revista Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 6, n. 3, p. 67-578, 2013.

ZAGONEL, J.; VENÂNCIO, W. S.; KUNZ, R. P.; TANAMATI, H. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.32, n.1, p.25-29, 2002.

# Hormesis de Glyphosate em *Brachiaria brizanta* cv. Marandu

Glyphosate hormesis in *Brachiaria brizanta* cv. marandú

---

Renan Fonseca Nascentes<sup>1</sup>; Evandro Binotto Fagan<sup>2</sup>; Luis Henrique Soares<sup>2</sup>;  
Cleiton Burnier de Oliveira<sup>3</sup>; Marcela Cristina Brunelli<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mestrando em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agrônomicas – Unesp/Botucatu. E-mail  
renan.nascentes@gmail.com

<sup>2</sup>Professor do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM.

<sup>3</sup>Pesquisador do Laboratório Farroupilha, Patos de Minas.

<sup>4</sup>Doutoranda em Agronomia pela Faculdade de Ciências Agrônomicas – Unesp/Botucatu.

---

**Resumo:** O glyphosate quando aplicado em baixas doses pode potencializar o crescimento e produtividade de plantas. Portanto, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito da aplicação de subdoses deste herbicida em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Foi utilizado delineamento em blocos ao acaso, sendo sete tratamentos compostos por subdoses de glyphosate (0; 3,6; 7,2; 14,2; 28,8; 57,6 e 115,2 g e.a ha<sup>-1</sup>) com quatro repetições. A aplicação foi realizada em pastagem já estabelecida utilizando um pulverizador costal com pressão constante mantida por CO<sub>2</sub> com um volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>. Avaliaram-se altura de plantas, produção de massa de matéria seca (PMS), taxa de crescimento da cultura (TCC), aos 15 e 30 dias após a aplicação (DAA). A produção de massa seca avaliada aos 15 e 30 proporcionou incremento em subdoses de 10,5 e 12,62 g e.a ha<sup>-1</sup> respectivamente. Para as variáveis altura e TCC avaliadas aos 15 e 30 DAA, as subdoses que acarretaram acréscimo foram de 16,04 e 21,34 para altura e 10,51 e 17,39 g e.a ha<sup>-1</sup> para TCC. A aplicação de glyphosate em subdoses foi responsável por aumento médio de 18,8% em todas as variáveis analisadas.

**Palavras-chave:** Forragem. Herbicida. Subdoses. Efeito hormético.

**Abstract:** The glyphosate when applied at low doses can increase the growth and plant productivity. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of low doses of this herbicide in *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. The experiment was arranged in randomized blocks design with five treatments composed of low doses of glyphosate (0; 3.6; 7.2; 14.2; 28.8; 57.6 and 115.2 g ha<sup>-1</sup>) and four replications. The application was made in pasture already established using a backpack sprayer with pressure maintained by CO<sub>2</sub> with a spray volume of 200 L ha<sup>-1</sup>. We evaluated: plant height, dry matter production (PMS), crop growth rate (TCC), volume density of forage (DVF) at 15 and 30 days after application (DAA). The dry matter production evaluated at 15 and 30 provided increment in doses of 10.5 and 12.62 g e.a ha<sup>-1</sup> respectively. For the tools

height and TCC evaluated at 15 and 30 DAA the doses that resulted increase were 16.04 and 21.34 for height and 10.51 and 17.39 g e.a ha<sup>-1</sup> for TCC. The application of glyphosate in doses accounted for an average increase of 18.8% for all variables.

**Keywords:** Forage. Herbicide. Low doses. Hormetic effect.

## Introdução

Hormesis vem do grego “*hormo*” que significa “excitar”, foi originalmente definido como um comportamento bifásico, no qual uma característica biológica é estimulada por baixas doses de um composto, mas inibida por altas doses do mesmo (BUKOWSKI; LEWIS, 2000; CALABRESE; BALDWIN, 2000; CALABRESE; BALDWIN, 2002). Alguns herbicidas são utilizados para essa finalidade, pois algumas moléculas foram desenvolvidas como reguladores vegetais (MOUSDALE; COGGINS, 1991).

O glyphosate é um herbicida sistêmico, utilizado no controle de plantas daninhas, na dessecação, e em culturas resistentes (VELINI *et al.*, 2010). Esse herbicida inibe a ação da enzima EPSPs (5-enolpiruvilchiquimato 3-fosfato sintase), associada à rota do ácido chiquímico. Dessa forma, impede a produção de aminoácidos essenciais como fenilalanina, tirosina e triptofano. Além de alguns metabólitos secundários como: lignina, antocianina, tanino, fitoalexina e alcaloides (TAN *et al.*, 2006; REDDY *et al.*, 2008; TAIZ e ZEIGER, 2013).

O efeito hormesis pode provocar diferentes respostas estimulatórias, que depende do produto químico que está sendo aplicado, da planta que está recebendo esse composto, e como ele age na morfologia e na fisiologia dessa planta. Alguns autores constataram o efeito de hormesis de glyphosate por meio do crescimento de plantas promovido por aplicações em concentrações subtóxicas do herbicida (SCHABENBERGER *et al.*, 1999; WAGNER *et al.*, 2003; CEDERGEEN *et al.*, 2007; CEDERGREEN, 2008; VELINI *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2009; BELZ *et al.*, 2011; CARVALHO *et al.*, 2013). Velini *et al.* (2008), em trabalhos com milho, soja convencional, trapoeraba (*Commelina benghalensis*), eucalipto e pinus; obtiveram resultados positivos de hormesis de glyphosate em doses variando de 1,8 a 36 g e.a ha<sup>-1</sup>.

No Brasil, a estimativa de áreas cobertas com pastagens de *Brachiaria* está em torno de 70 milhões de hectares, enquanto, apenas no cerrado, este valor é estimado em 40 milhões de hectares (IBGE, 2012). O país possui o maior rebanho comercial do mundo, é o maior exportador de carne bovina, segundo maior produtor de carne e sexto maior produtor de leite (MAPA, 2014). Nesse contexto, o estudo e produção de pastagem torna-se relevante, pois é a forma mais econômica e prática de produzir e oferecer alimentos para os bovinos.

Diante disso, o estudo de novas tecnologias que possibilite o aumento na produtividade e na qualidade de forragem se faz necessário. Para tanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos morfológicos da aplicação de subdoses de glyphosate em *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em pastagem já estabelecida no campo.

### Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido no período de fevereiro a março de 2012 na Escola Estadual Agrotécnica “Afonso Queiroz”, Campus Experimental do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM), em Patos de Minas-MG (18° 36' 39" S, 46° 29' 15" W a 815 m de altitude). O clima é classificado (Köppen), como tropical de altitude (Cwa), com precipitação média anual em torno de 1400 mm (SOUZA *et al.*, 2005), temperatura média anual de 21,1 °C, a máxima anual 27,8 °C e a mínima anual 16,3 °C, conforme dados da Estação Meteorológica de Sertãozinho (EPAMIG) - Patos de Minas, MG.

Utilizou-se a cultura da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu já estabelecida há 10 anos. Para correção e adubação, foi realizada a análise química e física do solo (Tabela 1). Antes da aplicação dos tratamentos (60 dias) foi aplicado calcário “filler” na dose de 530 kg ha<sup>-1</sup> a lanço, objetivando neutralizar o alumínio e fornecer Ca e Mg. Foi realizada adubação com 50 kg ha<sup>-1</sup> N na forma de Sulfato de Amônio e 40 kg ha<sup>-1</sup> de P, utilizando como fonte o Super Fosfato Simples, 7 dias antes da aplicação dos tratamentos (RIBEIRO *et al.*, 1999), momento em que também foi realizado o corte para uniformizar as plantas.

**Tabela 1** - Características físicas e químicas do solo.

pH	MO <sup>2</sup>	P-rem <sup>1</sup>	P <sup>3</sup>	K <sup>3</sup>	Ca <sup>4</sup>	Mg <sup>4</sup>	Al <sup>4</sup>	SB <sup>5</sup>
	dag kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			
5,58	3,14	17,44	3,83	288	1,93	1,51	0,38	4,18
H+Al <sup>6</sup>	CTC(t) <sup>7</sup>	CTC(T) <sup>8</sup>	m <sup>9</sup>	V <sup>10</sup>	Argila <sup>11</sup>	Silte <sup>11</sup>	Areia <sup>11</sup>	
-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			%		-----g kg <sup>-1</sup> -----			
7,87	4,56	12,05	8,34	34,66	458	344	198	

<sup>1</sup>P-rem: Fósforo remanescente; <sup>2</sup>MO: Matéria orgânica <sup>3</sup>P, K: Extrator Mehlich; <sup>4</sup>Ca, Mg, Al; Extrator KCl mol L; <sup>5</sup>SB: Soma de bases; <sup>6</sup>H+Al; Extrator SMP; <sup>7</sup>CTC(t): Capacidade de troca catiônica efetiva; <sup>8</sup>CTC(T): Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; <sup>9</sup>m: Saturação por alumínio; <sup>10</sup>V: Saturação por bases; <sup>11</sup>Textura: Método da pipeta.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram subdoses de glyphosate (360 g e.a L<sup>-1</sup>), correspondentes a 0; 3,6; 7,2; 14,8; 28,8; 57,6; e 115,2 g e.a ha<sup>-1</sup>. Cada parcela foi composta por 5 metros de comprimento e 4 m de largura, totalizando 20 m<sup>2</sup>. A aplicação do glyphosate foi realizada utilizando um pulverizador costal com pressão constante de 2,0 kgf cm<sup>-1</sup> mantida por CO<sub>2</sub> comprimido, munido de barra contendo uma ponta de jato plano tipo XR 110.02, proporcionando um volume de calda de 200 L ha<sup>-1</sup>.

As avaliações foram realizadas aos 15 e 30 dias após aplicação (DAA) dos tratamentos. A produção de massa de matéria seca (PMS, kg ha<sup>-1</sup>) foi estimada por meio do lançamento ao acaso de um quadrado de uma área útil de 1 m<sup>2</sup>, sendo as plantas cortadas rente ao solo. Em seguida, levadas para estufa de circulação forçada de ar a 60 °C até atingir peso constante. A altura da pastagem foi determinada medindo-se a altura das plantas em relação ao nível do solo. Com os dados de Altura e PMS (kg ha<sup>-1</sup>), foi possível estimar a densidade volumétrica da forragem (DVF, kg ha<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>), dividindo-se o PMS (kg ha<sup>-1</sup>) pela Altura (cm) respectiva das plantas. A taxa de crescimento da cultura (TCC) foi determinada de acordo com a equação 1 (BENINCASA, 2003).

$$TCC = \frac{FS_2 - FS_1}{ND} \quad [1]$$

em que: TCC é a taxa de crescimento da cultura (g ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), FS<sub>2</sub> é a fitomassa seca na segunda época de avaliação (kg ha<sup>-1</sup>), FS<sub>1</sub> é a fitomassa seca na primeira época de avaliação (kg ha<sup>-1</sup>), ND é o número de dias de crescimento das plantas.

Na análise estatística foi ajustado o modelo de regressão não linear para todos os dados analisados de acordo com Carvalho *et al.* (2013) equação 2, com auxílio do software estatístico Sigmaplot 12.5.

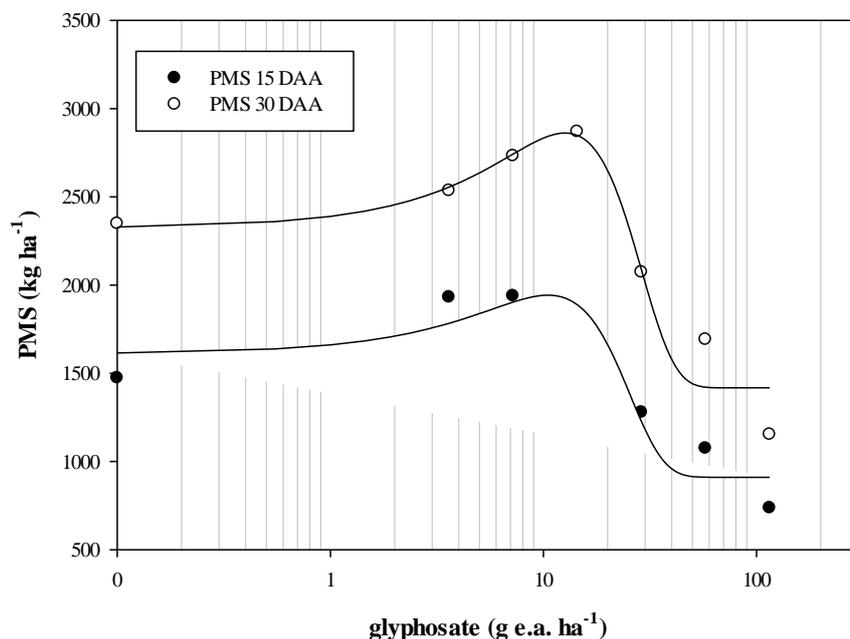
$$y = y_0 + a^{-0,50 \frac{x-x_0}{b}^2} \quad [2]$$

Onde: y = característica avaliada em resposta às doses de glyphosate; y<sub>0</sub> = menor valor; a = diferença entre y<sub>0</sub> e o máximo valor de y; x<sub>0</sub> = dose que promove o maior estímulo da característica; b = desvio padrão em x<sub>0</sub>.

## Resultados e Discussão

A subdose de glyphosate de 10,5 g e.a ha<sup>-1</sup> aos 15 DAA proporcionou incremento na produção de matéria seca de 31,8% em relação ao controle. Esse valor corresponde a uma produção máxima de 1943,1 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca (Figura 1). Aos 30 DAA, a subdose de glyphosate que acarretou em aumento na matéria seca, foi de 12,62 g e.a ha<sup>-1</sup> (Figura 1) correspondendo a um aumento 21,8% em relação ao controle. Desta forma a produção máxima de massa seca aos 30 DAA foi 2862,2 kg ha<sup>-1</sup>. Em ambas as avaliações notou-se que o glyphosate evidenciou o efeito herbicida em doses acima dos valores citados.

**Figura 1** - Produção de massa seca de *Brachiaria brizantha* cv.



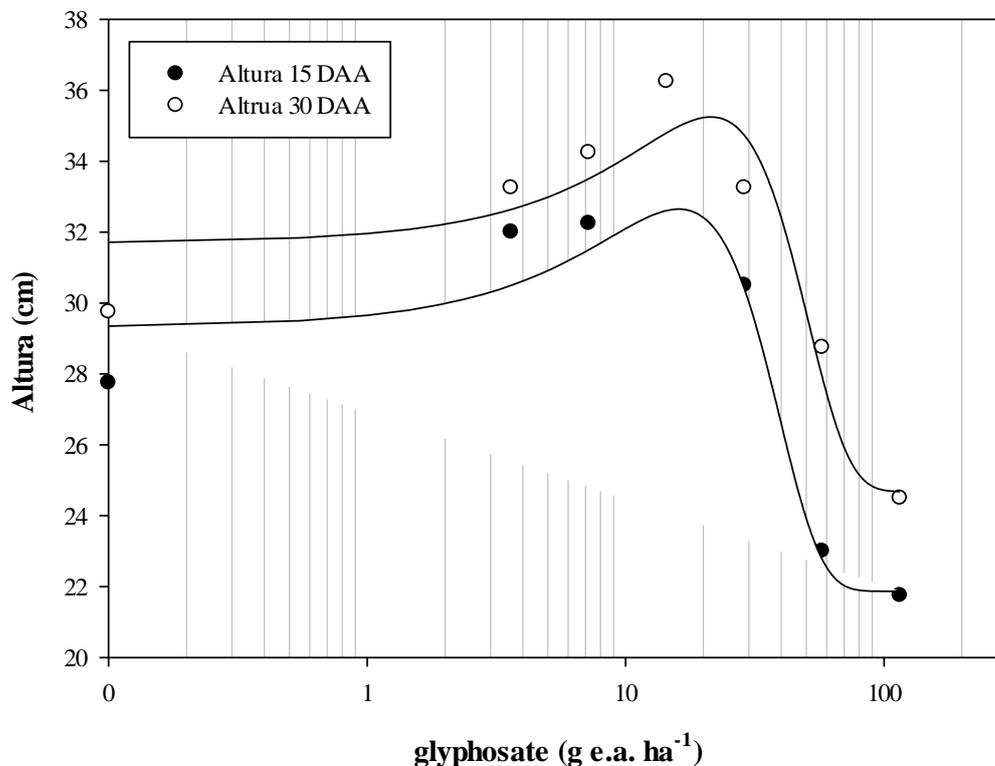
Marandu após a aplicação de subdoses de glyphosate, aos 15 DAA (●), equação:  $Y = 910,49 + 1032,62 \cdot \exp(-0,5 \cdot ((x-12,51)/-11,90)^2)$ ,  $R^2=0,9141$ . E aos 30 DAA (○), equação:  $Y = 1417,2 + 1445,07 \cdot \exp(-0,5 \cdot ((x-12,62)/-13,06)^2)$ ,  $R^2=0,9353$ . Patos de Minas, MG, 2015.

Resultados semelhantes foram encontrados em estudos com diferentes espécies. Trabalhando com algodão (*Gossypium hirsutum*), Furlani Junior *et al.* (2009) observaram incremento em produtividade na subdose de 23 g e.a ha<sup>-1</sup>. Silva *et al.* (2012), verificaram incremento na massa de 100 grãos de feijão até a dose de 20 g e.a ha<sup>-1</sup>. Velini *et al.* (2008) mostraram que, em média, o crescimento de milho (*Zea mays*), soja convencional (*Glycine max*), eucalipto (*Eucalyptus grandis*), pinus (*Pinus caribea*), e *Commelina benghalensis* foi estimulado por doses variando entre 1,8 a 36 g e.a ha<sup>-1</sup>, sendo que a dose ótima para estimular o crescimento variou entre espécies.

A produção de matéria seca da forragem influencia de forma direta a taxa de lotação de animais por hectare (AGUIAR, *et al.*, 2006). Isso porque, para que os animais incorporem maior quantidade de massa dia<sup>-1</sup>, é necessário que estes consigam pastejar seletivamente, ingerindo a quantidade máxima de pasto, o que é influenciado diretamente pela quantidade de matéria seca ofertada (ANDRADE *et al.*, 2006; BARIONI; FERREIRA, 2007). Assim, o acréscimo no acúmulo de matéria seca permite a utilização de maiores taxas de lotações de animais por área.

Altura de plantas avaliada aos 15 DAA foi observada que a subdose de 16,04 g e.a ha<sup>-1</sup> proporcionou altura máxima de 32,6 cm (Figura 2), correspondendo a um aumento de 17,4% em relação ao controle. Aos 30 DAA, a subdose de 21,34 g e.a ha<sup>-1</sup> promoveu altura máxima de 35,2 cm (Figura 2), valor este que corresponde ao acréscimo de 9,5% em relação ao controle. Em ambas as avaliações os resultados puderam comprovar hormesis de glyphosate, entretanto subdoses acima de 15,7 e 16,2 g e.a ha<sup>-1</sup>, aos 15 e 30 DAA respectivamente, reduziram a altura.

**Figura 2** - Altura de plantas (cm) de *Brachiaria brizantha* cv.



Marandu após a aplicação de subdoses de glyphosate, aos 15 DAA (●), equação:  $y = 21,86 + 10,78 \cdot \exp(-0,5 \cdot ((x - 16,04) / -18,64)^2)$ ,  $R^2 = 0,9472$ . E aos 30 DAA (○), equação:  $y = 24,67 + 10,57 \cdot \exp(-0,5 \cdot ((x - 21,34) / -23,57)^2)$ ,  $R^2 = 0,8974$ . Patos de Minas, MG, 2015.

Os resultados corroboram com Silva *et al.* (2009) ao constatarem que subdoses abaixo de 18 g e.a. ha<sup>-1</sup> ocasionaram aumento em altura, e subdoses acima desse valor causaram reduções na altura de perfilhos em cana-de-açúcar. Em estudos com eucalipto (*Eucalyptus grandis*), Carbonari *et al.* (2007) constataram que a subdose de 3,6 g e.a. ha<sup>-1</sup> estimulou o crescimento, promovendo maior número de ramos laterais; reafirmando que a subdose ideal de glyphosate varia de acordo com a cultura.

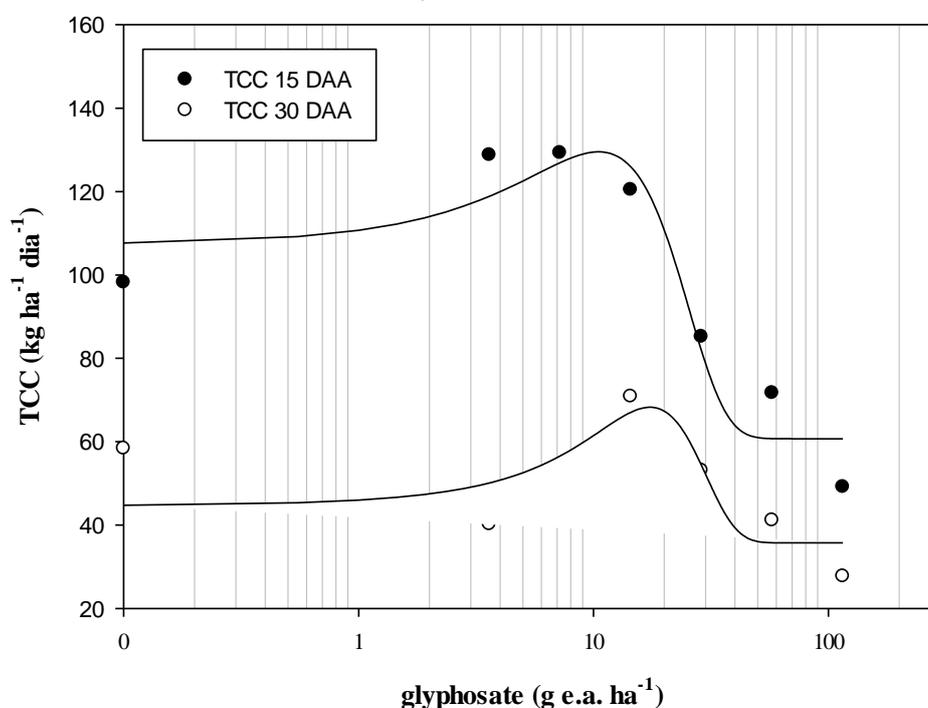
A altura é uma das características que determinam o ponto de pastejo ideal. Segundo Andrade *et al.* (2012), essa variável é fácil de ser avaliada no campo e apresenta alto nível de correlação com o nível de auto-sombreamento e produção de massa seca em pastagem. Para *Brachiaria brizantha*, dados da literatura revelam que a altura ideal para a entrada dos animais no piquete situa-se em torno de 30 cm (GOMIDE *et al.*, 2001). Dessa forma, a obtenção da altura ideal para pastejo em menor tempo pode aumentar o número de ciclos de pastejo em um determinado período.

O acúmulo de massa seca e crescimento de plantas pode estar relacionado com o sítio de ação do glyphosate, pois ele interfere diretamente na rota do ácido chiquímico atuando na enzima EPSPs. Aproximadamente 20% de todo carbono assimilado pela planta passa por esta rota, alterando, assim, o processo metabólico (MESCHÉDE *et al.*, 2009). Subdoses deste herbicida são suficientes para diminuir a

ação da enzima EPSPs, modificando de forma significativa o transporte de carbono destinado à rota do ácido chiquímico. Dessa maneira, o carbono pode ser direcionado ao crescimento.

A taxa de crescimento da cultura (TCC  $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) avaliada aos 15 DAA apresentou a máxima de  $129,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  para a dose de  $10,51 \text{ g e.a ha}^{-1}$  (Figura 3), que corresponde a um aumento de 31,8% em relação a plantas controle. Em avaliação realizada aos 30 DAA a subdose de  $17,39 \text{ g e.a ha}^{-1}$  apresentou uma TCC de  $68,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  que equivale a 16,8% de incremento na TCC. Dessa forma, a maior TCC encontrada está relacionada de forma direta com o aumento da produção de massa seca e altura de plantas. Segundo Benincasa (2003), a TCC é importante por fornecer uma ideia da velocidade média de acúmulo de massa seca ao longo do período de observação. Subdoses acima da taxa máxima evidenciaram o efeito herbicida do glyphosate diminuindo a TCC.

**Figura 3** - Taxa de crescimento (TCC,  $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) de *Brachiaria brizantha* cv.



Marandu após a aplicação de subdoses de glyphosate, aos 15 DAA (●), equação:  $y = 60,69 + 68,84 \cdot \exp(-0,5 \cdot ((x - 10,51) / -11,90)^2)$ ,  $R^2 = 0,9141$ . E aos 30 DAA (○), equação:  $y = 35,73 + 32,52 \cdot \exp(-0,5 \cdot ((x - 17,39) / -10,78)^2)$ ,  $R^2 = 0,6578$ . Patos de Minas, MG, 2015.

Outro fato relatado na literatura, porém não analisado neste estudo, é o aumento na taxa de absorção e acúmulo de fósforo. A absorção de fósforo em plantas de eucalipto, soja e cana-de-açúcar foi influenciada de forma positiva pela aplicação de subdoses de glyphosate (GODOY, 2007; CARBONARI et. al, 2007). Carbonari *et al.* (2007) verificaram que o glyphosate em subdoses em torno de  $1,8 \text{ g e.a ha}^{-1}$  promoveram importantes ganhos na absorção e acúmulo de fósforo nas folhas de eucalipto, independente do nível de fósforo no solo. Dessa forma, no presente trabalho, as subdoses de glyphosate podem ter aumentado a disponibilidade do fósforo,

consequentemente o acúmulo de matéria seca e aumento em altura, culminando no incremento da taxa de crescimento da cultura e densidade volumétrica de forragem das plantas de *Brachiaria brizantha*.

## Conclusão

A aplicação de subdoses glyphosate aumenta a produção de matéria seca, altura de plantas e taxa de crescimento da cultura de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, sendo que a melhor dose variou para cada variável analisada.

## Referências

AGUIAR, A. D.; SANTOS, P. M.; BALSALOBRE, M. A. A. Avaliação da influencia da suplementação alimentar sobre a estimativa da taxa de lotação animal em pastagens. *Comunicado Técnico 64*. São Carlos. 2006.

ANDRADE, A.S.; DRUMOND, L.C.D.; APPELT, M.F.; MOREIRA, D.D.; ARAÚJO, F.C. DE, GOOD GOD, P.I.V. Crescimento e composição bromatológica de Tifton 85 e Vaquero em pastagens fertirrigadas. *Global Science and Technology*, v.5, p.56-68, 2012.

BARIONI, L. G.; FERREIRA, A. C. *Monitoramento da massa de forragem e altura para ajustes de taxa de lotação em fazenda agropecuária na região do Cerrado*. Embrapa Cerrados, 2007.

BELZ, R.G.; CEDERGREEN, N.; DUKE, S.O. Herbicide hormesis – can it be useful in crop production? *Weed Research*. v,51, p.321-332, 2011.

BENINCASA, M. M. P. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. 2. ed. Funep, Jaboticabal, Brasil, 2003. 41p.

BUKOWSKI, J. A.; LEWIS, R. J. Hormesis and health: a little of what you fancy may be good for you. *Southern medical journal*, v. 93, n. 4, p. 371-374, 2000.

CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Defining hormesis. *Human e Experimental Toxicology*, v. 21, n. 2, p. 91-97, 2002.

CALABRESE, E.J.; BALDWIN, L.A. History of chemical hormesis. *Human and Experimental Toxicology*, v. 19, p. 2-31, 2000.

CARBONARI, C.A.; MESCHEDÉ, D.K.; VELINI, E.D. Efeitos da aplicação de glyphosate no crescimento inicial de mudas de eucalipto submetidas a dois níveis de adubação fosfatada. In: Simpósio internacional sobre GLYPHOSATE, 1., 2007, Botucatu, SP. *Anais...* Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 2007. v.1. 342p. p.68-70.

CARVALHO, L.B.; ALVES, P.L.C.A.; DUKE, S.O. Hormesis with glyphosate depends on coffee growth stage. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 85, n. 2, p. 813-822, 2013.

CEDERGREEN, N. Is the growth stimulation by low doses of glyphosate sustained over time? *Environmental Pollution*, v.156, p.1099-1104, 2008.

CEDERGREEN, N.; STREIBIG, J.C.; KUDSK, P.; MATHIASSEN, S.K.; DUKE, S.O. The occurrence of hormesis in plants and algae. *Dose-Response*, v.5, p.150-162, 2007.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais-5ª aproximação*, 1999.

COOLEY, P. D. Effects of plant growth rate and leaf lifetime on the amount and type of anti-herbivore defense. *Oecologia*, v. 74, p. 531-536, 1988.

DAVIS, K. R.; HAHLBROCK, K. Induction of defense responses in cultured parsley cells by plant cell wall fragments. *Plant Physiology*, n. 84, n. 4, p. 1286, 1987.

DENIS, M.H; DELROT, S. Carrier-mediated uptake of glyphosate in broad bean (*Vicia faba*) via a phosphate transporter. *Physiologia Plantarum*, v. 87, n. 4, p. 569-575, 1993.

DUKE, S.O.; CEDERGREEN, N.; VELINI, E.D.; BELZ, R.G. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy?. *Outlooks on Pest Management*, v. 17, n. 1, p. 29-33, 2006.

FURLANI JUNIOR, E. *et al.* Efeito de subdoses de glyphosate na produtividade do algodoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura brasileira e expansão dos mercados: *Anais...* Campina grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 1295-300.

GODOY, M. C. *Efeitos do glyphosate sobre o crescimento e absorção de fosforo pela soja*. 2007. 43p. Dissertação (Mestrado em Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Botucatu.

GOMIDE, J.A.; GOMIDE, C.A.M. de. Utilização e Manejo de Pastagens. In: MATTOS, W.E.S.; FARIA, V.P. de; SILVA, S.C. da; NUSSIO, J.C. de. *A produção Animal na visão dos brasileiros*. Piracicaba: FEALQ, 2001, p.808-825.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Agropecuário 2006 Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação Segunda Apuração*. Rio de Janeiro, 2012. 774p.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Plano mais pecuária*. Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília, 32 p. 2014.

MESCHEDE D. K.; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D.; SANOMYA, R. Efeitos de baixas doses de glyphosate na nutrição de plantas. In: VELINI, E. D.; MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. T. *Glyphosate*. Botucatu: FEPAF, 2009.

MOUSDALE, D. M.; COGGINS, J. R. Amino acid synthesis. In: KIRKWOOD, R. C. *Target sites for herbicide action*. New York: Premium Press, 1991.

REDDY, K.N.; RIMANDO, A.M.; NANDULA, V.K. Aminomethylphosphonic acid accumulation in plant species treated with glyphosate. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 56, n. 6, p. 2125-2130, 2008.

SCHABENBERGER, O.; KELLS, J.J.; PENNER, D. Statistical tests for hormesis and effective dosage in herbicide dose-response. *Agronomy Journal*, v.91, p.713-721, 1999.

SILVA, J. C., ARF, O.; GERLACH, G.A.X.; KURYIAMA, C.S.; RODRIGUES, R.A.F. Efeito hormese de glyphosate em feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. V. 42, n. 3, p. 295-302, 2012.

SILVA, M. de A.; ARAGÃO, N. C.; BARBOSA, M. de A.; JERONIMO, E. M.; CARLIN, S. D.; Efeito hormótico de glyphosate no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. *Bragantia*, v.68, n.4, p.973-978, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TAN, S.; EVANS, R.; SINGH, B. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. *Amino acids*, v. 30, n. 2, p. 195-204, 2006.

VELINI, E. D.; ALVES, E.; GODOY, M.C.; MESCHEDE, D.K., SOUZA, R.T., DUKE, S.O. Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. *Pest management science*, Londres. v. 64, p. 489-496, 2008.

VELINI, E. D.; MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. T. Modo de ação do glyphosate. In: VELINI, E. D.; MESCHEDE, D. K.; CARBONARI, C. A.; TRINDADE, M. L. B. T. *Glyphosate*. Botucatu: FEPAF, 2009.

VELINI, E.D.; TRINDADE, M.L.B; BARBERIS, L.R.M; DUKE, S.O. Growth Regulation and Other Secondary Effects of Herbicides. *Weed Science*, v.58, n.3, p.351-354. 2010.

WAGNER, R.; KOGAN, M.; PARADA, A.M. Phytotoxic activity or root absorbed glyphosate on corn seedlings (*Zea mays* L.). *Weed Biology and Management*, v.3, p.223-232, 2003.

# Cultivo de milho em diferentes sistemas integrados de manejo de um Latossolo Amarelo

Maize in different integrated management systems of a Yellow Oxisoil

*Arystides Resende Silva<sup>1</sup>; Agust Sales<sup>2</sup>; Carlos Alberto Costa Veloso<sup>1</sup>, Eduardo Jorge Maklouf Carvalho<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Amazônia Oriental.  
E-mail: arystides.silva@embrapa.br; carlos.veloso@embrapa.br; eduardo.maklouf@embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Pará, curso de Engenharia Florestal

**Resumo:** O presente estudo objetivou avaliar o desenvolvimento do milho BRS 1055 em diferentes sistemas integrados de manejo de um Latossolo Amarelo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por três cultivos de milho, em sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) (consorciado com *Brachiaria ruziziensis* e intercalado com mogno africano), sistema Santa Fé (cultivo integrado com *Brachiaria ruziziensis*) e como testemunha um cultivo em sistema Convencional. Foi realizada a determinação da altura (m) de planta e espiga do milho, teor de umidade dos grãos (%), produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), estande de plantas (número de plantas ha<sup>-1</sup>). As variáveis altura de planta e altura de espiga não apresentaram diferença significativa em função dos sistemas utilizados. Em relação à produtividade de grãos, os sistemas iLPF e Santa Fé obtiveram os maiores valores de produção (kg ha<sup>-1</sup>), não diferindo entre si. Notou-se que os sistemas iLPF e Santa Fé proporcionaram maior produção por indivíduo, sendo cerca de 38% superior à obtida no sistema Convencional. A *Brachiaria ruziziensis* consorciada com milho favoreceu o aumento na produção de grãos por área e por indivíduo em comparação ao sistema Convencional.

**Palavras-chave:** Características agrônômicas. Produção de grãos. Sistemas integrados.

**Abstract:** This study aimed to evaluate the development of the BRS 1055 corn in different integrated management of Oxisoil systems. The experimental design was a randomized complete block design with four replications. The treatments consisted of three corn crops in Crop-Livestock-Forest integration system (iLPF) (intercropped with *Brachiaria ruziziensis* and intercalated with African mahogany), Santa Fé system (integrated cultivation with *Brachiaria ruziziensis*) and as a witness a crop in conventional system. It was performed to determine the height (m) plant and cob of corn, grain moisture content (%), grain yield (kg ha<sup>-1</sup>), plant stand (number of plants ha<sup>-1</sup>). The variables plant height and tenon height showed significant differences in function of the systems used. Regarding grain yield, the iLPF systems and Santa Fé had the highest production values (kg ha<sup>-1</sup>) and did not differ among themselves. It was noted that the iLPF and Santa Fe systems provided greater production per individual; it is about 38% higher than in the conventional system. The *Brachiaria ruziziensis* consortium with

corn favored the increase in grain production by area and by individual when compared to the conventional system.

**Keywords:** Agronomic characteristics. Grain production. Integrated systems.

## Introdução

A cultura do milho está entre os componentes agrícolas mais cultivados no mundo. O Brasil possui participação de 7,5%, sendo o terceiro maior produtor mundial, ficando atrás da China e Estados Unidos (EMBRAPA, 2013). No Brasil, o segundo cereal mais cultivado é o milho, estima-se 15,1 milhões de hectares e 79 milhões de toneladas de produção (CONAB, 2015).

Apresenta grande importância na formação da renda agrícola, é matéria prima na indústria e, em razão da sua composição nutricional, contribui na alimentação humana e animal entrando como componente básico (SANTOS, 2010). Sendo assim, a utilização de sistemas e novas técnicas de manejo do solo que torne seu cultivo social e ambientalmente sustentável é de fundamental importância.

O uso de sistemas integrados reflete positivamente nos atributos do solo aumentando a reciclagem de nutrientes e os teores de matéria orgânica e nutrientes no solo, devido à grande produção de matéria orgânica e elevado volume de raízes em profundidade (CRUSCIOL; BORGHI, 2007; CALONEGO *et al.*, 2011a). Permite, assim, maior produção por área ao produtor do que o monocultivo (BRINTHA; SERAN, 2009; GUEDES *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2011).

Dentre as alternativas de sistemas integrados, o sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) possibilita, de modo sustentável, uma maior produção por área por meio do cultivo consorciado em sucessão de rotação, potencializando os efeitos sinérgicos entre as espécies vegetais e a criação de animais (BALBINO *et al.*, 2011). O sistema iLPF beneficia as interações biológicas entre os cultivos agrícolas, árvores e animais e diminui os efeitos da erosão, mantendo ou elevando os estoques de matéria orgânica quando comparado com outros modelos agrícolas (MOLUA, 2005; AGUIAR *et al.*, 2010).

O sistema Santa Fé destaca-se também pelo cultivo de grãos, especialmente o milho, consorciado com forrageiras, principalmente as do gênero *Brachiaria*. O sistema é realizado anualmente, a forragem pode ser semeada simultaneamente à cultura anual ou entre 10 a 20 dias após a emergência da mesma. O cronograma de atividades do produtor não sofre alteração e não necessita de maquinário e implementos especializados para a implantação (SOUZA *et al.*, 2008).

O grande desenvolvimento inicial das culturas anuais exerce alta competição sobre as forrageiras, sendo assim, evita a redução da capacidade de produção dos grãos favorecendo o aumento da produção de grãos, fibras, carne, leite, madeira e de agroenergia a baixos custos em função da energia sinérgica criada entre pastagem, lavoura e árvores. O solo é manejado de forma sustentável e viável economicamente quando relacionado aos modelos mais especializados (NASCIMENTO; CARVALHO, 2011). Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento do

milho BRS 1055 em diferentes sistemas integrados de manejo de um Latossolo Amarelo.

## Material e Métodos

O estudo foi realizado na Fazenda Vitória, município de Paragominas, PA (altitude de 89 metros a 02°57'29,47" S de latitude e 47°23'10,37" W de longitude). O clima da região é do tipo Aw, pela classificação de Koppen. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo textura argilosa (EMBRAPA, 2006), sendo as características químicas e granulométricas analisadas antes da implantação do experimento nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, utilizando a metodologia da EMBRAPA (1997), exceto a matéria orgânica (MO) que foi determinada pelo método de Walkley e Black, proposto em Black (1965) (Tabela 1).

**Tabela 1** - Características<sup>1</sup> química e granulométricas da área experimental nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, Fazenda Vitória, Paragominas-PA, 2012.

Prof. (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. (dag. kg <sup>-1</sup> )	P (mg. kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	K	Al	H+Al	Areia	Silte	Argila
				cmolc.dm <sup>-3</sup>					g.kg <sup>-1</sup>		
0-10	5,88	2,54	5,67	3,88	1,22	0,46	0,10	3,74	56	284	660
10-20	6,27	1,82	9,17	4,80	1,13	0,24	0,10	2,34	43	232	725

<sup>1</sup>Análises realizadas no laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental. MO = Matéria Orgânica; P = Fósforo; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; K = Potássio; Al = Alumínio; H+Al = Hidrogênio + Alumínio.

A precipitação média anual é de 1743 mm. A temperatura média anual varia entre 23,3°C a 27,3°C e a umidade relativa do ar apresenta média anual de 81%. Os dados meteorológicos referentes ao período de condução do estudo estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2** - Precipitação, umidade relativa (UR) e temperatura média durante a realização do experimento, Paragominas-Pa, 2012.

Dados	Fev/2012	Mar/2012	Abr/2012	Mai/2012	Jun/2012	Jul/2012
Precipitação (mm)	433	313	278	153	67	55
Temperatura média (°C)	25,3	25,6	25,5	25,4	25,8	25,9
UR (%)	87,0	89,0	88,0	90,5	83,0	80,5

Fonte: Inmet (2015).

O experimento foi composto por um sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) instalado em fevereiro de 2009, ocupando uma área de 4,05 ha com cultivo de milho (BRS 1030) em consórcio com *Brachiaria ruziziensis* e intercalado com renques de mogno africano (*Khaya ivorensis*). Para o arranjo espacial das árvores,

empregou-se o plantio em renques, cada uma com 2 linhas, no espaçamento 5 x 5 m. A distância entre renques foi de 20 m, o que totalizou 28% por ha da área ocupada pelas faixas dos renques e densidade de 160 árvores ha<sup>-1</sup>.

Foi realizado o plantio do mogno africano com aplicação 300g de fosfato Arad e 100g de super fosfato simples por cova. A adubação de cobertura foi realizada em maio de 2009, após o coroamento das mudas, com 60 g de ureia e 40g de KCl por planta. No período de 2009 a 2011, realizaram-se cultivos anuais de milho (2009/2010), soja (2010/2011) e milho (2011/2012), todos consorciados com *Brachiaria ruziziensis* e intercalado com mogno africano (*Khaya ivorensis*). Avaliou-se também um sistema Santa Fé manejado com cultivo de milho em consórcio com *Brachiaria ruziziensis* em 5 ha e um sistema Convencional (3 ha).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por três cultivos de milho (BRS 1055), em sistema iLPF (consorciado com *Brachiaria ruziziensis* e intercalado com mogno africano), sistema Santa Fé (cultivo integrado com *Brachiaria ruziziensis*) e como controle um cultivo em sistema Convencional.

No mês fevereiro de 2012, foi realizado o plantio do milho BRS 1055 em linhas no espaçamento 0,60 m, após aplicação de glifosato, com adubação de base de 330 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 10-28-20. Em março e maio, foram realizadas adubações de cobertura com 200 kg ha<sup>-1</sup> (Uréia + KCl, 2:1) e 180 kg (Uréia + KCl, 2:1), respectivamente. Em maio de 2012, foi semeada nos sistemas iLPF e Santa Fé a *Brachiaria ruziziensis* (20 kg ha<sup>-1</sup>). A colheita do milho foi realizada mecanicamente em julho de 2012.

A avaliação do milho foi realizada por meio da coleta de amostras em três linhas de 5 metros lineares por faixa (área útil da parcela 10,5 m<sup>2</sup>), sendo determinados altura (m) de planta; teor de umidade dos grãos (%); produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>); estande de plantas (número de plantas ha<sup>-1</sup>).

Os resultados foram submetidos à análise de variância através do programa estatístico SISVAR® e quando significativo as médias foram comparadas pelo teste de Tukey p<0,05 (FERREIRA, 2011).

## Resultados e Discussão

A variável altura de planta não apresentou diferença significativa em função dos sistemas utilizados, sendo 2,43 m a média para altura de planta com valor mínimo de 2,32 m para o sistema Santa Fé e valor máximo de 2,60 m para o sistema iLPF. (Tabela 3).

**Tabela 3** - Características agronômicas e produtividade do milho BRS 1055 em sistema iLPF, Santa Fé e Convencional.

Sistemas*	Altura planta (m)	Umidade colheita (%)	Produtividade (kg.ha <sup>-1</sup> )	Estande (planta.ha <sup>-1</sup> )
iLPF	2,60 a	33,6 a	6510,73 a	38938 b
Santa Fé	2,32 a	35,3 a	7213,67 a	50663 a
Convencional	2,36 a	34,9 a	3479,55 b	36946 b
CV(%)	6,75	3,53	11,45	9,52

\*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

Os valores de altura de planta apresentaram coeficiente de variação (CV) de 6,75% e 11,45% para a produção de grãos (kg.ha<sup>-1</sup>). A precisão experimental calculada pelo CV foi considerada dentro da normalidade, pois segundo BRASIL (2012), na cultura do milho, só devem ser considerados os experimentos cujos coeficientes de variação experimental (CV) sejam inferiores ou iguais a 20%.

Corroborando com os CV obtidos por Ramella *et al.* (2013), em estudo em que avaliaram a influência de quatro densidades de semeadura de *Brachiaria brizantha* na modalidade de consorciação com a cultura do milho, apresentaram resultados de CV inferiores a 20% para estas variáveis na cultura, sendo CV de 3,21% (altura de planta) e 5,49% (produtividade de grãos).

Com relação à produtividade de grãos, os sistemas iLPF e Santa Fé apresentaram os maiores valores de produção (kg ha<sup>-1</sup>), não diferindo entre si. Verificou-se que os sistemas iLPF e Santa Fé proporcionaram maior produção por indivíduo calculando a produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) em razão do estande (plantas ha<sup>-1</sup>), ou seja, em torno de 0,15 kg planta<sup>-1</sup>, sendo essa produção cerca de 40% superior à obtida no sistema Convencional (Tabela 3).

Segundo Calonego *et al.* (2011b), em determinada área o plantio de menores populações de plantas induz à redução da eficiência da radiação solar, possibilitando aumento na produção de grãos por indivíduo, porém, reduz a produtividade por área. Por outro lado, maiores populações proporcionam maior produção por área e redução na produtividade por planta. A não diferença na produtividade de grãos entre os sistemas iLPF e Santa Fé, mesmo com diferença significativa de população (Tabela 3), pode ser explicado pelo fato de não apresentarem populações superiores a 60.000 planta ha<sup>-1</sup>, visto que populações acima deste valor tendem à redução na produtividade (UBERT *et al.*, 2014).

No período da colheita da cultura de milho no sistema iLPF, as árvores de mogno africano apresentavam altura média de 4,94 m, ou seja, cerca de 90% superior à altura média do milho (2,60), demonstrando que os renques de árvores exerceram sombreamento sobre o milho. Contudo, mesmo o mogno africano possuindo características de copa densa e folhas com 5-18 cm de comprimento e 2-6 cm de largura (FALESI, 1999), essa semelhante produtividade de grãos com o sistema Santa Fé pode estar relacionada com o espaçamento de plantio de 5 x 5 m e a baixa altura da espécie arbórea (no período de cultivo do milho) em razão de proporcionar pouco sombreamento no cultivo de milho.

No estudo de Alves *et al.* (2013), em que avaliaram a composição morfológica de híbridos de milho safrinha, cultivados no sistema solteiro e consorciado com *B. ruziziensis* apresentaram produtividade de grãos de 5.174 kg ha<sup>-1</sup> rendimento inferior ao obtido no presente estudo. A média de produtividade de grãos entre os sistemas iLPF e Santa Fé (6.862 kg ha<sup>-1</sup>) foi superior à média estadual e nacional da safra 2014/15 (2.841 e 5.208 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente) (CONAB, 2015). Essa superior produtividade provavelmente está relacionada aos elevados números de precipitações (Tabela 2), pois proporcionaram bom desenvolvimento à cultura do milho devido à diminuição na competição por água (BERGAMASCHI *et al.*, 2004).

O espaçamento entre linhas (0,6 m) utilizado no plantio de milho em razão do consórcio com forragem nos sistemas iLPF e Santa Fé resultou em maior produção de grãos por área e por planta em função do milho exercer alta competição sobre a forragem, auxiliando no aumento da produção de grãos (KLUTHCOUSKI *et al.*, 2000). Notou-se que a forragem não afetou o desenvolvimento do milho, visto que a *Brachiaria* apresenta crescimento inicial lento (VALLE; PAGLIARINI, 2009) e as plântulas de milho crescimento inicial rápido. De acordo com Barducci *et al.* (2009), o cultivo de milho não sofre perda de produtividade de grãos quando consorciado com forrageiras perenes, sendo confirmado neste estudo.

O cultivo da *Brachiaria ruziziensis* em consórcio com milho auxiliou no combate aos riscos de erosão e compactação do solo pela chuva. Esse sucesso na utilização das *Brachiarias* ocorre em razão de seu sistema radicular apresentar em média 2,0 m de profundidade, de possuir excelente resistência à escassez hídrica, quando comparadas com espécies produtoras de grãos, e por produzir alta quantidade de massa seca em torno de 20 t ha<sup>-1</sup> (FERREIRA *et al.*, 2010; CRUSCIOL *et al.*, 2012).

Os renques de mogno africano agregaram valor à área devido essa espécie florestal possuir bom desenvolvimento nestes sistemas, boa resistência às pragas e alto valor da madeira no mercado (RECH, 2006), além de diversificar a renda do produtor em longo prazo (MARTHA Jr. *et al.*, 2011). Os sistemas iLPF e Santa Fé auxiliaram no uso sustentável do solo reduzindo a necessidade de abertura de novas áreas.

## Conclusões

O cultivo de milho no sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta e no sistema Santa Fé confirmou desenvolvimento superior quando comparado ao sistema Convencional. A *Brachiaria ruziziensis* em consórcio com milho favoreceu o aumento na produção de grãos por área e por indivíduo em comparação ao sistema Convencional.

## Agradecimentos

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Sr. Thales Barros proprietário da fazenda Vitória, o Projeto iLPF, Projeto PECUS e ao Banco da Amazônia (BASA) e rede de fomento iLPF pelo financiamento da pesquisa.

## Referências

- AGUIAR, M.I.; MAIA, S.M.F.; XAVIER, F.A.; MENDONÇA, E.S.; ARAÚJO FILHO, J.A.; OLIVEIRA, T.S. Sediment, nutrient and water losses by water erosion under agroforestry systems in the semi-arid region in northeastern Brazil. *Agroforestry Systems*, v.79, p.277-289, 2010.
- ALVES, V.B.; CECCON, G.; LEITE, L.F. Morfologia e produtividade de híbridos de milho Safrinha solteiro e consorciado com braquiária. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.12, n.2, p. 152-163, 2013.
- BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G.B.; ALVARENGA, R.C.; KICHEL, A.N.; FONTANELI, R.S.; SANTOS, H.P.; FRANCHINI, J.C.; GALERANI, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.46, n.10, p.i-xii, out. 2011.
- BARDUCCI, R.S.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, É.; PUTAROV, T.C.; SARTI, L.M.N. Produção de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum* com milho e adubação nitrogenada. *Archivos de Zootecnia*, Córdoba, v. 58, n. 222, p. 211- 222, 2009.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MÜLLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 831- 839, 2004.
- BLACK, C.A. *Methods of Soil Analysis: Part 2 – Chemical and Microbiological Properties*. Madison: *American Society of Agronomy*, 1159p. 1965.
- BRASIL. *Ministério da Agricultura e do Abastecimento*. Requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão para inscrição no registro nacional de cultivares – RNC. Disponível em: <  
[http://www.cisoja.com.br/downloads/legislacao/anexo\\_PT\\_294\\_4.pdf](http://www.cisoja.com.br/downloads/legislacao/anexo_PT_294_4.pdf). Acesso em: 14 set. 2012.
- BRINTHA, I.; SERAN, T.H. Effect of paired row planting of radish (*Raphanus sativus* L.) intercropped with vegetable amaranthus (*Amaranthus tricolor* L.) on yield components of radish in Sandy regosol. *Journal of Agricultural Sciences*, v.4, p.19-28, 2009.
- CALONEGO, J.C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, p. 2183-2190, 2011a.

CALONEGO, J.C.; POLETO, L.C.; DOMINGUES, F.N.; TIRITAN, C.S. Produtividade e crescimento de milho em diferentes arranjos de plantas. *Revista Agrarian*, Dourados, v. 4, n. 12, p. 84-90, 2011b.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). *Acompanhamento Safra Brasileira Grãos*, v. 2 - Safra 2014/15, n. 7 - Sétimo Levantamento, Brasília, p. 1-100, abr. 2015.

CRUSCIOL, C.A.C.; BORGHI, E. Consórcio de milho com braquiária: produção de forragem e palhada para o plantio direto. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, ano 16, n. 100, p. 10-14, jul./ago. 2007.

CRUSCIOL, C.A.C. MATEUS, G.P.; NASCENTE, A.S.; MARTINS, P.O.; BORGHI, E.; PARIZ, C.M. An innovative crop-forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisadegrass. *Agronomy Journal*, Madison, v. 104, n. 4, p. 1085-1095, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), Manual de métodos de análises do solo. *Centro Nacional de pesquisa em solos*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 2º ed. 212 p. 1997.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. Reunião Técnica Anual de Milho (58: 2013: Pelotas, RS). *LVIII Reunião Técnica Anual de Milho e XLI Reunião Técnica Anual de Sorgo: indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2013/2014 e 2014/2015 / editores técnicos, Beatriz Marti Emygdio, Ana Paula Schneid Afonso da Rosa e Mauro César Celaro Teixeira*. – Brasília, DF: Embrapa, 2013.

FALESI, I.C., BAENA, A.R.E. *Mogno-africano Khaya ivorensis A. Chev. em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 52p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 4).

FERREIRA, A.C.B.; LAMAS, F.M.; CARVALHO, M.C.S.; SALTON, J.C.; SUASSUNA, N.D. Produção de biomassa por cultivos de cobertura do solo e produtividade do algodoeiro em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 45, n. 6, p. 546-553, 2010.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência & Agrotecnologia*, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, nov./dez., 2011.

GUEDES, R.E. RUMJANEK, N.G.; XAVIER, G.R.; GUERRA, J.G.M.; RIBEIRO, R.L.D. Consórcios de caupi e milho em cultivo orgânico para produção de grãos e espigas verdes. *Horticultura Brasileira*, v.28, p.174-177, 2010.

- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Inmet). Estações e dados/ Estações automáticas – gráficos. 2015. Disponível em: <[http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede\\_estacoes\\_auto\\_graf](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf)>. Acesso em: 02 fev. 2015.
- KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L.P.; OLIVEIRA, I.P.; COSTA, J.L.S.; SILVA, J.G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A.O.; MAGNABOSCO, C.U. *Sistema Santa Fé - tecnologia Embrapa: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. (Circular técnica, 38).
- MARTHA JUNIOR, G.B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1117-1126, 2011.
- MOLUA, E.L. The economics of tropical agroforestry systems: the case of agroforestry farms in Cameroon. *Forest Policy and Economics*, v.7, p.199-211, 2005.
- NASCIMENTO, R.S.; CARVALHO, N.L. Integração-lavoura-pecuária. *Monografias ambientais – REMOA/UFMS*, Santa Maria, v.4, n.4, p. 828-847, 2011.
- RAMELLA, J.R.P.; BATTISTUS, A.G.; SILVA, C.; LIBARDI, K.D.C.; CASTAGNARA, D.D.; OLIVEIRA, P.S.R.; NERES, M.A. Influência do sistema lavoura-pecuária com *Zea mays* L. e *Brachiaria brizantha* nas variáveis produtivas da cultura do milho. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 12, n. 2, p.96-104, 2013.
- RECH, C. Estados Unidos lidera importações brasileiras. *Revista da Madeira*, p. 96. 2006.
- SANTOS, R.D. Características agronômicas de variedades de milho para produção de silagem. *Acta Scientiarum*, v. 32, n. 4, p. 367-373, 2010.
- SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V. G. A.; LIMA, C.V.S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E.J.; CARVALHO, P.C.F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração lavoura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 32, p. 1273-1282, 2008.
- SOUZA, L.S.B.; MOURA, M.S.B.; SEDIYAMA, G.C.; SILVA, T.G.F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. *Bragantia*, v.70, p.715-721, 2011.
- UBERT, I.P.; ALMEIDA, C.A.S.; CHIODELLI, E.; BRESOLIN, F.; CASTANHO, M.; SOLIGO, S.; CAMILLO, M.F. Efeito de diferentes densidades na produtividade de

grãos de milho (*Zea mays* L.) Em espaçamento reduzido. *RAMVI*, Getúlio Vargas, v. 01, n. 01, jan./jun. 2014.

VALLE, C.B.; PAGLIARINI, M.S. Biology, cytogenetics, and breeding of Brachiaria. In: SINGH, R. J. (Ed.). *Genetic resources, chromosome engineering, and crop managements*. Boca Raton: CRC, p. 103-152. 2009.

# Uso da biofortificação vegetal: uma revisão

## The biofortification vegetable use: a review

---

*Ana Stella Freire Gonçalves<sup>1</sup>; Wilson Magela Gonçalves<sup>1</sup>; Karen Marcelle de Jesus Silva<sup>1</sup>; Renato Mendes de Oliveira<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG.  
E-mail: fg.anastella@gmail.com

---

**Resumo:** O objetivo deste artigo de revisão foi relatar os conhecimentos e pesquisas existentes sobre o uso da biofortificação em alimentos, que visa enriquecer os vegetais que fazem parte da dieta da população, por meio do aumento dos teores de ferro (Fe), zinco (Zn) e vitamina A. Foi realizada revisão bibliográfica perante consulta às bases de dados Scopus, SciELO e livros da área, selecionando-se publicações científicas recentes e representativas do tema. Além disso, foram descritas algumas técnicas empregadas na área de melhoramento vegetal para tal fim. Observou-se que o foco da pesquisa no Brasil é direcionado a alimentos básicos como feijão, arroz, milho, feijão caupi, mandioca, batata doce, trigo e abóbora. Pesquisas comprovam que os alimentos biofortificados são uma fonte alternativa para a população de baixa renda ter acesso a uma alimentação nutritiva, de forma sustentável e com baixo custo.

**Palavras-chave:** Alimentos biofortificados. Ferro. Zinco. Vitamina A.

**Abstract:** The purpose of this review article was to report the existing knowledge and studies on the use of biofortifying in foods, which aims to enrich the plants that are part of the population diet, by increasing the levels of iron, zinc and vitamin A. It was held literature review by consulting Scopus and SciELO databases, and books in this field, selecting recent scientific publications, and the ones representative of the subject. In addition, we describe some techniques used in plant breeding area for this purpose. It was observed that the focus of research in Brazil is in staples such as rice, beans, cowpea, cassava, sweet potatoes, corn, pumpkin and wheat. Research has shown that biofortified foods are an alternative source for low-income people have access to more nutritious food in a sustainable manner and at low cost.

**Keywords:** Biofortified food. Iron. Zinc. Vitamin A.

## Introdução

Até meados de 2050, estima-se que a população mundial continuará a crescer em ritmo acelerado, atingindo um platô de até nove bilhões de pessoas (GODFRAY *et al.*, 2010). Populações de países subdesenvolvidos e em desenvolvimento sofrem da chamada fome oculta. Essa desnutrição, conhecida como DEP (desnutrição enérgico

proteica) é uma realidade comum que assola o Brasil, causada pela falta de uma dieta que contenha quantidades suficientes de calorias e proteínas (MALAFAIA, 2010).

Para atender as suas necessidades metabólicas, o ser humano requer o consumo de pelo menos quarenta e nove nutrientes. A deficiência dos mesmos gera distúrbios fisiológicos, causando retardo mental, baixo rendimento produtivo, crescimento inadequado e mortalidade (OIKEH *et al.*, 2003), (LONG; BÄNZIGER; SMITH, 2004). A fim de manter essas funções adequadas, é necessária uma ingestão diária suficiente em sais minerais, como Fe e Zn (RIBEIRO *et al.*, 2008). A utilização de produtos agrícolas biofortificados (variedades de valor nutricional superiores) se torna uma estratégia de baixo custo para aumentar a sustentabilidade alimentar.

No Brasil, culturas de trigo, arroz, feijão e feijão caupi (com teores elevados de Zn e Fe), mandioca, milho, batata doce e abóbora (com maior teor de  $\beta$ -caroteno, pró-vitamina A) são estudadas, visando à biofortificação (DE CARVALHO; NUTTI, 2013). HarvestPlus, AgroSalud e BioFORT são exemplos de programas de alianças mundiais, empenhados em tornar mais nutritivos os alimentos.

A mandioca amarela de mesa, BRS Jarí, foi um dos primeiros produtos agrícolas biofortificados (GLOBO, 2015) desenvolvido pela Embrapa. Fonte natural de energia e pouco fibrosa, a BRS Jarí é rica em vitamina A, além de conservar suas propriedades nutritivas após o cozimento (o que é perdido em variedades mais tradicionais). A cultivar de feijão-caupi, conhecida como Xiquexique, também merece destaque, uma vez que seus grãos possuem maior teor de Fe comparativamente às demais variedades (DE FREITAS *et al.*, 2012).

Alguns experimentos realizados no exterior e também no Brasil relatam que os fertilizantes minerais contribuem de 30% a 50% no rendimento de grãos (STEWART *et al.*, 2005). Devido ao melhoramento vegetal, que visa muitas vezes apenas o ganho em produtividade das culturas sem considerar a qualidade nutricional dos grãos, o baixo teor de minerais presentes nos mesmos está atrelado a este fato. Pesquisas relatam que há grande variabilidade genética na concentração de micronutrientes presentes nas partes comestíveis das culturas. Isso se torna de grande relevância para o melhoramento genético convencional, possibilitando a seleção de culturas que sejam mais eficientes em acumular vitaminas e minerais nas suas partes comestíveis. (WHITE; BROADLEY, 2005).

## **1 Uso potencial da biofortificação na agricultura**

Acredita-se que os alimentos mais consumidos como o arroz, mandioca e milho possuem quantidades insuficientes de micronutrientes e que são incapazes de atender às necessidades diárias das populações “de risco”. Os carotenoides pró-vitamina A, por exemplo, são encontrados apenas nas folhas da cultura do arroz, assim como os teores de Fe (TANG, 2010). Nesse sentido, os programas de biofortificação buscam aumentar os níveis de micronutrientes específicos em partes das plantas que sejam comestíveis, utilizando para tanto o melhoramento convencional e genético, manejo agrônomico e transgenia.

O programa HarvestPlus é um exemplo de sucesso na rede de biofortificação (HARVEST PLUS, 2015). Implantado em 2005, o programa visa ao melhoramento das

culturas de feijão, arroz, milho, mandioca, trigo e batata-doce. A aliança AgroSalud é outro exemplo de sucesso, empenhada em desenvolver melhores cultivares de arroz, milho, feijão e batata, eficientes no uso de insumos agrícolas, da água e de alto valor agronômico (AGROSALUD, 2015).

Pesquisas apontam a grande variabilidade genética para os micronutrientes que são importantes para a alimentação humana, possibilitando, por meio do melhoramento genético, a obtenção de cultivares biofortificadas. A biotecnologia é outra ferramenta de destaque favorável à biofortificação, principalmente quando há ausência de variabilidade genética para os nutrientes em questão.

A biofortificação pode ser alcançada por biotecnologia vegetal ou por meio do melhoramento convencional. Este é possível apenas entre indivíduos estreitamente relacionados. A engenharia metabólica, por sua vez, supera o melhoramento convencional, melhorando os níveis de micronutrientes nos vegetais, além de redirecioná-los para um tecido alvo desejado, como o endosperma, por exemplo.

Em vegetais, principalmente os grãos, há a presença de compostos que minimizam a biodisponibilidade de alguns micronutrientes como o Zn e Fe na dieta. Dentre estes compostos, podemos citar: lignina, metais pesados, ácido fítico, ácido oxálico, dentre outros (KING, 2002). Quando o melhoramento visa à redução desses compostos, é importante levar em conta alguns fatores, posto que o ácido fítico, por exemplo, funciona como estoque energético, leva à dormência, é fonte de cálcio, além de ser estoque de fósforo, trazendo benefícios às plantas. (WHITE; BROADLEY, 2005).

Prebióticos como a inulina são capazes de aumentar a absorção de minerais, e os mesmos estão sendo estudados em programas de melhoramento, para as culturas do trigo, arroz, milho e mandioca (GENC *et al.*, 2005).

## 2 Culturas alvo

### 2.1 Milho (*Zea mays*)

Considerado a base alimentar em muitos países, o milho traz inúmeros benefícios à saúde, devido aos seus compostos que atuam como cofatores para enzimas antioxidantes. Esses compostos são: vitamina E e minerais, carotenoides e compostos fenólicos.

Milhos biofortificados estão sendo desenvolvidos no Brasil, ricos em Fe, Zn e pró-vitamina A. O objetivo é direcioná-los às populações que apresentam carências nutricionais, tais como anemia ferropriva e hipovitaminose A (BARBOSA, 2013). Em milhos típicos, há baixos teores de carotenoides pró-vitamina A, com concentrações entre 0,13 a 2,7 para concentrações de  $\beta$ -caroteno, zero a 1,3 para carotenos e 0,13 a 1,9 mmol.g<sup>-1</sup> de  $\beta$ -criptoxantina (KURILICH; JUVIK, 1999).

Pesquisadores avaliaram 1800 genótipos de milho no México e Zimbábue (BÄNZIGER; LONG, 2000), relatando concentrações nos grãos entre 9,6 e 63,2 mg.kg<sup>-1</sup> e 12,9 e 57,6 mg.kg<sup>-1</sup>, para os micronutrientes Fe e Zn, respectivamente. No Brasil, pesquisadores avaliaram linhagens de milho QPM (milho de alta qualidade proteica) com teores de Zn e Fe de 53,8 e 46,8 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente (GUIMARAES *et al.*, 2005).

Como já mencionado, o melhoramento visa à redução de alguns compostos antinutricionais, que muitas vezes devem ser ponderados, posto que estes fatores trazem alguns benefícios às plantas e também à saúde humana, funcionando como antioxidante e agente anticarcinogênico (WHITE; BROADLEY, 2005). Porém, em estudo realizado com adultos alimentados com tortilhas à base de milho mutante (60% e 80% de redução da concentração do fitato), constatou-se que houve melhor absorção de Zn pelo organismo humano, relatando, dessa forma, a atuação do ácido fítico como inibidor da expressão de alguns micronutrientes (HAMBIDGE *et al.*, 2004).

## 2.2 Arroz

Juntamente com o feijão, o arroz faz parte da dieta básica da população brasileira e é um dos cereais mais consumidos, sendo responsável por 17,9% das proteínas e 24,2% do total de calorias consumidas no país (SORS; ELLIS; SALT, 2005).

Em 1999, foi desenvolvido um transgênico com alto teor de  $\beta$ -caroteno, conhecido como arroz dourado (Golden Rice), com o objetivo de reverter a hipovitaminose A nas Filipinas. Sua primeira versão (GR1) possibilitou a recuperação da rota de biossíntese de  $\beta$ -caroteno no endosperma e consequente acúmulo de carotenoides nos grãos (de aproximadamente  $1,6 \mu\text{g.g}^{-1}$ ). Desde então, graças à utilização de genes de outras espécies, como o milho (*Zea mays*), por exemplo, novas linhagens transgênicas estão sendo desenvolvidas com altos teores de carotenoides (GR2), contendo cerca de  $30 \mu\text{g.g}^{-1}$  de  $\beta$ -caroteno nos grãos (PAINE *et al.*, 2005).

## 2.3 Feijão

Segundo principal alimento mais consumido no país, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, onde a população sofre de má nutrição e deficiência de micronutrientes, o feijão é fonte de vitaminas, proteínas, Fe e Zn (COZZOLINO, 2005).

Embora existam programas governamentais que supram as necessidades de Fe e Zn, grande parte da população não é beneficiada devido a problemas de distribuição em áreas de difícil acesso (DE ALMEIDA COSTA *et al.*, 2006). Outra estratégia para combater essas deficiências de micronutrientes é a biofortificação de feijão-caupi, também conhecido como Xiquexique.

Mais de 1000 acessos de feijão foram avaliados por pesquisadores do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), e os mesmos encontraram variações entre 34 e  $89 \text{ mg.kg}^{-1}$  para os teores de Fe nos grãos e entre 21 e  $54 \text{ mg.kg}^{-1}$  para as concentrações de Zn (WHITE; BROADLEY, 2005). No Peru, foram encontrados genótipos com altos níveis de Fe, superiores a  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  (GREGORIO, 2002).

A melhoria de cultivares com altos teores de Zn e Fe é uma ferramenta eficaz no combate à anemia e no fortalecimento do sistema imunológico (ROCHA, 2008).

## 2.4 Batata doce

Além de ser uma importante fonte de calorias, minerais e vitaminas A, C e do complexo B, a batata doce apresenta uma raiz rica em cálcio, potássio e teor de

carboidrato, variando entre 25% e 30%, dos quais 98% são facilmente digeríveis (TAKEITI, 2012).

O consumo de batata doce de polpa alaranjada, rica em pró-vitamina A, melhora as reservas de vitamina A, reduzindo o risco de sua deficiência, a qual prejudica o sistema imunológico e, quando severa, aumenta a mortalidade infantil. Os trabalhos de melhoramento buscam o aumento de matéria seca nessas variedades, visando à melhoria de suas características sensoriais; ao mesmo tempo, procura-se ampliar sua resistência a vírus e condições de stress (seca). Inicialmente, a introdução de variedades melhoradas está direcionada para Gana, Quênia, Etiópia, Ruanda, Uganda, Moçambique, Tanzânia e África do Sul.

Durante o período de armazenamento, preparação e cozimento da batata doce, parte da pró-vitamina A pode ser retida. Na variedade Resisto (sul-africana), após o cozimento da batata, a atividade de pró-vitamina A é por volta de 70 a 80% da encontrada em batata recém-colhida. A cultivar Beauregard (americana), com polpa de cor alaranjado intensa, possui alto teor de  $\beta$ -caroteno. O consumo de 25 a 50 g. da mesma supre as necessidades diárias de pró-vitamina A. Quando transformada em farinha, pode substituir a farinha de trigo em diversas receitas (EMBRAPA, 2015).

## 2.5 Mandioca

De origem sul-americana, a mandioca é cultivada em regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América Latina, como a terceira mais importante fonte de calorias nos trópicos, depois de arroz e milho. O seu consumo dobrou dos 24 milhões de toneladas por ano para 58 milhões de toneladas por ano, ao longo dos últimos 30 anos (FAO, 2015).

A cultura de raiz é um excelente veículo de vitamina A. A mandioca de mesa, BRS Jarí, por exemplo, é fonte natural de energia (GLOBO, 2015), pouco fibrosa e possui mais vitamina A do que a tradicional, além de conservar boa parte das propriedades nutritivas após cozimento (GLOBO, 2015). Por isso, decidiu-se concentrar em mandioca de mesa os esforços de biofortificação. Os trabalhos, que tiveram início em 2001, lançaram as variedades BRS Gema de Ovo (com teores de  $\beta$ -caroteno de 4,0 ppm), BRS Dourada ( $\beta$ -caroteno = 3,3 ppm) e a BRS Jarí ( $\beta$ -caroteno = 8,7 ppm) (FUKUDA; PEREIRA, 2005).

Pesquisadores, avaliando o efeito de diferentes métodos de secagem sobre a retenção de  $\beta$ -caroteno em raízes de mandioca amarelas, observaram que a maior retenção foi obtida em forno de secagem (72%), seguida por secagem à sombra (59%) e secagem ao sol (38%) (CHAVEZ *et. al*, 2007). Resultados semelhantes foram relatados em estudos da estabilidade de caroteno em resposta a diferentes métodos de processamento, em que se concluiu que o genótipo é um importante determinante da retenção de carotenoide pró-vitamina A (IGLESIAS *et. al*, 1997).

## 2.6 Abóbora

A abóbora (*Cucurbita moschata* D.) é tradicionalmente consumida no Nordeste brasileiro e amplamente cultivada na região. Constitui uma importante fonte de pró-

vitamina A, com níveis elevados em carotenoides, especialmente  $\beta$ -caroteno e luteína. Contudo, mesmo considerando a adaptabilidade das variedades locais às condições ambientais, a sua importância socioeconômica, variabilidade de características que atendem a demanda do comércio, ampla aceitação de consumo e área de plantio dispersa em toda região Nordeste, os trabalhos de melhoramento com a espécie são escassos. Ainda não há um material que concentre, em um só genótipo, boas características agronômicas, nutricionais e comerciais.

A abóbora foi inserida recentemente na rede de Biofortificação, coordenado pela Embrapa Tabuleiros Costeiros, e tem como objetivo geral identificar, selecionar e avaliar acessos locais de abóbora para boas características agronômicas e alto teor de carotenoides pró-vitamínicos A (RAMOS, 2009).

## 2.7 Trigo

De grande importância nas dietas, estima-se que cerca de 30% da população mundial alimenta-se com algum produto derivado do trigo, e, portanto, estudos que o envolvam são fundamentais para o desenvolvimento agrícola e sustentável de países como o Brasil. Ressalta-se que, mesmo importando quase 50% do trigo, o governo brasileiro tem estimulado pesquisas e incentivado produtores a aumentarem as áreas cultivadas visando à autossuficiência do país com esse grão (SOUZA, 2013).

Ampla variedade de germoplasma de trigo foi avaliada no Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT) no México e em várias regiões mundiais, com variações entre 28,8 e 56,5 mg.kg<sup>-1</sup> para Fe e entre 25,2 e 53,3 mg.kg<sup>-1</sup> para Zn (RIOS *et al.*, 2015). A espécie *Triticum dicoccum*, entre o germoplasma estudado, apresentou as maiores concentrações desses minerais, com variações entre 15 e 94 mg.kg<sup>-1</sup> para Fe e 30 e 98 mg.kg<sup>-1</sup> para Zn (GREGORIO, 2002; WHITE; BROADLEY, 2005). O trigo é um bom exemplo que retrata a ampla variabilidade genética de caracteres como o teor de micronutrientes nos grãos. (SCHEEREN *et al.*, 2011).

## 3 Deficiências

### 3.1 Zinco

Essencial à homeostase humana, o Zn atua como constituinte integral ou cofator em mais de 300 metaloenzimas. Está envolvido no metabolismo, além de exercer importante função na cicatrização e no sistema imunológico humano.

A biodisponibilidade de Zn é um problema a ser considerado para aumentar a sua concentração nos grãos. O ácido fítico é o principal fator que limita a sua biodisponibilidade. Várias abordagens para diminuir ou eliminar o fitato (culturas de reprodução com baixos níveis de ácido fítico, culturas de engenharia para ter elevada atividade de fitase em sementes) resultam em melhor absorção de Zn (ROOHANI *et al.*, 2013).

No homem, a sua deficiência causa, principalmente, retardo no crescimento e disfunções imunológicas (PRASAD, 1998). Em crianças, aproximadamente 800 mil óbitos por ano estão relacionados à sua carência (BLACK, 2003). A necessidade de Zn

pode ser maior em crianças (CESAR; WADA; BORGES, 2005) devido ao rápido crescimento (SANTOS; AMANCIO; OLIVA, 2007), sobretudo naquelas que apresentam baixo peso ao nascer (GARRITANO, 2007).

Uma alimentação pobre em proteínas e calorias e rica em cereais, os quais inibem a absorção de Zn (GIBSON, 2006), potencializa os efeitos deletérios de sua carência. Nesse sentido, pesquisadores observaram que, dentre 187 crianças desnutridas com seis meses a três anos, 73% apresentaram deficiência de Zn. Em crianças de um a cinco anos, de baixa renda, foram estudadas também as concentrações médias de Zn, e estas se apresentaram significativamente inferiores em crianças que foi relatado caso de diarreia ( $125 \pm 43 \mu\text{L dL}^{-1}$ ), quando comparadas às crianças nas quais a diarreia não foi constatada ( $155 \pm 58 \mu\text{L dL}^{-1}$ ) (ANDERSON *et al.*, 2008).

A adição de Zn a um solo pobre no metal aumenta significativamente a produção das culturas e melhora a saúde dos animais, devido à íntima relação espacial entre o solo, a forragem dos animais e os teores de Zn (GEOSAÚDE, 2015).

### 3.2 Ferro

A deficiência de Fe é uma deficiência grave e generalizada de micronutrientes. Globalmente, cerca de 47% das crianças em idade escolar, 42% das mulheres grávidas e 30% das mulheres não grávidas sofrem de anemia por deficiência de Fe (ORGANIZATION, 2008). No organismo, a sua carência ocorre de forma gradual e progressiva, até que a anemia se manifeste como depleção de Fe, deficiência de Fe e anemia ferropriva (PAIVA; RONDÓ; GUERRA-SHINOHARA, 2000).

O Fe atua em todos os tecidos do corpo para funções celulares básicas. A anemia ferropriva diminui a aptidão e a capacidade de trabalho (SANDSTEAD, 2000). Há muitos compostos à base de Fe que podem ser utilizados na fortificação; há, no entanto, problemas técnicos na escolha de tais componentes. Os compostos de biodisponibilidade relativamente alta causam alterações sensoriais não toleradas, ao passo que compostos mais aceitáveis são minimamente absorvidos (HURRELL *et al.*, 2002). A disponibilidade de Fe nos alimentos depende de fatores geoquímicos, posto que baixo teor de Fe nos solos e na água repercute na cadeia alimentar (GEOSAÚDE, 2015).

A ervilha forrageira é uma boa fonte de Fe dietético, além de conter vários fatores de absorção, tais como cestose, carotenoides e alguns ácidos fenólicos e quercetina, e baixas concentrações de ácido fítico (AMARAKOON *et al.*, 2015).

### 3.3 Vitamina A

Em anos recentes, a população mundial adquiriu a visão de que alimentos não são apenas para nutrir, mas também oferecem compostos biologicamente ativos que proporcionam benefícios à saúde (ASSUNÇÃO; MERCADANTE, 2003). Dentre eles, estão os carotenoides, que possuem atividades biológicas importantes. (SENTANIN; AMAYA, 2007). Esses compostos contribuem na prevenção da hipovitaminose A, enfermidades cardiovasculares, imunidade, entre outros (NIIZU; RODRIGUEZ-AMAYA, 2005; UENOJO; MARÓSTICA; PASTORE, 2007). Os carotenoides compõem

uma família de mais de 600 compostos lipossolúveis encontrados nas plantas (AMBRÓSIO; CAMPOS; DE FARO, 2006).

Em 1998, a Zâmbia tornou-se o primeiro país na África a fortalecer o açúcar com vitamina A (FIEDLER *et al.*, 2014), e em 1999 implementou naquele país o que veio a ser conhecido como Semana da Saúde das Crianças, um evento que intervém na saúde infantil, incluindo a suplementação de vitamina A, desparasitação e vacinação, acompanhamento e promoção do crescimento (FIEDLER *et al.*, 2014).

Apesar da deficiência de vitamina A não ser predominante nas sociedades ocidentais, estudos indicam que o reforço de carotenoides na dieta contribui para a redução de doenças crônicas, especialmente quando são consumidos em frutas e vegetais (VAN DEN BERG *et al.*, 2000; VOUTILAINEN *et al.*, 2006; TAN *et al.*, 2010). Conseqüentemente, existe um interesse no aumento dos níveis de carotenoides nas plantas, tanto para biofortificação quanto para o fortalecimento nutricional.

## Conclusão

A biofortificação agrônômica é uma estratégia que pode ser utilizada para aumentar a concentração de nutrientes nos produtos agrícolas, melhorando a dieta, a saúde humana e animal. No entanto, para obter produtos mais nutritivos, de forma técnico-econômica sustentável, é necessário conciliar a biofortificação genética à agrônômica. Para o desenvolvimento de novas cultivares, considera-se, além de características que confirmam resistência a pragas, doenças e maior produtividade, o teor de minerais e vitaminas na parte comestível. Lembra-se ainda que, para saciar a fome de toda população, apenas quantidade não é suficiente, é necessária qualidade, é necessário que o alimento nutra o organismo e garanta seu bom funcionamento e bem estar.

## Referências

AGROSALUD. Disponível em: < <http://www.agrosalud.org/>>. Acesso em: 09 de maio de 2015.

AMARAKOON, D.; THAVARAJAH, D.; GUPTA, D. S.; MCPHEE, K.; DESUTTER, T.; THAVARAJAH, P. Genetic and environmental variation of seed iron and food matrix factors of North-Dakota-grown field peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 37, p. 67-74, 2015.

AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. D. A. C. E. S.; DE FARO, Z. P. Carotenoids as an alternative against hypovitaminosis A. *Revista de Nutrição*, v. 19, n. 2, p. 233-243, 2006.

ANDERSON, V. P.; JACK, S.; MONCHY, D.; HEM, N.; HOK, P.; BAILEY, K. B.; GIBSON, R. S. Co-existing micronutrient deficiencies among stunted Cambodian infants and toddlers. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, v. 17, n. 1, p. 72-79, 2008.

ASSUNÇÃO, R. B.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoids and ascorbic acid composition from commercial products of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 16, n. 6, p. 647-657, 2003.

BÄNZIGER, M.; LONG, J. The potential for increasing the iron and zinc density of maize through plant-breeding. *Food and Nutrition Bulletin*, v. 21, n. 4, p. 397-400, 2000.

BARBOSA, N. A. *Retenção de carotenoides em milho verde biofortificado com precursores de vitamina A após processamento*. 122 f. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, 2013.

BLACK, R. Micronutrient deficiency - An underlying cause of morbidity and mortality. *Bulletin of the World Health Organization*, v. 81, n. 2, p. 79, 2003.

CESAR, T. B.; WADA, S. R.; BORGES, R. G. Zinc and the nutritional status in the aged. *Revista de Nutrição*, v. 18, n. 3, p. 357-365, 2005.

COZZOLINO, S. M. F. *Biodisponibilidade de nutrientes*. São Paulo: Manole, 2005.

DE ALMEIDA COSTA, G. E.; QUEIROZ-MONICI, K. S.; REIS, S. M. P. M.; OLIVEIRA, A. C. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, v. 94, n. 3, p. 327-330, 2006.

DE CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R. BIOFORTIFICAÇÃO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS PARA NUTRIÇÃO HUMANA. Embrapa Agroindústria de Alimentos-Resumo em anais de congresso (ALICE), 2013. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 64., 2012, São Luís. Ciência, cultura e saberes tradicionais para enfrentar a pobreza. São Luís: SBPC: UFMA, 2012.

DE FREITAS, S. C.; SILVA, T. S.; CONTE, C.; SANTOS, J. O.; SIMAS, E. S.; SOUZA, P. S.; SILVA, C. S. C.; OLIVEIRA J. M.; CARVALHO, J. L. V. ATUAÇÃO DO LABORATÓRIO DE FÍSICO-QUÍMICA E MINERAIS DA EMBRAPA AGROINDÚSTRIA DE ALIMENTOS NO PROJETO BIOFORTIFICAÇÃO. Embrapa Agroindústria de Alimentos-Artigo em anais de congresso (ALICE), 2012. In: REUNIÃO DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL, 4., 2011, Teresina. Palestras e resumos... Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 1 CD-ROM.

EMBRAPA. Batata-Doce Beauregard. *A batata vitaminada*. Disponível em: <[http://www.cnph.embrapa.br/paginas/produtos/cultivares/batata\\_doce\\_beauregard.html](http://www.cnph.embrapa.br/paginas/produtos/cultivares/batata_doce_beauregard.html)> Acesso: 29 nov. 2015.

FAO - *The statistical division FAO*. Disponível em:

<<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso: 28 de maio de 2015.

FIEDLER, J. L.; MUBANGA, F.; SIAMUSANTU, W.; MUSONDA, M.; KABWE, K. F.; ZULU, C. Child health week in Zambia: Costs, efficiency, coverage and a reassessment of need. *Health Policy and Planning*, v. 29, n. 1, p. 12-29, 2014.

FUKUDA, W. M. G.; PEREIRA, M. E. C. *BRS Gema de ovo: mandioca de mesa biofortificada*. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2005.

GARRITANO, C. R. D. O. Avaliação do uso de extrato de timo (timulina) em pacientes com neoplasia maligna submetidos ao tratamento cirúrgico. *Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões*, v. 34, n. 4, p. 225-231, 2007.

GENC, Y.; HUMPHRIES, J. M.; LYONS, G. H.; GRAHAM, R. D. Exploiting genotypic variation in plant nutrient accumulation to alleviate micronutrient deficiency in populations. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v. 18, n. 4, p. 319-324, 2005.

GEOSAÚDE. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/pgagem/puerto/geosaude.pdf>> Acesso em: 02 de junho de 2015.

GIBSON, R. S. Zinc: The missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 65, n. 1, p. 51-60, 2006.

GLOBO RURAL. Disponível em:

<<http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC1709674-1489,00.html>> Acesso em: 19 de maio de 2015.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S.M.; TOULMIN, C. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.

GREGORIO, G. B. Progress in breeding for trace minerals in staple crops. *Journal of Nutrition*, v. 132, n. 3, p. 500S-502S, 2002.

GUIMARAES, P. D. O.; RIBEIRO, P. E. A.; PAES, M. C. D.; SCHAFFERT, R. E.; ALVES, V. M. C.; COELHO, A. M.; NUTTI, M.; VIANA, J. L. C.; NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. Caracterização de linhagens de milho quanto aos teores de minerais nos grãos. Embrapa Milho e Sorgo. *Circular técnica*, 2005.

HAMBIDGE, K. M. HUFFER, J. W.; RABOY, V.; GRUNWALD, G. K.; WESTCOTT, J. L.; SIAN, L.; MILLER, L. V.; DORSCH, J. A.; KREBS, N. F. Zinc absorption from low-

phytate hybrids of maize and their wild-type isohybrids. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 79, n. 6, p. 1053-1059, 2004.

HURRELL, R.; BOTHWELL, T.; COOK, J. D.; DARY, O.; DAVIDSSON, L.; FAIRWEATHER-TAIT, S.; HALLBERG, L.; LYNCH, S.; ROSADO, J.; WALTER, T.; WHITTAKER, P. The usefulness of elemental iron for cereal flour fortification: a SUSTAIN Task Force report. *Nutrition reviews*, v. 60, n. 12, p. 391-406, 2002.

KING, J. C. Evaluating the impact of plant biofortification on human nutrition. *Journal of Nutrition*, v. 132, n. 3, p. 511S-513S, 2002.

KURILICH, A. C.; JUVIK, J. A. Quantification of Carotenoid and Tocopherol Antioxidants in *Zea m ays*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 47, n. 5, p. 1948-1955, 1999.

LONG, J. K.; BÄNZIGER, M.; SMITH, M. E. Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. *Crop Science*, v. 44, n. 6, p. 2019-2026, 2004.

MALAFAIA, G. Protein-energy malnutrition: A serious condition that still haunts the hospital context. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 28, n. 3, p. 381-382, 2010.

NIIZU, P. Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. New data on the carotenoid composition of raw salad vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 18, n. 8, p. 739-749, 2005.

OIKEH, S. O.; MENKIR, A.; MENKIR, B.; WELCH, R.; GLAHN, R. P. Assessment of concentrations of iron and zinc and bioavailable iron in grains of early-maturing tropical maize varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 51, n. 12, p. 3688-3694, 2003.

ORGANIZATION, W. H. Worldwide prevalence of anaemia 1993-2005: WHO global database on anaemia. 2008.

PAIVA, A. A.; RONDÓ, P. H.; GUERRA-SHINOHARA, E. M. Parâmetros para avaliação do estado nutricional de ferro. *Revista Saúde Pública*, v. 34, n. 4, p. 421-6, 2000.

PRASAD, A. S. Zinc in human health: An update. *Journal of Trace Elements in Experimental Medicine*, v. 11, n. 2-3, p. 63-87, 1998.

RIBEIRO, N. D.; JOST, E.; CERUTTI, T.; MAZIEIRO, S. M.; POERSCH, N. L. Micromineral composition of common bean cultivars and its applications in crop breeding. *Bragantia*, v. 67, n. 2, p. 267-273, 2008.

ROCHA, M. D. M. R. *Avaliação dos conteúdos de proteína, ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi*. Embrapa Meio-Norte, 2008.

ROOHANI, N.; HURRELL, R.; KELISHADI, R.; SCHULIN, R. Zinc and its importance for human health: An integrative review. *Journal of Research in Medical Sciences*, v. 18, n. 2, p. 144-157, 2013.

SANDSTEAD, H. H. Causes of iron and zinc deficiencies and their effects on brain. *Journal of Nutrition*, v. 130, n. 2 SUPPL., p. 347S-349S, 2000.

SANTOS, E. B.; AMANCIO, O. M. S.; OLIVA, C. A. G. Nutritional status, iron, copper, and zinc in school children of shantytowns of Sao Paulo. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v. 53, n. 4, p. 323-328, 2007.

SCHEEREN, P. L.; CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R.; CAIERAO, E.; BASSOI, M. C.; ALBRECHT, J. C.; CASTRO, R. L. DE; MIRANDA, M. Z. DE; TORRES, G. A. M.; TIBOLA, C. S. Biofortificação em trigo no Brasil. *REUNIÃO ANUAL DE BIOFORTIFICAÇÃO NO BRASIL*, v. 4, 2011.

SENTANIN, M. A.; AMAYA, D. B. R. Carotenoid levels in papaya and peach determined by high performance liquid chromatography. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, v. 27, n. 1, p. 13-19, 2007.

SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. *Photosynthesis Research*, v. 86, n. 3, p. 373-389, 2005.  
SOUZA, G. A. D. Biofortificação da cultura do trigo com zinco, selênio e ferro: explorando o germoplasma brasileiro. 2013.

STEWART, W. M.; DIBB, D. W.; JOHNSTON, A. E.; SMYTH, T. J. The contribution of commercial fertilizer nutrients to food production. *Agronomy Journal*, v. 97, n. 1, p. 1-6, 2005.

TAN, H. L.; THOMAS-AHNER, J. M.; GRAINGER, E. M.; WAN, L.; FRANCIS, D. M.; SCHWARTZ, S. J.; ERDMAN, J. W. JR.; CLINTON, S. K. Tomato-based food products for prostate cancer prevention: What have we learned? *Cancer and Metastasis Reviews*, v. 29, n. 3, p. 553-568, 2010.

TANG, G. Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 91, n. 5, p. 1468S-1473S, 2010.

UENOJO, M.; MARÓSTICA JR, M. R.; PASTORE, G. M. Carotenoids: Properties, applications and biotransformation in flavor compounds. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 616-622, 2007.

VAN DEN BERG, H.; FAULKS, R.; GRANADO, F. H.; HIRSCHBERG, J.; OLMEDILLA, B.; SANDMANN, G.; SOUTHON, S.; STAHL, W. The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 80, n. 7, p. 880-912, 2000.

VOUTILAINEN, S.; NURMI, T.; MURSU, J.; RISSANEN, T. H. Carotenoids and cardiovascular health. *American Journal of Clinical Nutrition*, v. 83, n. 6, p. 1265-1271, 2006.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends in Plant Science*, v. 10, n. 12, p. 586-593, 2005.