ERMELINDA MARIA MOTA OLIVEIRA

TRANSPORTE DE NUTRIENTES EM RESPOSTA A POTENCIAL DE ÁGUA, TAMANHO DE AGREGADOS E MANEJO DE UM LATOSSOLO VERMELHO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2006

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

xi, 96f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.
Orientador: Hugo Alberto Ruiz.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Física do solo. 2. Solos - Manejo. 3. Solos - Umidade. 4. Solos - Absorção. 5. Plantas - Crescimento. 6. Plantas - Nutrição. I. Universidade Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 631.43

ERMELINDA MARIA MOTA OLIVEIRA

TRANSPORTE DE NUTRIENTES EM RESPOSTA A POTENCIAL DE ÁGUA, TAMANHO DE AGREGADOS E MANEJO DE UM LATOSSOLO VERMELHO

Tese apresentada à Universidade

“A felicidade aparece para aqueles que choram.
Para aqueles que se machucam.
Para aqueles que buscam e tentam sempre.
E para aqueles que reconhecem a importância das pessoas que passam por sua vida.”

Clarice Lispector

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo que sou e por estar sempre presente em todos os momentos de minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade oferecida para realização deste curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pelo auxílio financeiro.

Ao professor Hugo Alberto Ruiz, pela orientação, pelos valiosos ensinamentos e por todas as horas dedicadas à realização deste trabalho.

Ao professor Víctor Hugo Alvarez V., pelo exemplo de dedicação ao trabalho e pelos ensinamentos sempre muito valiosos.

Ao professor Paulo Afonso Ferreira, pelo tratamento sempre distinto e pelas contribuições dadas a este trabalho.

Ao professor Jaime Wilson Vargas de Mello, pelas valiosas sugestões e pela atenção.

À Dra. Vera Maria Carvalho Alves, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, pelas sugestões.

Ao professor Maurício de Oliveira *(in memoriam)*, pelos primeiros ensinamentos em solos e pelo apoio dado à minha escolha pela UFV.

À professora Maria Auxiliadora dos Santos, pelo carinho constante e pela confiança desde a época da graduação na ESAM.

Aos estagiários Ivan, Lucas e Fernanda, pela valiosa ajuda durante a condução do experimento na casa de vegetação.

Aos funcionários do Departamento de Solos, especialmente ao Carlos Fonseca, Cláudio, Benedito, João e à Zélia, pela colaboração e pelos momentos de descontração, que fizeram com que meu trabalho nos Laboratórios de Fertilidade e Física do Solo fossem bem menos desgastantes.

À secretária da pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da UFV, Luciana Castro, pela atenção sempre dada.

À Sarita Campos, pela amizade e pelo acolhimento especial nos momentos decisivos para conclusão do curso de Doutorado.

Às amigas Cristiane, Elaine e Juliana, pela amizade conquistada e pelo apoio nos momentos certos.

À minha mãe, Alzemar, por tudo.

Às minhas irmãs, Genilma, Ana, Maria Isabel e Cláudia, pela torcida sempre presente.

Ao meu esposo, Gualter, pelo amor.

Ao meu filho, Vinícius, pelo carinho e pela “compreensão” com as minhas idas a Viçosa, durante a finalização deste trabalho.

Às pessoas que, apesar de não-citadas, foram muito importantes para a concretização de mais esta etapa de minha vida, meu sincero agradecimento.

BIOGRAFIA

ERMELINDA MARIA MOTA OLIVEIRA, filha de Genildo Augusto de Oliveira e Alzemar Guiomar Mota, nasceu em 17 de fevereiro de 1975, em Caraúbas, RN.

Em 1993, iniciou o Curso de Engenharia Agronômica, na Escola Superior de Agricultura de Mossoró – ESAM, atualmente Universidade Federal Rural do Semi-árido - UFERSA, Mossoró (RN).

Em 1997, iniciou suas atividades de pesquisa como bolsista de Iniciação Cientifica do CNPq, onde permaneceu até a conclusão do curso de graduação em agosto de 1998.

Em agosto de 1999, iniciou o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do professor Hugo Alberto Ruiz, submetendo-se à defesa de tese de mestrado em 30 de novembro de 2001.

Em abril de 2002, iniciou Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, nesta mesma Universidade, tendo a tese de doutorado aprovada em 19 de dezembro de 2006.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
LITERATURA CITADA	4
CAPÍTULO 1	6
CRESCIMENTO DE MILHO EM RESPOSTA AO TAMANHO DOS AGREGADOS, POTENCIAL DE ÁGUA E MANEJO DO SOLO	6
RESUMO	6
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO	10
MATERIAL E MÉTODOS	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
CONCLUSÕES	33
LITERATURA CITADA	34

Página

CAPÍTULO 2 38

TRANSPORTE POR FLUXO DE MASSA E DIFUSÃO DE N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn E Cu EM AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO 38

RESUMO 38
ABSTRACT 40
INTRODUÇÃO 42
MATERIAL E MÉTODOS 45
RESULTADOS E DISCUSSÃO 48
CONCLUSÕES 67
LITERATURA CITADA 68

CAPÍTULO 3 72

VOLUME E COMPOSIÇÃO MINERAL DO EXSUDATO XILEMÁTICO DE MILHO, EM RESPOSTA AO TAMANHO DOS AGREGADOS, POTENCIAL DE ÁGUA E MANEJO DO SOLO 72

RESUMO 72
ABSTRACT 73
INTRODUÇÃO 74
MATERIAL E MÉTODOS 75
RESULTADOS E DISCUSSÃO 77
CONCLUSÕES 84
LITERATURA CITADA 84

CONCLUSÕES GERAIS 85

APÊNDICE 87

RESUMO

OLIVEIRA, Ermelinda Maria Mota, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2006. **Transporte de nutrientes em resposta a potencial de água, tamanho de agregados e manejo de um Latossolo Vermelho**. Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Co-orientadores: Víctor Hugo Alvarez V. e Paulo Afonso Ferreira

Neste ensaio, em casa de vegetação, objetivou-se avaliar em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, retiradas sob dois sistemas de manejo, cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional por mais de trinta anos (CCM): as características fitotécnicas e o conteúdo de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e de micronutrientes catiônicos (Fe, Mn, Cu e Zn) em plantas de milho; a contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão no suprimento de nutrientes; e o volume e a composição mineral do exsudato xilemático, em resposta ao potencial de água, tamanho dos agregados e manejo do solo. Os tratamentos corresponderam ao arranjo fatorial 2 (1 + 2) 2 sendo: dois sistemas de manejo (CER e CCM), (1 + 2) solo peneirado por malha de 4 mm e duas classes de agregados (< 0,5 e 0,5 - 4,0 mm), e dois potenciais de água do solo (-40 e -10 kPa), controlados por meio de um tensiômetro por vaso. Aos 70 dias da semeadura, finalizou-se o ensaio. Após o corte da parte aérea, colheu-se o exsudato

xilemático. Determinaram-se o volume do exsudado e a sua concentração de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu. Na biomassa da parte aérea e das raízes, determinaram-se a produção de matéria seca e os teores de macro e micronutrientes catiônicos, além do conteúdo desses nutrientes. A concentração dos nutrientes também foi determinada na solução do solo, estimando-se a contribuição do fluxo de massa e da difusão no transporte às raízes das plantas. Os resultados permitem concluir que a produção de matéria seca, o conteúdo de nutrientes na parte aérea e nas raízes, o volume de exsudato xilemático e o seu conteúdo de nutrientes são maiores nas amostras retiradas do sistema cerradão, nos agregados < 0,5 mm, e no maior potencial de água do solo. A contribuição porcentual do fluxo de massa e da difusão ao transporte de nutrientes permitiu estabelecer esta ordem para o fluxo de massa: Ca > Mg > N > S > K > P ˜ Mn ˜ Zn ˜ Cu ˜ Fe. A média para os cinco primeiros é de 99, 63, 56, 45 e 10%, respectivamente. A difusão é o principal mecanismo de transporte de K, P, Fe, Mn, Zn e Cu até a superfície das raízes do milho, sendo responsável por valores superiores a 99%, exceto para K, cujo valor é 90%.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Ermelinda Maria Mota, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December of 2006. **Nutrient transportation in response to water potential, aggregate size, and Red Latosol management**. Adviser: Hugo Alberto Ruiz. Co-Adviser: Víctor Hugo Alvarez V. and Paulo Afonso Ferreira

Using dystrophic Red Latosol samples collected under two management systems, cerradão without management (CER) and continuous cultivation under conventional management for over 30 years (CCM), a greenhouse assay, with maize, aimed to evaluate the following: 1) phytotechnical characteristics; 2) macronutrients content (N, P, K, Ca, Mg and S); 3) cationic micronutrients (Fe, Mn, Cu and Zn); 4) contribution of the mass flux and diffusion mechanisms to nutrient supply; 5) volume and mineral composition of xylematic exudate in response to water potential, aggregate size and soil management. The treatments corresponded to the following factorial scheme 2(1+2)2: two management systems (CER and CCM), (1 + 2) soil sieved in a 4 mm mesh and two aggregate classes (< 0.5 and 0.5 – 4.0 mm), and two soil water potentials (-40 and -10 kPa), controlled by a tensiometer per vase. At 70 sowing days, the assay was finalized. After cutting the aerial part, the xylematic exudate was collected and its volume and P, K, Ca, Mg, S, Fe,

Mn, Zn and Cu concentrations were determined. Dry matter production and cationic macro and micronutrient contents, as well as the content of these nutrients, were determined in the root and above ground plant biomass. Nutrient concentration was also determined in the soil solution, by estimating mass flux and diffusion contribution to plant root transport. The results allowed to conclude that dry matter production, plant and root nutrient content, xylematic exudates and its nutrient content are higher in the samples collected from the cerradão systems, in the < 0.5 mm aggregates, and at the higher soil water potential. Mass flux and diffusion percent contribution to nutrient transport allowed establishing the following mass flux order: Ca > Mg > N > S > K > P ˜ Mn ˜ Zn ˜ Cu ˜ Fe. The mean for the first five is 99, 63, 56, 45 and 10 %, respectively. Diffusion is the major mechanism of K, P, Fe, Mn, Zn and Cu transport to the surface of the maize root, accounting for values above 99%, except for K, whose value is 90%.

INTRODUÇÃO GERAL

Os Latossolos ocupam, no território brasileiro, aproximadamente 50% da área coberta pela vegetação de Cerrado (Macedo, 1996). Esses solos, em geral, apresentam baixa fertilidade natural, como resultado do alto grau de intemperismo a que foram submetidos.

Dentre as restrições nutricionais destaca-se a deficiência de P decorrente do seu reduzido teor e da alta capacidade de adsorção das argilas, pelos elevados teores de óxi-hidróxidos de Fe e Al (Bahia Filho, 1982; Gonçalves et al., 1985; Resende et al., 1986). Apresentam também baixa disponibilidade de K, Ca e Mg e alta acidez, associada à presença de Al solúvel.

As limitações nutricionais dos Latossolos estão associadas, também, às restrições no transporte dos nutrientes na solução do solo até as raízes das plantas, em decorrência da sua estrutura. A estrutura típica dos Latossolos é descrita como tendo aspecto microgranular ou maciço-poroso. Esses solos, ricos em óxidos de Fe e Al, apresentam pequenos grânulos, soltos, deixando entre eles um grande espaço poroso. Não há, neste caso, um arranjo face a face como ocorre com as argilas silicatadas, de forma laminar. Os óxidos, aproximadamente eqüidimensionais, dificultam essa disposição, pois atuam como cunhas, impedindo o ajuste face a face (Resende et al., 1997).

Essa estrutura torna a disponibilidade de água baixa nos Latossolos, principalmente naqueles mais oxídicos. Este fato ocorre em resposta à distribuição não-uniforme do tamanho dos poros no perfil. Nesses solos há predominância dos poros grandes e pequenos, em detrimento dos poros médios (Kohnke, 1968). Os macroporos perdem água a potenciais elevados, e os microporos retêm água a potenciais apreciavelmente baixos, por capilaridade, adsorvida no sistema coloidal (Hillel, 1971).

Destaca-se, assim, a importância da estrutura na relação solo-planta, por afetar a retenção e o movimento de água no perfil (Ruiz & Carvalho, 1998). Sem condições de estabelecer limites exatos, podem-se considerar duas regiões distintas na solução do solo. Uma denominada solução *móvel*, onde os solutos são transportados essencialmente por fluxo de massa e difusão. A segunda, *imóvel*, onde o transporte dos solutos é eminentemente por difusão (Araújo, 1997). A transferência de solutos entre essas duas regiões, por difusão, é proporcional à diferença de concentração entre a solução móvel e a solução imóvel (van Genuchten & Wierenga, 1976; Rao et al., 1980; Selim et al., 1999).

Nos Latossolos, a região de solução móvel está associada com a porosidade interagregados, onde cresce praticamente a totalidade do sistema radicular. A solução imóvel ocupa o espaço poroso intra-agregados, com presença praticamente nula de raízes (Araújo, 1997). Para que sejam absorvidos pelas raízes, os nutrientes devem estar dissolvidos na solução do solo, e sua absorção dependerá da continuidade da fase líquida entre os poros do solo e as raízes (agregados-raízes).

Alterações na disponibilidade de água influenciam o transporte por fluxo de massa e por difusão. O primeiro depende do gradiente de potencial total, que regula o movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera. Assim, a concentração do íon na solução do solo e a taxa de transpiração do vegetal determinam a quantidade transportada por meio deste mecanismo (Barber, 1974).

A difusão é devido ao movimento térmico e aleatório dos íons ou moléculas em direção às raízes, em virtude do gradiente de concentração. Dentre outras características, a taxa de difusão depende do conteúdo de água do solo (Wild, 1981). O fator de impedância, inserido na equação de difusão de solutos, varia conforme a tortuosidade do caminho percorrido pelos íons na difusão, sendo esta também modificada pelo conteúdo de água do solo (Wild, 1981; Ruiz, 1986).

Ruiz & Carvalho (1998), avaliando a retenção de água em agregados

LITERATURA CITADA

ARAÚJO, C.A.S. Movimento de fósforo e de macronutrientes catiônicos em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, UFV, 1997. 121p. (Tese de Doutorado)

BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, UFV, 1982. 179p. (Tese de Doutorado)

BARBER, S.A. Influence of the plant root on ion movement in soil. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.525-564.

GONÇALVES, J.L.M.; FIRME, D.J. & NOVAIS, R.F. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 9:107-111, 1985.

HILLEL, D. Soil and water. Physical principles and processes. New York, Academic Press, 1971. 288p.

KOHNKE, H. Soil physics. New York, Mc Graw-Hill, 1968. 224p.

MACEDO, J. Os solos da região dos Cerrados. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.135-155.

RAO, P.S.C.; ROLSTON, D.E.; JESSUP, R.E. & DAVIDSON, J.M. Solute transport in aggregated porous media: theoretical and experimental evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:1139-1146, 1980.

RESENDE, M.; SANTANA, D.P.; FRANZMEIER, D.P. & COEY, J.M.S. Magnetite properties of Brazilian Oxisols. In: BEINROTH, F.H.; CAMARGO, M.N. & ESWARAN, H., eds. Proceedings of the eight international soil classification workshop. Classification, characterization and utilization of Oxisols. Part 1: Papers. Rio de Janeiro, EMBRAPA-SNLCS, USDA-SCS/SMSS, University of Porto Rico, 1986. p.78-108.

RESENDE, M.; REZENDE, S. B.; CURI, N.; CORRÊA, G. F. Pedologia: base para a distinção de ambientes. 2 ed. Viçosa, MG, NEPUT - Núcleo de Estudo e Planejamento do Uso da Terra, 1997. 334p.

RUIZ, H.A. Efeito do conteúdo de água sobre o transporte de fósforo em dois Latossolos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 86p. (Tese de Doutorado)

RUIZ, H.A. & CARVALHO, M.A. Retenção de água em agregados de um Latossolo Vermelho Escuro. In: BALBUENA, R.H.; BENEZ, S.H.; JORAJURIA, D. eds. Avances en el manejo del suelo y agua en la ingeniería rural Latinoamericana. La Plata - Argentina, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 1998, p.153-158.

RUIZ, H.A.; MIRANDA, J. & CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. R. Bras. Ci. Solo, 23:1015-1018, 1999.

SELIM, H.M.; MA, L. & ZHU, H. Predicting solute transport is soils: second-order two-site models. Soil Sci. Soc. Am. J., 63:768-777, 1999.

Van GENUCHTEN, M.Th. & WIERENGA, P.J. Mass transfer studies in sorbing porous media: 1. Analytical solutions. Soil Sci. Soc. Am. J., 40:473-480, 1976.

WILD, A. Mass flow and diffusion. In: GRENLAND, D.J. & HAYES, M.H.B., eds. The chemistry of soil processes. Chichester, John Wiley, 1981. p.37-80.

CAPÍTULO 1

CRESCIMENTO DE MILHO EM RESPOSTA AO TAMANHO DOS AGREGADOS, POTENCIAL DE ÁGUA E MANEJO DO SOLO

RESUMO

Dentre os fatores que influenciam o crescimento dos vegetais, a disponibilidade de água e de nutrientes são os dois mais destacados. Esses recursos podem ser manejados pelo homem de forma a alterar seus fluxos e teores, em resposta a práticas de manejo de solos. Neste trabalho avaliaram-se as características fitotécnicas e o conteúdo de nutrientes em plantas de milho, em resposta ao tamanho dos agregados e à disponibilidade de água em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, retiradas de dois sistemas de manejo: cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional por mais de 30 anos (CCM). Os tratamentos corresponderam ao um arranjo fatorial 2 (1+2) 2, sendo dois sistemas de manejo (CER e CCM), (1 + 2) solo peneirado por malha de 4 mm e duas classes de agregados (< 0,5 mm e 0,5 -4,0 mm), e dois potenciais de água do solo (-40 e -10 kPa). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com 5 dm^3 de solo ou de agregados, controlando-se o potencial de água do solo com um tensiômetro por vaso. Aos 70 dias após a semeadura, as plantas foram colhidas e determinou-se a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes. Amostras dos tecidos vegetais foram analisadas, determinando-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu. De posse dos teores de nutrientes e da produção de matéria seca, calculou-se o conteúdo de nutrientes na parte aérea e nas raízes das plantas de milho. Os resultados permitiram concluir que as plantas cultivadas em amostras de solo retiradas do sistema cerradão (CER) apresentam maior produção de matéria seca e maior conteúdo de macro e micronutrientes, exceto K, que as cultivadas em amostras

provenientes do cultivo contínuo com milho em sistema convencional (CCM). Essa resposta é atribuída, fundamentalmente, à maior disponibilidade de N nas amostras de solo do sistema CER. A produção de matéria seca e o conteúdo de nutrientes diminuem com o aumento do tamanho dos agregados, visto que os menores apresentam maior disponibilidade de água e nutrientes, independentemente do sistema de manejo, CER e CCM. A influência da água do solo na produção de matéria seca e no conteúdo de nutrientes é mais acentuada na amostra de solo com maior disponibilidade de nutrientes, sistema CER, do que naquela retirada do sistema CCM. Essa resposta ocorreu em razão da menor disponibilidade de N, que, conseqüentemente, limitou a produção das plantas cultivadas nas amostras de solo provenientes do sistema CCM.

CORN GROWTH IN RESPONSE TO AGGREGATE SIZE, WATER POTENTIAL AND SOIL MANAGEMENT

ABSTRACT

Nutrient and water availability is one of the most important factors influencing plant growth. These nutrients can be managed so as to alter their flux and content, as an alternative to soil management practices. This work aimed to evaluate the phytotechnical characteristics and content of nutrients in maize plants, in response to aggregate size and water availability in Dystrophic Red Latosol samples, collected from two management systems: cerradão without management (CER) and continuous cultivation under conventional management for over 30 years (CCM). The treatments consisted of a factorial scheme 2 (1 + 2) 2, with two management systems (CER and CCM), (1 + 2) 4mm mesh-sieved soil and two aggregate classes (< 0.5 mm and 0.5 -4.0 mm), and two soil water potentials (-40 and -10 kPa). The treatments were arranged in a randomized block design, with 4 repetitions. The experimental units were plastic vases containing 5dm^3 soil or aggregates, and the water potential in the soil was controlled with a tensiometer per vase. At 70 days after sowing, the plants were harvested and dry matter production of the aerial part and roots was determined. Plant tissue samples were analyzed and the N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn and Cu contents were determined. Based on the nutrient and dry matter production contents, nutrient content was calculated in the maize plant aerial parts and roots. The results allowed to conclude that the plants cultivated in soil samples collected from the cerradão (CER) system presented higher dry matter production and content of macro and micronutrients, except K, than those cultivated in samples from the continuous cultivation under conventional management system (CCM). Such response is chiefly attributed to a higher N availability in the CER system soil samples. Dry matter production and nutrient content decrease with aggregate size increase since the smaller ones present higher water and nutrient availability, regardless of the management system, CER and CCM. The influence of soil

water on dry matter production and nutrient content is more accentuated in the soil sample with higher nutrient availability, CER system, than in that collected from the CCM system. Such response was due to lower N availability, which limited the production of the plants cultivated in the CCM system soil samples.

INTRODUÇÃO

O crescimento em plantas é definido como o aumento irreversível de volume e depende dos processos de divisão e de elongação celular (tamanho ou volume). A elongação é governada pelo potencial hídrico foliar, em particular do componente de pressão ou turgescência (Jones, 1992; Taiz & Zeiger, 2002). Todavia, o tamanho é apenas um critério que pode ser usado para medir o crescimento, que também pode ser medido em termos de acúmulo de matéria verde e matéria seca, rendimento biológico e rendimento econômico (Floss, 2004).

Os fatores de crescimento vegetal são radiação solar e disponibilidade de gás carbônico, água e nutrientes. Dentre estes destacam-se os dois últimos, pelo fato de serem recursos manejáveis pelo homem. Dessa maneira, seus teores e fluxos podem ser alterados por práticas de manejo do solo.

A água, além de ser o principal constituinte do protoplasma, participa diretamente de numerosas reações químicas, responsáveis pela turgescência celular. A redução da absorção de água compromete os processos fisiológicos, afetando, assim, todos os componentes de crescimento (Páez et al., 1995). A perda acentuada de água reduz a divisão e o alongamento das células, resultando em plantas menores e, portanto, na redução da área foliar (Taiz & Zeiger, 2002). Assim, a água é tida como um recurso fisiológico essencial ao crescimento e à produção das culturas e influencia o transporte de nutrientes no solo (Griffin, 1989; Procópio et al., 2002).

A disponibilidade de água é de fundamental importância para o crescimento das plantas, sendo normalmente baixa nos Latossolos, particularmente naqueles mais oxídicos. Essa característica ocorre em razão da formação de uma estrutura microgranular típica, que resulta em distribuição não-uniforme do tamanho de poros no perfil, ou seja, ocorre predominância de poros grandes e pequenos em relação aos médios (Kohnke, 1968).

A retenção de água pelo solo depende da geometria do sistema poroso, influenciada, por sua vez, pelo tamanho e arranjo das partículas sólidas, tanto

minerais como orgânicas (Maclean & Yager, 1972; Reeve et al., 1973; Shetron, 1974; Carvalho, 1998). Qualquer alteração dessas características pode provocar mudanças na retenção de água pelo solo (Baver et al., 1973).

O fornecimento de nutrientes é outro fator fundamental no crescimento das plantas. O manejo do solo apresenta acentuada influência na disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, na produtividade das culturas. O transporte de nutrientes no solo e a absorção destes pelas plantas são influenciados pela disponibilidade de água no solo. Para que sejam absorvidos pelas raízes das plantas, os nutrientes devem estar dissolvidos na solução do solo. Em acréscimo, seu transporte depende da existência de um contínuo da fase líquida entre os poros do solo e as raízes. Esse transporte ocorre basicamente por fluxo de massa, para os nutrientes móveis, e por difusão, para os que apresentam menor concentração ou maior interação com os sólidos do solo.

Os Latossolos, devido ao seu elevado grau de intemperismo, apresentam baixa fertilidade natural, elevada acidez, alta capacidade de adsorção de fosfatos e baixa capacidade de troca catiônica. Nesses solos, as limitações nutricionais estão associadas tanto à própria escassez de nutrientes, quanto às restrições no transporte dos nutrientes na solução do solo até as raízes das plantas (Carvalho, 1998).

A estrutura microgranular dos Latossolos tem influência marcante na retenção de água e, conseqüentemente, no transporte de nutriente. Nesses solos, o espaço poroso leva à distinção de duas regiões, uma de poros interagregados, onde os nutrientes são transportados por fluxo de massa e difusão, e outra de poros intra-agregados, em que o transporte dos nutrientes se dá apenas por difusão (Araújo, 1997).

Carvalho (1998), avaliando a retenção de água em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas de solo, observou que, em média, 79% da água encontrava-se no interior dos agregados e os 21% restantes, no espaço poroso interagregados. Araújo (1997) destacou que essa característica, de maior retenção de água nos poros intra-agregados, facilitaria

o transporte dos nutrientes do interior até a superfície dos agregados, melhorando as condições de fornecimento de nutrientes nesses solos, naturalmente pobres.

O fornecimento de nutrientes às plantas pode ser aumentado, mantendo-se as condições adequadas à difusão por tempo suficiente para permitir o transporte dos solutos desde o interior dos agregados até a sua superfície. Desse ponto de vista, o tamanho dos agregados e a respectiva porosidade intra-agregados assumiriam importância destacada na disponibilidade de nutrientes, por determinar a distância a ser percorrida pelos solutos em movimento e a sua interação com os sólidos das superfícies porosas (Araújo et al., 2003).

Neste trabalho objetivou-se avaliar as características fitotécnicas e o conteúdo de nutrientes em plantas de milho, em resposta ao tamanho dos agregados e à disponibilidade de água em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, retiradas sob dois sistemas de manejo: cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional por mais de 30 anos (CCM).

MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se o ensaio em casa de vegetação utilizando-se amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, coletadas na EMBRAPA Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, Minas Gerais. As amostras foram retiradas na camada superficial (2 - 15 cm) em duas áreas adjacentes, sob diferentes manejos, um sob vegetação natural, cerradão sem manejo (CER), e outro em local com cultivo contínuo com milho em sistema convencional, por período superior a 30 anos (CCM).

Essas amostras foram secas ao ar, destorroadas manualmente e passadas em peneira de 4 mm. Partes dessas amostras foram utilizadas para separar agregados, por via seca, em duas classes: < 0,5 mm e 0,5 - 4,0 mm de diâmetro, utilizando-se um agitador Produtest dotado de um conjunto de

peneiras de 50 x 50 cm. Tanto o solo quanto os agregados foram caracterizados física e quimicamente (Quadro 1.1). A caracterização mineralógica da fração argila realizada por Araújo et al. (2003) não tem evidenciado variações qualitativas entre agregados constituídos, em proporção decrescente, por caulinita, goethita, hematita, gibbsita e traços de ilita.

Quadro 1.1. Caracterização física e química do solo e das classes de agregados (< 0,5 e 0,5 - 4,0 mm) em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico retiradas sob dois sistemas de manejo[1/], na EMBRAPA Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG

Característica	CER			CCM		
	Solo	< 0,5	0,5 - 4,0	Solo	< 0,5	0,5 - 4,0
Análise textural (kg/kg)[2/]						
Areia grossa	0,110	0,070	0,140	0,130	0,060	0,240
Areia fina	0,040	0,050	0,020	0,030	0,050	0,020
Silte	0,110	0,110	0,100	0,110	0,110	0,070
Argila	0,740	0,770	0,740	0,730	0,780	0,670
Proporção de agregados (kg/kg)[3/]	-	0,418	0,582	-	0,600	0,400
Retenção de água (kg/kg)						
- 10 kPa	0,359	0,420	0,327	0,392	0,400	0,291
- 40 kPa	0,322	0,347	0,316	0,312	0,339	0,272
$N\text{-}NO^-_3$ (mg/dm^3)[4/]	19,77	24,78	20,79	7,81	10,31	7,73
$N\text{-}NH^+_4$ (mg/dm^3)[5/]	8,07	8,67	7,90	3,64	3,56	3,15
P (mg/dm^3)[6/]	5,00	7,00	4,70	9,40	9,90	8,70
K (mg/dm^3)[6/]	67,00	64,00	54,00	91,00	86,00	73,00
Ca^{2+} ($cmol_c/dm^3$)[7/]	3,74	3,72	3,13	1,43	1,45	1,14
Mg^{2+} ($cmol_c/dm^3$)[7/]	0,76	0,74	0,64	0,34	0,34	0,28
S (mg/dm^3)[8/]	1,60	1,20	1,40	2,70	2,70	2,70
Fe (mg/dm^3)[6/]	33,70	43,10	32,40	28,20	26,80	42,90
Mn (mg/dm^3)[6/]	58,80	98,00	50,30	39,50	42,50	53,70
Zn (mg/dm^3)[6/]	1,52	2,21	1,05	4,11	3,99	4,88
Cu (mg/dm^3)[6/]	0,49	0,58	0,42	0,61	0,67	0,74
pH em água (1: 2,5)	5,18	5,22	5,21	5,34	5,07	5,18
Al^{+3} ($cmol_c/dm^3$)[7/]	0,10	0,10	0,10	0,34	0,34	0,24
H+Al ($cmol_c/dm^3$)[9/]	10,20	10,20	8,70	9,70	10,00	8,10
Carbono orgânico (dag/kg)[10/]	4,99	5,18	4,72	4,00	4,00	3,86

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Ruiz (2005). [3/] Separação por via seca (EMBRAPA, 1997). [4/] Yang et al. (1998). [5/] Kempers e Zweers, 1986. [6/] Extrator Mehlich-1 (Defelipo & Ribeiro, 1981). [7/] Extrator KCl 1 mol/L (Embrapa, 1997). [8/] Extrator Ca $(H_2PO_4)_2$, 500 mg/L de P, em HOAc 2 mol/L (Alvarez V. et al., 2001). [9/] Extrator acetato de cálcio 0,5 mol/L pH 7,0 (Embrapa, 1997). [10/] Yeomans & Bremner (1988).

Os tratamentos corresponderam ao arranjo fatorial 2 (1 + 2) 2 sendo dois sistemas de manejo: cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM), (1 + 2) solo peneirado por malha de 4 mm e duas classes de agregados (< 0,5 e 0,5 - 4,0 mm), e dois potenciais de água do solo (-40 e -10 kPa). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições.

As unidades experimentais foram vasos plásticos com 5 dm^3 de amostra. Os vasos receberam esse volume de solo ou agregados, com umidade previamente ajustada a -10 kPa. Cada unidade experimental recebeu um tensiômetro para monitorar o potencial de água do solo. Com a curva de retenção de água do solo ajustou-se uma equação de regressão do tipo $U = a\,h^b$, em que U é o conteúdo de água (kg/kg) e h é a altura de mercúrio no manômetro (cm Hg, 1 cm Hg ˜ 1,333 kPa) (Quadro 1.2). As equações apresentadas no Quadro 1.2 foram utilizadas no controle diário da umidade do solo, para o cálculo da água necessária para manter os vasos nos valores, de-40 e –10 kPa, respectivamente.

Quadro 1.2. Equação de regressão ajustada entre o conteúdo de água no solo (U, em kg/kg) e a altura da coluna de mercúrio (h, em cm), considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), dentro de cada sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Equação de regressão	R^2
CER	Solo	$U = 0{,}422\ h^{-0{,}0776}$	0,986
	AG < 0,5 mm	$U = 0{,}450\ h^{-0{,}0765}$	0,971
	AG 0,5 - 4,0 mm	$U = 0{,}384\ h^{-0{,}0609}$	0,946
CCM	Solo	$U = 0{,}471\ h^{-0{,}1018}$	0,908
	AG < 0,5 mm	$U = 0{,}506\ h^{-0{,}1070}$	0,983
	AG 0,5 - 4,0 mm	$U = 0{,}338\ h^{-0{,}0606}$	0,951

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM).

Após o período de uniformização da umidade semeou-se o milho (variedade BRS-3060), colocando seis sementes por vaso. Sete dias após a emergência foi realizado o desbaste, deixando três plantas por vaso. Da semeadura até o desbaste, o potencial de água do solo nos vasos foi corrigido

para -10 kPa. Em seguida, os tratamentos de -40 kPa não receberam água, até atingir o potencial desejado.

Aos 70 dias da semeadura, determinaram-se a altura e o diâmetro do caule das plantas. As folhas foram destacadas e a área foliar determinada, imediatamente, com equipamento Li-cor, modelo 3100. Em seguida, separaram-se caules e raízes. Todos os materiais foram secos em estufa de ventilação forçada a 75 °C, até peso constante, e pesados. Então, juntaram-se caules e folhas, procedendo-se à moagem da parte aérea e das raízes. Desses materiais retiraram-se duas amostras, sendo a primeira submetida à digestão nitroperclórica e a segunda, à digestão sulfúrica. No extrato da digestão nitroperclórica foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu, por leitura direta em ICP-EOS (espectrofotômetro de emissão ótica em plasma induzido). O N total da parte aérea e das raízes das plantas de milho foi determinado no extrato da digestão sulfúrica, pelo método de Kjeldahl (Tedesco et al., 1995). Foram calculados o conteúdo de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu com os teores desses nutrientes e a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes.

Os resultados foram submetidos à análise de variância. Comparou-se o efeito do sistema de manejo e formularam-se cinco contrastes ortogonais dentro de cada sistema de manejo do solo, CER ou CCM (Quadro 1.3). Acrescentaram-se dois contrastes adicionais (CA_1 e CA_2), visando decompor o efeito do potencial dentro de cada classe de agregados. Optou-se por trabalhar com contrastes médios, dividindo-se o resultado de cada contraste por $\frac{1}{2}S|c_i|$, em que $|c_i|$ representa o valor absoluto do respectivo coeficiente (Alvarez V. & Alvarez, 2006). A significância dos contrastes foi testada pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade.

Quadro 1.3. Coeficientes dos contrastes (C) e contrastes adicionais (CA) utilizados na comparação do material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), e do potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo, cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM)[1/]

Material	Potencial	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
	kPa							
Solo	- 40	-2	0	0	0	-1	0	0
	- 10	-2	0	0	0	1	0	0
AG < 0,5 mm	- 40	1	-1	-1	1	0	-1	0
	- 10	1	-1	1	-1	0	1	0
AG 0,5 - 4,0 mm	- 40	1	1	-1	-1	0	0	-1
	- 10	1	1	1	1	0	0	1

[1/] C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A decisão de não interferir na fertilidade das amostras de solo utilizadas no ensaio, corrigindo eventuais deficiências de nutrientes, permitiu observar alguns problemas nutricionais nas plantas. Aos 20 dias após a emergência, a maioria das plantas apresentou arroxeamento nas folhas velhas e no caule, sintoma característico de deficiência de P. Esse sintoma diminuiu posteriormente devido ao crescimento do sistema radicular, facilitando a absorção do nutriente, transportado por difusão. De modo adicional, na amostra retirada na área sob cultivo contínuo com milho em sistema convencional (CCM), as plantas apresentaram folhas velhas amareladas, que progrediu em secamento e posterior queda das mesmas; e internódios curtos, no período de duração ensaio, características estas indicativas de deficiência de N e Zn, respectivamente.

As características fitotécnicas determinadas no final do ensaio estão apresentadas no Quadro 1.4. Observa-se que todas elas mostraram diferenças estatisticamente significativas para o sistema de manejo, com valores superiores nas plantas cultivadas nas amostras de solo retiradas do sistema

Quadro 1.4. Altura de planta, diâmetro do caule (?), área foliar (AF), área foliar específica (AFE), produção de matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC), da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) e relação MSPA/MSR das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	Altura	?	AF	AFE	Produção de matéria seca				MSPA/MSR
							MSF	MSC	MSPA	MSR	
		kPa	cm	mm	cm^2/vaso	m^2/kg	g/vaso				g $vaso^{-1}$/ g $vaso^{-1}$
CER	Solo	-40	83,10	5,94	1.509,63	24,37	6,19	4,24	10,42	4,52	2,34
		-10	97,83	7,31	2.546,66	20,34	12,51	9,99	22,50	7,13	3,16
	AG < 0,5 mm	-40	85,54	6,07	1.697,64	24,39	7,00	4,89	11,89	4,70	2,50
		-10	103,50	8,16	3.117,00	20,86	14,97	12,42	27,39	7,74	3,57
	AG 0,5 - 4,0 mm	-40	50,14	4,34	399,44	19,81	2,03	1,04	3,01	2,40	1,28
		-10	82,30	5,60	1.497,59	22,20	6,75	4,80	11,55	6,08	1,91
	Média[2/]		83,74 A	6,24 A	1.794,64 A	22,00A	8,24 A	6,23 A	14,47 A	5,43 A	2,46 A
CCM	Solo	-40	72,86	5,36	891,54	17,21	5,17	5,03	10,20	4,25	2,41
		-10	75,85	5,46	890,40	15,47	5,76	5,83	11,59	4,15	2,80
	AG < 0,5 mm	-40	69,48	4,92	870,34	17,26	5,01	4,98	9,98	3,90	2,56
		-10	75,13	5,48	910,60	16,80	5,42	6,19	11,61	3,50	3,34
	AG 0,5 - 4,0 mm	-40	46,37	4,11	349,42	16,14	2,17	1,82	3,98	3,10	1,30
		-10	55,70	5,12	509,48	16,10	3,17	2,92	6,08	3,80	1,60
	Média[2/]		65,90 B	5,08 B	736,96 B	16,50 B	4,45 B	4,46 B	8,91 B	3,78 B	2,34 B

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

cerradão (CER). Constata-se, pela caracterização (Quadro 1.1), que o N foi o nutriente determinante para as diferenças apontadas, que resultaram em valores expressivamente superiores de área foliar e produção de matéria seca, quando o sistema CER é comparado ao sistema CCM.

A cultura do milho remove grande quantidade de nitrogênio do solo. Dessa maneira, a disponibilidade de N constitui uma das causas limitantes à produtividade do milho, por ser o nutriente absorvido em maior quantidade e também por apresentar uma dinâmica muito complexa no solo. Geralmente é necessário o uso de adubação nitrogenada para complementar a quantidade suprida pelo solo, quando o objetivo é alcançar altas produtividade (Cantarella, 1993; Fernandes et al., 1998). A baixa disponibilidade de N nas amostras de solo provenientes da área sob o sistema CCM limitou a produção de matéria seca das plantas cultivadas neste sistema de manejo.

Comparando o solo *vs* classes de agregados (C_1, Quadro 1.5) dentro de cada um dos sistemas de manejo, CER e CCM, constata-se que houve aumento em todas as variáveis determinadas nas plantas cultivadas na amostra do solo, em ambos os sistemas. Este fato está, possivelmente, relacionado com a maior heterogeneidade do meio poroso desse material, onde a maior continuidade do fluxo de água e nutrientes no material solo (principalmente, com relação à classe de agregados 0,5 – 4,0 mm) contribui para favorecer o crescimento das plantas.

Na comparação do tamanho dos agregados em ambos os sistemas, CER e CCM (C_2, Quadro 1.5), verifica-se que os maiores valores das variáveis estudadas encontraram-se nas plantas cultivadas nos agregados < 0,5 mm. Essa resposta foi mostrada nos dois sistemas de manejos, porém mais acentuadamente no sistema CER, o que é justificado pela maior disponibilidade de água e nutrientes nesses materiais (Quadro 1.1). Assim, comprova-se que eventuais problemas de aeração ou de compactação devido ao predomínio de agregados, pequenos, mais argilosos, não foram suficientes para reduzir as variáveis estudadas.

Quadro 1.5. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando a altura de planta, o diâmetro do caule, a área foliar (AF), a área foliar específica (AFE), a produção de matéria seca das folhas (MSF), do caule (MSC), da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR) e relação MSPA/MSR das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados e o potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
Altura (cm)	- 10,10**	-28,30**	25,06**	7,10**	14,73**	17,96**	32,16**
Diâmetro do caule (mm)	-0,58**	-2,14**	1,67**	-0,41	1,37**	2,09**	1,26**
AF (cm^2/vaso)	-350,23**	-1.458,80**	1.258,75**	-160,60	1.037,03**	1.419,35**	1.098,15**
AFE (m^2/kg)	-0,54	-1,62**	-0,57	2,96**	-4,03**	-3,53**	2,39**
MSF (g/vaso)	-1,66**	-6,59**	6,34**	-1,62**	6,33**	7,97**	4,72**
MSC (g/vaso)	-1,33**	-5,74**	5,65**	-1,89**	5,76**	7,53**	3,76**
MSPA (g/vaso)	-2,99**	-12,33**	11,99**	-3,51**	12,08**	15,50**	8,48**
MSR (g/vaso)	-0,60**	-1,98**	3,36**	0,31	2,61**	3,05**	3,68**
MSPA/MSR (g $vaso^{-1}$/g $vaso^{-1}$)	-0,44**	-1,44**	0,85**	-0,22	0,82**	1,07**	0,63**
			CCM				
Altura (cm)	-12,69**	-21,27**	7,49**	1,84	2,99	5,64	9,33**
Diâmetro do caule(mm)	-0,51*	-0,58*	0,79**	0,22	0,10	0,57	1,01**
AF (cm^2/vaso)	-231,01**	-461,02**	100,15	59,90	-1,14	40,25	160,06
AFE (m^2/kg)	0,24	-0,91	-0,25	0,21	-1,74*	-0,46	-0,04
MSF (g/vaso)	-1,53**	-2,55**	0,71	0,30	0,59	0,41	1,00
MSC (g/vaso)	-1,45**	-3,22**	1,16**	-0,06	0,08	1,22*	1,10*
MSPA (g/vaso)	-2,98**	-5,77**	1,86**	0,24	1,39	1,63	2,10*
MSR (g/vaso)	-0,63**	-0,24	0,14	0,56*	-0,11	-0,42	0,69*
MSPA/MSR (g $vaso^{-1}$/g $vaso^{-1}$)	-0,41**	-1,50**	0,54**	-0,24	0,39*	0,78**	0,30

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/agregados. C_4: Interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Carvalho (1998) mostrou que a retenção de água aumenta com a diminuição do tamanho dos agregados, em razão da concentração de argilas e matéria orgânica nos agregados menores. É provável que esse resultado na comparação do tamanho de agregados também se deva à tortuosidade do meio poroso. Agregados maiores, com textura mais arenosa, apresentam maior tortuosidade em condições de não-saturação, em relação às frações mais finas (agregados menores). Assim, quando há redução no fator de impedância no material formado de agregados maiores, ocorre diminuição na difusão de nutrientes nos agregados, tendo como respostas menor transporte de nutrientes até a superfície das raízes e, conseqüentemente, menor crescimento das plantas. Essa justificativa é valida, pois em condições de não-saturação a condutividade hidráulica diminui mais acentuadamente em um solo arenoso que em um argiloso (Hillel, 1971).

Para o potencial de água do solo (C_3, Quadro 1.5), constata-se que o incremento na disponibilidade de água levou ao aumento das variáveis determinadas para as plantas cultivadas nas amostras retiradas do sistema CER. Nesse caso, o maior crescimento das plantas deve ser atribuído não somente ao fluxo de água superior, mas também ao incremento no transporte de nutrientes. Ademais, o maior conteúdo de água no solo favorece a difusão pelo seu efeito direto sobre o coeficiente de difusão e por reduzir a tortuosidade do caminho difusivo, aumentando o fator de impedância e, conseqüentemente, o valor do coeficiente de difusão (Barber, 1984). Por outro lado, a redução nos fluxos de água e nutrientes influencia indiretamente os processos de biossíntese, em função da redução na eficiência de fixação e utilização do C para produção de matéria seca.

O aumento da disponibilidade de água teve pouca influência na produção de matéria seca das plantas cultivadas nas amostras retiradas sob cultivo contínuo com milho, CCM. Essa constatação é verificada pela esporádica significância dos contrastes C_3, C_4, C_5 CA_1 e CA_2 dentro do sistema CCM (Quadro 1.5). A resposta ratifica que a baixa disponibilidade de

N (Quadro 1.1) foi o fator limitante da produção nesse sistema, diante da diferença na disponibilidade de água.

Nos estádios iniciais de crescimento do milho as exigências nutricionais são pequenas, mas apesar disso altas concentrações de N, na zona radicular, são benéficas para promover um rápido crescimento da planta. Considerando o sistema radicular pouco desenvolvido nessa fase inicial, somente um pequeno volume de solo é explorado, conseqüentemente grande concentração de N é necessária próximo ao sistema radicular para atender à demanda da planta, pois é nessa fase inicial que ocorrem diferenciações em várias partes da planta. São determinados também os tamanhos finais das folhas, espigas e outras partes da planta (Crawford et al., 1982; Yamada, 1996; Varvel et al., 1997).

Por meio do contraste 4, que compara a interação do tamanho do agregado com o potencial de água do solo, verificou-se efeito positivo e significativo para as variáveis altura de plantas e área foliar específica, no sistema CER (C_4, Quadro 1.5), indicando que para ambas as classes de agregados houve aumento significativo dessas duas variáveis no maior potencial de água (-10 kPa). Esse resultado é confirmado pelo desdobramento do potencial dentro de cada classe de agregado, contrastes CA_1 e CA_2, sendo esses positivos e significativos para todas as variáveis (Quadro 1.5).

Já para produção de matéria seca de folhas, caules e parte aérea, em conjunto, a interação foi negativa nas amostras provenientes do sistema CER (C_4, Quadro 1.5). Quando analisado o efeito do potencial dentro de cada classe de agregados, observou-se resposta positiva (CA_1 e CA_2, Quadro 1.5), o que indica que tanto os agregados < 0,5 mm quanto os de 0,5 - 4,0 mm mostraram resposta ao potencial de água para produção de matéria seca. Assim, em condição de maior disponibilidade de água as plantas apresentaram maior produção de matéria seca da parte aérea (Quadros 1.4 e 1.5).

Os teores dos nutrientes determinados separadamente, na parte aérea e nas raízes, estão nos Quadros 1.6 e 1.7. Observa-se, na comparação dos sistemas de manejo, que os teores de nutrientes na parte aérea mostraram

Quadro 1.6. Teores de macro e de micronutrientes na parte aérea das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	g/kg						mg/kg			
CER	Solo	- 40	18,74	0,94	10,93	5,90	6,36	1,19	129,23	166,62	59,11	4,42
		- 10	12,02	0,76	5,64	5,21	5,55	0,78	130,99	110,83	36,88	4,58
	AG < 0,5 mm	- 40	19,52	0,90	9,47	5,60	6,18	1,16	152,24	166,01	60,47	4,93
		- 10	11,13	0,76	5,09	4,96	5,41	0,73	134,07	127,92	36,71	4,44
	AG 0,5 – 4,0 mm	- 40	19,63	0,97	14,95	8,51	6,62	1,33	184,25	246,00	56,71	7,25
		- 10	13,02	0,84	8,69	5,98	5,71	0,96	140,93	130,93	48,30	5,49
	Média[2/]		15,68 A	0,86 B	9,13 B	6,03 A	5,97 A	1,02 A	145,3 A	158,0 A	49,70 A	5,19 A
CCM	Solo	- 40	5,14	1,11	13,45	3,28	1,87	0,56	85,03	115,90	30,00	1,49
		- 10	4,91	1,12	13,22	3,09	1,76	0,55	102,44	87,72	26,64	0,89
	AG < 0,5 mm	- 40	5,41	1,13	15,12	3,47	1,89	0,60	126,91	120,51	40,42	1,35
		- 10	4,79	1,02	13,96	2,99	1,60	0,53	106,49	85,42	26,01	1,01
	AG 0,5 - 4,0 mm	- 40	8,08	0,94	20,47	4,73	2,20	0,71	139,35	186,36	44,25	1,93
		- 10	5,14	1,22	16,00	4,18	2,03	0,60	109,71	126,13	34,52	1,72
	Média[2/]		5,58 B	1,09 A	15,37 A	3,62 B	1,89 B	0,59 A	111,6 B	120,3 B	33,64 B	1,40 B

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

Quadro 1.7. Teores de macro e de micronutrientes nas raízes das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	g/kg						mg/kg			
CER	Solo	- 40	16,81	0,74	9,28	4,51	1,51	1,12	1892	81,08	33,02	39,73
		- 10	10,74	0,57	5,22	4,19	1,11	0,76	1963	67,18	17,32	26,78
	AG < 0,5 mm	- 40	18,74	0,87	10,69	4,84	1,77	1,26	2259	87,15	30,74	47,86
		- 10	10,05	0,66	5,01	4,17	1,08	0,80	1847	64,63	15,55	34,51
	AG 0,5 - 4,0 mm	- 40	14,99	0,70	12,27	5,30	1,52	0,99	1096	90,87	29,71	22,59
		- 10	10,28	0,60	5,92	4,47	1,24	0,88	1728	92,71	29,31	32,00
	Média[2/]		13,60 A	0,69 B	8,07 B	4,58 A	1,37 A	0,97 B	1798 A	80,60 B	25,94 B	33,91 A
CCM	Solo	- 40	6,77	0,83	15,65	2,15	0,54	1,31	1686	96,84	21,53	23,68
		- 10	7,07	0,79	13,98	2,05	0,50	1,34	1975	88,82	23,18	21,18
	AG < 0,5 mm	- 40	6,18	0,83	17,83	2,15	0,59	1,37	2201	92,50	35,10	29,43
		- 10	5,80	0,71	15,70	1,72	0,43	1,41	1417	65,36	18,00	17,63
	AG 0,5 - 4,0 mm	- 40	8,35	0,83	19,09	2,84	0,74	1,09	1177	127,50	43,90	12,27
		- 10	7,07	0,79	14,31	2,42	0,55	1,27	1146	111,16	30,30	29,79
	Média[2/]		6,87 B	0,80 A	16,09 A	2,22 B	0,56 B	1,30 A	1600 A	97,03 A	28,69 A	22,33 B

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

superioridade nas plantas cultivadas em amostras retiradas do sistema CER, em relação àquelas retiradas do sistema CCM, à exceção do P e do K. O S não apresentou diferença significativa entre os sistemas de manejo (Quadro 1.6).

Destaca-se que a presença determinante de disponibilidade diferenciada de N no sistema CER (Quadro 1.1) levou às maiores produções de matéria seca em todas as partes das plantas cultivadas nesse sistema (Quadro 1.4). Assim, ressalta-se que a possibilidade de diluição das quantidades de P e K em uma maior biomassa foliar não deve ser descartada no sistema CER.

Considerando que o histórico de uso do sistema CCM reflete um plantio convencional com adubações periódicas ao longo de 30 anos, os resultados da caracterização química do solo evidenciam que o tempo de cultivo em sistema convencional foi suficiente para reduzir os teores de nutrientes do solo, exceto o P, o K e o S (Quadro 1.1). Os dois primeiros nutrientes, em geral, são incorporados em doses mais elevadas, principalmente no que diz respeito ao P. Essa constatação justifica os menores teores de nutrientes na parte aérea das plantas cultivadas nas amostras retiradas do sistema CCM, à exceção do P e K (Quadro 1.6).

Nas raízes, além da resposta para P e K observadas para a parte aérea, as plantas cultivadas nas amostras retiradas do sistema CCM apresentaram teores superiores de S, Mn e Zn (Quadro 1.7).

Os contrastes calculados para os teores dos nutrientes na parte aérea estão no Quadro 1.8. N, K, Ca e Mn, nos dois sistemas de manejo, CER e CCM, apresentaram maiores teores, quando comparados às classes de agregados contra o solo (C_1, Quadro 1.8). Resposta semelhante foi constatada para o Cu, nas amostras retiradas do sistema CER, e para o Zn, nas amostras do sistema CCM. Observa-se que os maiores teores foram obtidos nas plantas cultivadas nos agregados de 0,5 - 4,0 mm (Quadro 1.6). Nesses mesmos agregados registrou-se o menor crescimento das plantas (Quadro 1.4). Como a resposta do solo foi semelhante àquela dos agregados menores, os teores determinados nas plantas cultivadas nos agregados maiores foram determinantes para as diferenças observadas.

Quadro 1.8. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando os teores de macro e de micronutrientes na parte aérea das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
N (g/kg)	0,45**	1,00**	-7,50**	0,89**	-6,72**	-8,39**	-6,61**
P (g/kg)	0,01	0,08*	-0,13**	0,00	-0,18**	-0,13*	-0,14*
K (g/kg)	1,27*	4,53**	-5,32**	-0,94	-5,29**	-4,38**	-6,26**
Ca (g/kg)	0,71**	1,96**	-1,58**	-0,95**	-0,68*	-0,63*	-2,53**
Mg (g/kg)	0,02	0,37*	-0,84**	-0,07	-0,82**	-0,78**	-0,91**
S (g/kg)	0,06	0,20**	-0,40**	0,03	-0,41**	-0,43**	-0,37**
Fe (mg/kg)	22,77	19,44	-30,74	-12,58	1,76	-18,16	-43,32
Mn (mg/kg)	28,99**	41,50**	-76,58**	-38,49**	-55,79**	-38,09**	-115,1**
Zn (mg/kg)	2,55	3,92	-16,08**	7,67**	-22,23**	-23,76**	-8,41*
Cu (mg/kg)	1,03*	1,69**	-1,12*	-0,63	0,16	-0,49	-1,76*
			CCM				
N (g/kg)	0,83**	1,51**	-1,78**	-1,16**	-0,23**	-0,62**	-2,94**
P (g/kg)	-0,03	0,00	0,09*	0,20**	0,01	-0,11	0,29**
K (g/kg)	3,06**	3,70**	-2,81**	-1,66*	-0,23	-1,16	-4,47**
Ca (g/kg)	0,66**	1,22**	-0,51*	-0,04	-0,19	-0,48	-0,55
Mg (g/kg)	0,12	0,37*	-0,23	0,06	-0,11	-0,29	-0,17
S (g/kg)	0,05	0,09**	-0,09**	-0,02	-0,01	-0,07	-0,11*
Fe (mg/kg)	26,88	7,83	-25,03	-4,61	17,41	-20,42	-29,64
Mn (mg/kg)	27,80**	53,28**	-47,66**	-12,57	-28,18**	-35,09**	-60,23**
Zn (mg/kg)	7,99**	6,17*	-12,07**	2,34	-3,35	-14,41**	-9,72**
Cu (mg/kg)	0,31	0,65	-0,28	0,06	-0,60	-0,34	-0,21

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs*, agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Essa afirmativa é corroborada na comparação do tamanho dos agregados (C_2, Quadro 1.8). Quando significativos, os contrastes apresentam sempre sinal positivo, indicativo dos teores maiores nos agregados de 0,5 - 4,0 mm, em ambos os sistemas de manejo, CER e CCM. Esses valores são coerentes com as menores produções de matéria seca nesses agregados (Quadro 1.4). É possível que este comportamento seja devido ao efeito de concentração, causado pelo menor crescimento da área foliar das plantas cultivadas nesses materiais (Quadro 1.4).

Considerando o sistema CER, houve incremento dos teores de nutrientes, em geral com o potencial de água do solo (C_3, C_5, CA_1 e CA_2, Quadro 1.8), com diferenças mais acentuadas que aquelas registradas para o tamanho dos agregados (C_2, Quadro 1.8). A maior disponibilidade de água (-10 kPa) proporcionou maior produção de tecidos vegetais (Quadro 1.4), com diminuição dos teores de nutrientes observados, à exceção do Fé, que não apresentou diferença (Quadro 1.8). Quando o crescimento é limitado, por exemplo, por menor disponibilidade hídrica no potencial de -40 kPa, a concentração do nutriente é mantida ou elevada devido à baixa produção de matéria seca. A redução no crescimento é uma estratégia da planta para completar seu ciclo de desenvolvimento e superar a deficiência mineral, permitindo a concentração adequada dos nutrientes nos tecidos da planta em ambientes pobres em nutrientes (Jarrell & Beverly, 1981; Larcher, 2000).

Nas amostras de solo provenientes da área sob cultivo contínuo com milho (CCM), o efeito da maior disponibilidade de água nos teores de nutrientes não foi tão acentuado como nas amostras retiradas do sistema CER. Entretanto, quando o contraste foi significativo, apresentou a mesma tendência do sistema CER (Quadro 1.8). Esses resultados indicam que para o sistema CCM a condição limitante para o crescimento das plantas foi mais nutricional que hídrica, com destaque para a baixa disponibilidade de N, como previamente indicado. O N é o nutriente exigido em maior quantidade e o que mais influencia a produtividade do milho (Amado et al., 2002).

Os teores de nutrientes determinados nas raízes do milho apresentaram menos contrastes significativos, quando comparados com aqueles analisados para a parte aérea (Quadro 1.9). Em geral, as plantas satisfazem inicialmente as exigências nutricionais do sistema radicular, reduzindo o transporte de nutrientes para a parte aérea. Os valores reduzidos da relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, em condições mais desfavoráveis de crescimento, corroboram essa suposição (Quadro 1.4).

Quadro 1.9. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando os teores de macro e de micronutrientes nas raízes das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
N (g/kg)	-0,26**	-1,76**	-6,70**	1,99**	-6,07**	-8,69**	-4,72**
P (g/kg)	0,05	-0,11**	-0,16**	0,06	-0,17**	-0,21**	-0,10*
K (g/kg)	1,22	1,24	-6,02**	-0,34	-4,06*	-5,68**	-6,35**
Ca (g/kg)	0,35	0,38	-0,75**	-0,08	-0,33	-0,67	-0,83*
Mg (g/kg)	0,09	-0,04	-0,48**	0,21*	-0,41**	-0,69**	-0,27*
S (g/kg)	0,04	-0,10	-0,29**	0,17*	-0,36**	-0,46**	-0,11
Fe (mg/kg)	-194,86	-641,24*	109,66	522,03	70,51	-412,37	631,69
Mn (mg/kg)	9,71	15,89	- 10,34	12,18	-13,90	-22,52	1,84
Zn (mg/kg)	1,16	6,37	-7,79*	7,40*	-15,70**	-15,19**	-0,40
Cu (mg/kg)	0,98	-13,89**	-1,97	11,38**	-12,95**	-13,35*	9,41
			CCM				
N (g/kg)	-0,07	1,72**	-0,83**	-0,44**	0,31**	-0,39**	-1,28**
P (g/kg)	-0,02	0,04	-0,08*	0,04	-0,04	-0,12*	-0,04
K (g/kg)	1,92	-0,06	-3,45**	-1,33	-1,68	-2,12	-4,78**
Ca (g/kg)	0,18	0,70*	-0,43	0,01	-0,10	-0,44	-0,43
Mg (g/kg)	0,06	0,13	-0,17**	-0,02	-0,04	-0,15	-0,19
S (g/kg)	-0,04	-0,20**	0,11	0,07	0,03	0,04	0,18
Fe (mg/kg)	-345,16	-647,8**	-407,48	376,87	289,37	-784,34	-30,61
Mn (mg/kg)	6,30	40,40**	-21,74	5,40	-8,02	-27,14*	-16,34
Zn (mg/kg)	9,50**	10,56**	-15,38**	1,76	1,65	-17,14**	-13,62**
Cu (mg/kg)	-0,15	-2,50	2,85	14,66**	-2,50	-11,81**	17,51**

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

O conteúdo de nutrientes na parte aérea das plantas de milho é apresentado no Quadro 1.10. Observa-se que as plantas cultivadas em amostras retiradas do sistema CER apresentaram a seqüência N>K>Mg>Ca>S>P e as cultivadas em amostras retiradas do sistema CCM, K>N>Ca>Mg>P>S. Neste último sistema, o fato de o K preceder o N corrobora a baixa disponibilidade deste último nutriente nessas amostras de solo, como indicado na caracterização (Quadro 1.1) e confirmado na análise de resultados previamente apresentados. Com relação aos micronutrientes, a seqüência foi Mn˜Fe>Zn>Cu para ambos os sistemas, CER e CCM, com mínimas diferenças entre Mn e Fe.

Comparando os sistemas de manejo, CER *vs* CCM, a maior absorção de nutrientes ocorreu nas plantas cultivadas em amostras de solo retiradas do sistema CER, à exceção do K (Quadro 1.10). Essas diferenças foram observadas tanto na produção de matéria seca, quanto nos teores dos nutrientes (Quadros 1.4 e 1.6). A exceção foi o P, que na plantas cultivadas em amostras retiradas do sistema CER apresentou teor inferior. A maior produção de matéria seca evidencia efeito de diluição para este nutriente.

Em geral, pode-se afirmar que a quantidade de nutrientes absorvida pelas plantas é função das condições edafoclimáticas e das características genéticas do vegetal. Dentre os fatores edafoclimáticos, a disponibilidade de nutrientes e a umidade do solo têm sido consideradas os principais responsáveis por alterações nos padrões de absorção de nutrientes. Por outro lado, as influências genéticas na absorção de nutrientes estão relacionadas com as características morfológicas e fisiológicas da planta, que, por sua vez, influenciam os coeficientes cinéticos de absorção (Glass, 1989, Marschner, 1995). No presente trabalho, a resposta diferenciada deve ser atribuída às condições edafoclimáticas diferenciadas.

Quando o conteúdo de nutrientes nas raízes é considerado (Quadro 1.11), as plantas cultivadas nas amostras retiradas do sistema CER apresentaram maiores valores que as cultivadas nas amostras sob o sistema CCM, com exceção do K, como previamente apontado para o conteúdo na parte aérea (Quadro 1.10).

Quadro 1.10. Conteúdo de macro e de micronutrientes na parte aérea das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	g/vaso						µg/vaso			
CER	Solo	-40	194,88	9,84	113,45	61,54	66,35	12,34	1.348,65	1.736,22	631,36	46,21
		-10	270,38	17,15	126,79	117,34	124,91	17,48	2.949,19	2.495,71	829,74	103,20
	AG < 0,5 mm	-40	227,21	10,46	107,49	66,81	74,07	13,55	1.759,67	1.958,87	696,71	58,34
		-10	304,65	20,88	139,43	136,00	147,98	19,89	3.659,67	3.501,50	1.005,00	121,63
	AG 0,5 – 4,0 mm	-40	59,62	2,98	45,39	25,89	20,11	4,07	579,62	749,08	174,17	22,97
		-10	150,39	9,65	100,38	69,19	65,83	11,11	1.626,68	1.509,68	556,96	63,50
	Média[2/]		201,19 A	11,83 A	105,49 B	79,46 A	83,21 A	13,07 A	1.987,26 A	1.991,84 A	645,93 A	69,31 A
CCM	Solo	-40	52,37	11,32	137,07	33,43	19,07	5,69	867,41	1.182,53	306,47	15,32
		-10	56,88	12,95	153,14	35,78	20,34	6,35	1.187,00	1.016,77	308,63	10,27
	AG < 0,5 mm	-40	53,85	11,30	150,14	34,47	18,81	5,95	1.274,27	1.193,35	399,26	13,20
		-10	55,53	11,85	159,60	34,63	18,59	6,07	1.229,31	986,73	298,24	11,30
	AG 0,5 - 4,0 mm	-40	32,18	3,73	81,47	18,85	8,78	2,83	547,91	743,63	176,10	7,70
		-10	31,25	7,43	97,17	25,34	12,34	3,61	666,45	765,82	210,00	10,41
	Média[2/]		47,01 B	9,76 B	129,76 A	30,42 B	16,32 B	5,08 B	962,06 B	981,47 B	283,12 B	11,37 B

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

Quadro 1.11. Conteúdo de macro e de micronutrientes nas raízes das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	g/vaso						µg/vaso			
CER	Solo	-40	76,50	3,35	42,31	20,31	6,84	5,01	8765,71	365,78	149,65	179,17
		-10	76,59	4,08	37,15	29,83	7,89	5,41	14.006,11	479,14	123,30	191,10
	AG < 0,5 mm	-40	87,04	4,09	48,91	22,56	8,16	5,86	10.390,06	400,14	141,06	224,06
		-10	78,29	5,11	38,95	32,27	8,32	6,22	14.326,99	499,73	121,89	267,68
	AG 0,5 – 4,0 mm	-40	35,91	1,68	29,12	12,81	3,66	2,37	2.666,27	218,16	71,83	54,72
		-10	62,79	3,68	36,42	27,43	7,63	5,34	10.682,02	570,24	181,58	195,00
	Média[2/]		69,52 A	3,67 A	38,81 B	24,20 A	7,08 A	5,04 A	10.139,53 A	422,20 A	131,55 A	185,29 A
CCM	Solo	- 40	28,71	3,52	66,13	9,14	2,30	5,58	7.267,72	417,38	92,10	101,94
		-10	29,35	3,28	57,76	8,54	2,07	5,56	8.363,53	371,64	97,12	88,31
	AG < 0,5 mm	-40	24,09	3,23	69,68	8,41	2,28	5,33	8.618,30	361,39	136,72	114,95
		-10	20,16	2,46	53,91	5,90	1,49	4,85	4.878,74	225,74	61,77	60,65
	AG 0,5 - 4,0 mm	-40	25,88	2,57	58,88	8,81	2,28	3,37	3.704,35	394,76	136,30	38,54
		-10	26,85	3,00	54,29	9,18	2,07	4,84	4.346,04	422,60	115,40	113,41
	Média[2/]		25,84 B	3,01 B	60,11 A	8,33 B	2,08 B	4,92 B	6.196,45 B	365,59 B	106,57 B	86,30 B

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

Considerando outro fator em estudo, solo ou agregados, observa-se que o conteúdo de nutrientes na parte aérea foi sensivelmente inferior nas plantas cultivadas nos agregados de 0,5 - 4,0 mm, para os dois sistemas de manejo estudados (Quadro 1.10). Isso levou à significância registrada nos dois primeiros contrastes analisados, que confronta o solo contra as classes dos agregados e entre agregados menores *vs* agregados maiores, C_1 e C_2, respectivamente (Quadro 1.12). As diferenças de produção e de teores (Quadros 1.4 e 1.6) resultam nos valores indicados no Quadro 1.10, que, quando estatisticamente analisados, resultaram nas diferenças apontadas.

Como esperado, houve resposta à disponibilidade de água quando as plantas cultivadas em amostras retiradas do sistema CER (C_3, C_5, CA_1 e CA_2, Quadro 1.12) foram analisadas. O maior potencial de água do solo, ou seja, o aumento da disponibilidade de água, melhorou as condições nutricionais, acentuando-se a translocação de nutrientes das raízes para a parte aérea das plantas.

Na amostra de solo retirada do sistema CCM houve resposta positiva ao incremento na disponibilidade de água apenas para o conteúdo de K e P (C_3, C_5 e CA_2, Quadro 1.12). Como previamente indicado, nesse solo houve baixa disponibilidade de N, prejudicando o crescimento das plantas. Assim, a água não foi o principal fator limitante ao crescimento das plantas. Os dois macronutrientes que apresentaram diferenças estatisticamente significativas foram aqueles transportados por difusão, em que o conteúdo de água é de fundamental importância.

Verifica-se que houve interação entre o tamanho dos agregados e o potencial de água, na amostra de solo proveniente do sistema CER (C_4, Quadro 1.12). Desdobrando esse contraste, constata-se o efeito do potencial de água em cada classe de agregados, com resposta ao conteúdo de água do solo (CA_1 e CA_2, Quadro 1.12).. Esses resultados refletem o efeito da disponibilidade de água no conteúdo de nutrientes na parte aérea, confirmando que na condição de maior disponibilidade de água (-10 kPa) houve maior absorção de nutrientes pelas plantas.

Quadro 1.12. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando o conteúdo de macro e de micronutrientes na parte aérea das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial da água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
N (mg/vaso)	-47,17**	-160,62**	84,11**	6,66	75,49**	77,44**	90,77**
P (mg/vaso)	-2,50**	-9,35**	8,55**	-1,88**	7,31**	10,42**	6,67**
K (mg/vaso)	-21,95**	-50,58**	43,47**	11,52*	13,34	31,95**	54,99**
Ca (mg/vaso)	-14,97**	-53,86**	56,24**	-12,95*	55,80**	69,19**	43,29**
Mg (mg/vaso)	-18,64**	-68,05**	59,82**	-14,09**	58,56**	73,91**	45,72**
S (mg/vaso)	-2,76**	-9,13**	6,69**	0,35	5,14**	6,34**	7,04**
Fe (µg/vaso)	-242,59	-1606,55**	1473,50**	-426,44*	1600,55**	1899,94**	1047,06**
Mn (µg/vaso)	-186,18	-1600,81**	1151,62**	-391,02**	759,49**	1542,63**	760,60**
Zn (µg/vaso)	-113,43**	-485,11**	345,37**	37,42	216,38**	307,95**	382,79**
Cu (µg/vaso)	-8,10	-46,75**	51,91**	-11,38*	56,99**	63,29**	40,53*
			CCM				
N (mg/vaso)	-11,42	-22,98*	0,38	-1,30	4,50	1,68	-0,93
P (mg/vaso)	-3,56**	-5,99**	2,12**	1,58*	1,63*	0,54	3,70**
K (mg/vaso)	-23,01**	-65,55**	12,58*	3,12	16,08*	9,47	15,70*
Ca (mg/vaso)	-6,28	-12,45*	3,32	3,17	2,35	0,16	6,49
Mg (mg/vaso)	-5,07	-8,14	1,67	1,89	1,27	-0,22	3,56
S (mg/vaso)	-1,41*	-2,79**	0,45	0,33	0,66	0,12	0,79
Fe (µg/vaso)	-97,72	-644,61**	36,79	81,75	319,59	-44,96	118,53
Mn (µg/vaso)	-177,27	-335,31**	-92,22	114,41	-165,76	-206,63	22,19
Zn (µg/vaso)	-36,65	-155,70**	-33,56	67,46*	2,16	- 101,02*	33,90
Cu (µg/vaso)	-2,14	-3,20	0,41	2,31	-5,05	-1,90	2,71

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Os contrastes que comparam os efeitos dos tratamentos sobre o conteúdo de nutrientes nas raízes mostram que, quando significativos, eles acompanharam as tendências apresentadas pelo conteúdo na parte aérea, na análise dos contrastes solo *vs* agregados, agregados 0,5 - 4,0 mm *vs* agregados < 0,5 mm e potencial da água do solo (Quadro 1.13).

Quadro 1.13. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando o conteúdo de macro e de micronutrientes nas raízes das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial da água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
N (mg/vaso)	-10,54**	-33,32**	9,06*	17,81**	0,09	-8,75	26,87**
P (mg/vaso)	-0,08	-1,92**	1,51**	0,50*	0,74*	1,01**	2,01**
K (mg/vaso)	-1,38	-11,16*	-1,33	8,63	-5,16	-9,97	7,30
Ca (mg/vaso)	-1,30	-7,30**	12,17**	2,45**	9,51	9,72	14,62**
Mg (mg/vaso)	-0,43	-2,59**	2,06**	1,90**	1,05	0,16	3,97**
S (mg/vaso)	-0,26	-2,18**	1,67**	1,30**	0,40	0,36	2,97**
Fe (µg/vaso)	-1869,56	-5684,35**	5976,37**	2039,43	5240,40*	3936,93	8015,80**
Mn (µg/vaso)	-0,39	-55,73	225,84**	126,25*	113,36	99,59	352,09**
Zn (µg/vaso)	-7,39	-4,77	45,29*	64,46**	-26,35	-19,17	109,75**
Cu (µg/vaso)	0,23	-121,02**	91,95*	48,33*	11,93	43,62	140,28**
			CCM				
N (mg/vaso)	-4,79	4,24	-1,48	2,45	0,64	-3,93	0,98
P (mg/vaso)	-0,58**	-0,06	-0,17	0,60*	-0,24	-0,78*	0,43
K (mg/vaso)	-2,75	-5,21	- 10,18*	5,59	-8,37	-15,77*	-4,59
Ca (mg/vaso)	-0,77	1,84	-1,07	1,44	-0,59	-2,51	0,37
Mg (mg/vaso)	-0,15	0,29	-0,50	0,29	-0,23	-0,79	-0,20
S (mg/vaso)	-0,97**	-0,99**	0,50	0,97**	-0,02	-0,48	1,47**
Fe (µg/vaso)	-2428,77	-2723,32	-1548,93	2190,62	1095,81	-3739,55	641,69
Mn (µg/vaso)	-43,39	115,11*	-53,91	81,75	-45,74	-135,65*	27,84
Zn (µg/vaso)	17,94	26,61	-47,93**	27,02	5,02	-74,95**	-20,90
Cu (µg/vaso)	-13,24	-11,82	10,29	64,59**	-13,63	-54,30	74,88**

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

CONCLUSÕES

1. As plantas cultivadas em amostras de solo retiradas do sistema cerradão (CER) apresentaram maior produção de matéria seca e maior conteúdo de macro e micronutrientes, exceto K, que as cultivadas em amostras provenientes do cultivo contínuo com milho em sistema convencional (CCM). Essa resposta é atribuída, fundamentalmente, à maior disponibilidade de N nas amostras de solo do sistema CER.

2. A produção de matéria seca e o conteúdo de nutrientes diminuem com o aumento do tamanho dos agregados, visto que os menores apresentam

maior disponibilidade de água e nutrientes, independentemente do sistema de manejo, CER e CCM.

3. A influência da água do solo na produção de matéria seca e no conteúdo de nutrientes é mais acentuada na amostra de solo com maior disponibilidade de nutrientes, sistema CER, do que naquela retirada do sistema CCM. Essa resposta ocorreu em razão da menor disponibilidade de N, que, conseqüentemente, limitou a produção das plantas cultivadas nas amostras de solo provenientes do sistema CCM.

LITERATURA CITADA

ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO Jr., E.S.; SOUZA, R.B. & FONSECA, C.A. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa, UFV, 2001. 131p.

ALVAREZ V., V.H. & ALVAREZ, G.A.M. Comparação de médias ou teste de hipóteses? Contrastes! Bol. Inf. SBCS, 31(1):24-34, 2006

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 26:241-248, 2002.

ARAÚJO, C.A.S. Movimento de fósforo e de macronutrientes catiônicos em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, UFV, 1997. 121p. (Tese de Doutorado)

ARAÚJO, C.A.S.; RUIZ, H.A.; SILVA, D.J.; FERREIRA, P.A.; ALVAREZ V., V.H. & BAHIA FILHO, A.F.C. Eluição de magnésio, cálcio e potássio de acordo com o tempo de difusão em colunas com agregados de um Latossolo Vermelho distrófico típico. R. Bras. Ci. Solo, 27:231-238, 2003.

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

BAVER, D.V.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. Física de suelos. México, Uthea, 1973. 529p.

CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.148-196.

CARVALHO, M.A. Retenção de água e outros atributos físicos de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, UFV, 1998. 83p. (Tese de Doutorado)

CRAWFORD, T.W.; RENDIG, V.V. & BROADENT, F.E. Sources, fluxes, and sinks of nitrogen during early reproductive growth of maize (Zea mays L.). Plant Physiol., 70:654-660, 1982.

DEFELIPO, B.V., & RIBEIRO, A.C. Análise química de solo. Viçosa, UFV, 1981. 17p. (Boletim de Extensão)

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; VASCONCELLOS, C.A. & GUEDES, G.A.A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produtividade do milho el Latossolos sob vegetação de cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 22: 247-254, 1998.

FLOSS, F.L. Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê. Passo Fundo, UPF, 2004. 529p.

GLASS, A.D.M. Plant nutrition: an introduction to current concepts. Boston, Jones & Bartlett, 1989. 234p.

GRIFFIN, B.S. The influence of water stress on the physiology and competition of soybean (*Glycine max*) and Florida beggar weed (*Desmodium tortuosum*). Weed Sci., 37:544-551, 1989.

HILLEL, D. Soil and water. Physical principles and processes. New York, Academic Press, 1971. 288p.

JARRELL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. Adv. Agron., 34:197-224, 1981.

JONES, H.G. Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology. 2. ed. Cambridge, Cambridge University Press, 1992. 428p.

KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. Comm. Soil Sci. Plant. Anal., 17:715-723, 1986.

KOHNKE, H. Soil physics. New York, McGraw-Hill, 1968. 224p.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos, RiMa, 2000. 531p.

MACLEAN, A.H. & YAGER, T.V. Available water capacities of Zambian soils in relation to pressure plate measurements and particle size analysis. Soil Sci., 113:23-29, 1972.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. Londres, Academic Press, 1995. 889p.

PÁEZ, A.; GONZÁLEZ, M.E. & YRAUSQUÍN, O.X. Water stress and clipping management effects on guinea grass: I. Growth and biomass allocation. Agron. J., 87:698-706, 1995.

PROCÓPIO, S.O.; SANTOS, J.B.; SILVA, A.A. & COSTA, L.C. Análise do crescimento e eficiência no uso da água pelas culturas de soja e de feijão e por plantas daninhas. Acta Sci., 24:1345-1351, 2002.

REEVE, M.J.; SMITH, P.D. & THOMASSON, A.J. The effect of density on water retention properties of field soils. J. Soil Sci., 24:355-367, 1973.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). R. Bras. Ci. Solo, 29:297-300, 2005.

SHETRON, S.G. Distribution of free iron and organic carbon as related to available water in some forested sandy soils. Soil Sci., 38:359-362, 1974.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. Plant physiology. 3 ed. Massachusetts, Sunderland, Sinauer, 2002. 690p.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, 1995. 174p.

VARVEL, G.E.; SCHPERS, J.S. & FRANCIS, D.D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. Soil Soc. Am. J., 61:1233-1239, 1997.

YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho: quanto, como e quando aplicar. Piracicaba, POTAFOS, 1996. 5p. (Informações Agronômicas, 74)

YANG, J.E.; SLOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E. & KIM, J.J.A. Simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. Soil Soc. Am. J., 62:1108-1115, 1998.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 19:1467-1476, 1988.

CAPÍTULO 2

TRANSPORTE POR FLUXO DE MASSA E DIFUSÃO DE N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn E Cu EM AGREGADOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO

RESUMO

Para que ocorra a absorção dos nutrientes pelas plantas, estes devem estar na solução do solo e serem transportados até a superfície das raízes. Os mecanismos de transporte responsáveis pelo fluxo até as raízes são, fundamentalmente, fluxo de massa e difusão. O objetivo deste trabalho foi quantificar a contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão no suprimento de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e de micronutrientes catiônicos (Fe, Mn, Zn e Cu) a plantas de milho, em resposta ao tamanho dos agregados e à disponibilidade de água em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, retiradas sob dois sistema de manejo: cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional por mais de 30 anos (CCM). Os tratamentos corresponderam ao arranjo fatorial 2 (1 + 2) 2, sendo dois sistemas de manejo (CER e CCM), (1 + 2) solo passado em peneira de 4 mm e duas classes de agregados (< 0,5 mm e 0,5 - 4,0 mm), e dois potenciais de água do solo (-40 e -10 kPa), dispostos em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com 5 dm^3 de solo ou agregados, controlando-se o potencial de água do solo com um tensiômetro por vaso. Aos 70 dias da semeadura, as plantas foram colhidas e determinadas as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu na solução do solo, dos materiais solo e agregados. Essas concentrações, multiplicadas pelo volume de água transpirada, foram usadas para calcular a contribuição do fluxo de massa. A difusão foi estimada por diferença entre a quantidade do nutriente acumulado na planta (parte área + raízes) e a transportada por fluxo de massa. Os resultados permitiram concluir que as quantidades de nutrientes transportados

às raízes das plantas de milho por fluxo de massa e por difusão são maiores em amostras retiradas do sistema cerradão (CER), do que nas retiradas do cultivo contínuo com milho em sistema convencional (CCM). Essa diferença é atribuída, fundamentalmente, à maior disponibilidade de N no cerradão. A influência da água do solo nos mecanismos de transporte de nutrientes é maior nas amostras de solo com maiores concentrações de nutrientes em solução, sistema CER, tendo o fluxo de massa e a difusão crescidos em importância na condição de maior disponibilidade de água. Nos dois sistemas de manejo, CER e CCM, a contribuição porcentual do fluxo de massa para o suprimento de nutrientes aumenta nos agregados maiores, enquanto para a difusão o comportamento é inverso. A contribuição porcentual do fluxo de massa e da difusão ao transporte de nutrientes permitiu estabelecer esta ordem para o fluxo de massa: Ca > Mg > N > S > K > P ˜ Mn ˜ Zn ˜ Cu ˜ Fe. A média para os cinco primeiros é de 99, 63, 56, 45 e 10 %, respectivamente. A difusão é o principal mecanismo de transporte de K, P, Fe, Mn, Zn e Cu até a superfície das raízes do milho, sendo responsável por valores superiores a 99%, exceto para K, cujo valor é 90%.

N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn AND Cu TRANSPORT BY MASS FLUX AND DIFFUSION IN AGGREGATES OF A DYSTROPHIC RED LATOSOL

ABSTRACT

For plant nutrient absorption, such elements must be in soil solution and be transported to the root surface. The main mechanisms responsible for nutrient transport to the roots are mass flux and diffusion. The objective of this work was to quantify mass flux and diÿusion contribution in supplying the macronutrients (N, P, K, Ca, Mg and S) and cationic micronutrients (Fe, Mn, Zn and Cu) to maize plants, in response to aggregate size and water availability in Dystrophic Red Latosol samples collected under two soil management systems: cerradão without management (CER) and continuous maize cultivation under conventional management for over 30 years (CCM). The treatments consisted of a factorial scheme 2 (1 + 2) 2, with two management systems (CER and CCM), (1 + 2) soil sieved in 4 mm sieve and two aggregate classes (< 0.5 mm and 0.5 – 4.0 mm), and two soil water potentials (-40 and -10 kPa), arranged in a randomized block design, with four repetitions. The experimental units were constituted by plastic vases containing 5 dm^3 of soil or aggregates, and soil water potential being controlled with a tensiometer per vase. At 70 sowing days, plants were harvested and N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn and Cu concentrations were determined in the soil solution of both soil and aggregate materials. These concentrations, multiplied by the volume of the transpired water, were used to calculate flux mass contribution. Diffusion was estimated by the difference between the amount of nutrient accumulated in the plant (aerial part + roots) and transported by mass flux. The results allowe d to conclude that the nutrient amounts transported to the maize plant roots by mass flux and by diffusion are higher in the cerradão (CER) system samples than in continuous cultivation under conventional management (CCM) system samples. This difference is mainly attributed to the greater availability of N in the cerradão system. The

influence of soil water on the nutrient transport mechanisms is higher in the soil samples with higher solution nutrient concentrations, CER system, with mass flux and diffusion processes becoming more important under condition of greater water availability condition. Under the two management systems, CER and CCM, mass flux percent contribution for nutrient supply increases in larger aggregates, while for diffusion, an inverse behavior occurs. Mass flux and diffusion percent contribution to nutrient transport allowed establishing the following order for mass flux: Ca > Mg > N > S > K > P ˜ Mn ˜ Zn ˜ Cu ˜ Fe. The mean for the first five is 99, 63, 56, 45 and 10 %, respectively. Diffusion is the main transport mechanism for K, P, Fe, Mn, Zn and Cu up to the surface of the maize roots, accounting for values above 99%, except for K, whose value is 90%.

INTRODUÇÃO

Para que ocorra a absorção dos nutrientes pelas plantas, estes devem estar na solução do solo e serem transportados até a superfície das raízes. Os mecanismos de transporte de solutos até as raízes são, fundamentalmente, o fluxo de massa e a difusão.

O fluxo de massa está associado ao gradiente de potencial total que regula o movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera. Assim, a concentração na solução do solo e a taxa de transpiração do vegetal determinam a quantidade de íons transportada por meio desse mecanismo (Barber, 1974). Matematicamente, o transporte de nutrientes por fluxo de massa (FM, g cm^{-2} s^{-1}) é dado pela equação:

$$FM = q\ C \qquad (1)$$

em que q é o fluxo de água (cm^3 cm^{-2} s^{-1}); e C é a concentração média do soluto (g cm^{-3}).

A importância relativa do fluxo de massa no suprimento de nutrientes depende da capacidade do solo em fornecê-los, além da demanda pela planta, sendo caracterizado pelas diferenças na transpiração e na taxa de absorção dos nutrientes, que varia com a espécie vegetal, a atividade das raízes, o teor de água do solo e o nutriente considerado (Marschner, 1995).

A difusão, por sua vez, é devido ao movimento térmico ao acaso dos íons em direção à raiz, em razão do gradiente de concentração gerado próximo à superfície radicular pelo processo de absorção (Barber, 1984). O teor de água do solo, a interação do nutriente com os colóides do solo e a distância que o nutriente tem que percorrer até chegar à superfície das raízes são os fatores principais que regulam esse mecanismo de transporte (Wild, 1981). O coeficiente de difusão (Ds, cm^2 s^{-1}) é calculado pela equação:

$$Ds = D_1\ ?\ f\ dC_l/dC_S \qquad (2)$$

em que D_l é o coeficiente de difusão em uma solução pura ($cm^2\ s^{-1}$); ? é o conteúdo de água no solo, base volumétrica ($cm^3\ cm^{-3}$); f é o fator de impedância ($cm\ cm^{-1}$), que inclui, entre outras variáveis, a tortuosidade do meio poroso; e dC_l/dC_S é o valor inverso da capacidade-tampão, sendo C_l a concentração do nutriente na solução do solo, fator intensidade ($g\ mL^{-1}$), e C_S a quantidade adsorvida, fator quantidade ($g\ cm^{-3}$).

A intercepção radicular também é considerada, por alguns autores, entre os mecanismos responsáveis pelo suprimento de nutrientes à planta. Esse mecanismo ocorre quando os nutrientes são interceptados pelas raízes durante o processo de crescimento. Marschner (1995) relatou que pequena porcentagem do nutriente total requerido é suprida por esse processo. Outros autores entendem que a intercepção radicular deve ser desconsiderada, pois não há a possibilidade de trocas diretas entre as partículas do solo e as raízes das plantas, havendo necessidade do meio líquido (Ruiz et al., 1999).

O mecanismo predominante no transporte de um nutriente é determinado pela sua concentração na solução que se desloca em direção às raízes, em resposta à diferença de potencial. Quando a quantidade do nutriente que chega até às raízes é igual ou excede a absorvida, o fluxo de massa é o único mecanismo presente. Nesse caso, o excesso de nutriente iria se acumular na rizosfera (Barber, 1974). Quando a exigência nutricional da planta excede a quantidade transportada por fluxo de massa, a difusão torna-se o mecanismo complementar, que pode até superar em importância o fluxo de massa (Barber, 1962; Araújo et al., 2003).

A diminuição da disponibilidade de água no solo reduz o movimento dos nutrientes por fluxo de massa e por difusão. Nessas condições ocorrem o fechamento dos estômatos e a conseqüente redução do fluxo transpiratório e do fluxo de massa. Em acréscimo, diminui também a quantidade de CO_2 que entra pelos estômatos, bem como a absorção de água e nutrientes pelas raízes. Nessas condições, o crescimento da planta é reduzido e a quantidade de água disponível à planta torna-se fator limitante ao seu crescimento (Costa et al., 1997, Barros & Comerford, 2002).

A equação 2, que permite o cálculo do coeficiente de difusão de íons no solo (D_S), confirma a importância do conteúdo de água (?) nesse mecanismo de transporte (Novais & Smyth, 1999). Apesar de o aumento da concentração do íon na solução favorecer positivamente a difusão, o efeito do conteúdo da água no solo é mais acentuado. Ruiz (1986), estudando o efeito do conteúdo de água sobre os níveis críticos de P em dois Latossolos, observou resposta mais acentuada às alterações na umidade do solo que das doses de P, sendo esse efeito mais marcante no Latossolo de textura média em relação a outro, de textura argilosa.

O fator de impedância é outro componente da equação do coeficiente de difusão, que também deve ser observado, por estar intrinsecamente ligado ao conteúdo de água e à morfologia do sistema poroso do solo. Esse fator é variável conforme a tortuosidade do sistema poroso, que depende do conteúdo de água, da textura e da estrutura do solo. Entretanto, incluem-se nele outros efeitos e interações que não podem ser facilmente determinados de forma isolada, entre os quais pode-se citar o incremento da viscosidade da água nas proximidades das partículas sólidas, em especial colóides (Nye, 1979).

Solos mais arenosos, considerando valores elevados de potencial matricial, apresentam maior fator de impedância que os mais argilosos, em resposta à maior proporção de macroporos. Porém, para valores reduzidos do potencial da água do solo, o fator de impedância é inferior. A maior porcentagem de microporos dos solos argilosos permite delimitar um percurso menos errático, que resulta em maior fator de impedância. Na comparação entre solos de diferentes texturas, a condutividade hidráulica, em condições de não-saturação, é indicativa das diferenças no fator de impedância, mostrando maior variabilidade nos solos de textura média à grossa, comparados aos mais argilosos (Ruiz, 1986).

A contribuição do fluxo de massa e da difusão para o transporte de nutrientes até as raízes pode ser calculada, aproximadamente, pela quantificação das contribuições individuais, comparando-as com a absorção total do nutriente pelo vegetal. Na prática, geralmente, determinam-se o

acúmulo total do nutriente e a contribuição do fluxo de massa, atribuindo-se à difusão a diferença entre a quantidade total absorvida e aquela transportada por fluxo de massa (Barber, 1984). Essa técnica permite a estimativa média das contribuições durante o período de duração do ensaio.

Nos solos, o movimento dos nutrientes em direção às raízes abrange duas etapas. Na primeira, o transporte do interior até a superfície dos agregados ocorre por difusão na solução imóvel (porosidade intra-agregado). Na segunda, da superfície dos agregados até as raízes, o transporte na solução móvel é realizado necessariamente por fluxo de massa. No entanto, em solos mais intemperizados, como os Latossolos, que apresentam baixa concentração de nutrientes na solução do solo, o fluxo de massa pode ser insuficiente para satisfazer a demanda da planta. Dessa maneira, a difusão torna-se um mecanismo complementar, ou mesmo o mecanismo predominante no suprimento de nutriente às raízes da plantas, como observado por Ruiz et al. (1999) e Araújo et al. (2003).

Neste trabalho objetivou-se quantificar a contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão no suprimento de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e de micronutrientes catiônicos (Fe, Mn, Zn e Cu) às plantas de milho, em resposta ao tamanho dos agregados e à disponibilidade de água em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, retiradas sob dois sistema de manejo, cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional por mais de 30 anos (CCM).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, realizado em casa de vegetação e descrito no capítulo 1, foi utilizado para quantificação da contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e difusão, em resposta ao tamanho dos agregados, potencial de água e manejo do solo. No Quadro 2.1 apresentam-se os valores de proporção de argila e os teores disponíveis e trocáveis de nutrientes nos materiais utilizados.

Quadro 2.1. Proporção de argila e teores disponíveis e trocáveis de nutrientes do solo e das classes de agregados (< 0,5 mm e 0,5 - 4,0 mm) em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico retiradas sob dois sistema de manejo[1/], na EMBRAPA Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG

Característica	CER			CCM		
	Solo	< 0,5	0,5 - 4,0	Solo	< 0,5	0,5 - 4,0
Argila (kg/kg)	0,740	0,770	0,740	0,730	0,780	0,670
$N\text{-}NO^-_3$ (mg/dm^3)	19,77	24,78	20,79	7,81	10,31	7,73
$N\text{-}NH^+_4$ (mg/dm^3)	8,07	8,67	7,90	3,64	3,56	3,15
P (mg/dm^3)	5,00	7,00	4,70	9,40	9,90	8,70
K (mg/dm^3)	67,00	64,00	54,00	91,00	86,00	73,00
Ca^{2+} ($cmol_c/dm^3$)	3,74	3,72	3,13	1,43	1,45	1,14
Mg^{2+} ($cmol_c/dm^3$)	0,76	0,74	0,64	0,34	0,34	0,28
S (mg/dm^3)	1,60	1,20	1,40	2,70	2,70	2,70
Fe (mg/dm^3)	33,70	43,10	32,40	28,20	26,80	42,90
Mn (mg/dm^3)	58,80	98,0	50,30	39,50	42,50	53,70
Zn (mg/dm^3)	1,52	2,12	1,05	4,11	3,99	4,88
Cu (mg/dm^3)	0,49	0,58	0,42	0,61	0,67	0,74

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM).

Os tratamentos corresponderam ao arranjo fatorial 2 (1 + 2) 2, sendo dois sistemas de manejo: cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional por mais de 30 anos (CCM), (1 + 2) solo peneirado por malha de 4 mm e duas classes de agregados (< 0,5 mm e 0,5 - 4,0 mm), e dois potenciais de água do solo (-40 e -10 kPa). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições.

O controle do potencial de água no solo foi feito diariamente, durante todo o cultivo do milho, utilizando-se um tensiômetro por vaso. diari0.589907.5 TD 2 Tc02

de solo de cada unidade experimental foram secos ao ar e passados integralmente através de peneira de 2 mm. Foram tomadas subamostras desses materiais, solo e agregados, que receberam volume de água necessário para atingir a umidade correspondente a -5 kPa. Após um período de 8 horas de equilíbrio, realizou-se a extração da solução do solo, durante 12 horas, utilizando equipamento de membrana de pressão regulado a 1.000 kPa.

Nas soluções extraídas foram determinadas as concentrações de K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu, por leitura direta em ICP-EOS (espectrofotômetro de emissão ótica em plasma induzido). O P, $N\text{-}NO_3^-$ e $N\text{-}NH_4^+$ foram determinados por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974; Kempers e Zweers, 1986, Yang et al., 1998; respectivamente).

As quantidades de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu transportados por fluxo de massa foram determinadas ao multiplicar a concentração de cada nutriente na solução do solo pelo volume de água transpirada, no período de duração do ensaio. A difusão foi calculada ao subtrair, da quantidade total do nutriente absorvido (parte aérea + raízes), o valor correspondente à quantidade transportada por fluxo de massa (Barber, 1984; Becker & Maurer, 1986). Com os valores das quantidades potencialmente transportadas por fluxo de massa e por difusão, calculou-se a contribuição relativa de cada um dos mecanismos de transporte.

Os resultados foram submetidos à análise de variância. Comparou-se o efeito do sistema de manejo e formularam-se cinco contrastes ortogonais dentro de cada sistema de manejo, cerradão ou cultivo contínuo com milho (Quadro 2.2). Acrescentaram-se dois contrastes adicionais (CA_1 e CA_2), visando decompor o efeito do potencial dentro de cada classe de agregados. Optou-se por trabalhar com contrastes médios, dividindo-se o resultado de cada contraste por $\frac{1}{2}S|c_i|$, em que $|c_i|$ representa o valor absoluto do respectivo coeficiente (Alvarez V. & Alvarez, 2006). A significância dos contrastes foi testada pelo teste F, a 5 e 1% de probabilidade.

Quadro 2.2. Coeficientes dos contrastes (C) e contrastes adicionais (CA) utilizados na comparação do material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), e do potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo, cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em sistema convencional (CCM)[1/]

Material	Potencial	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
	kPa							
Solo	- 40	-2	0	0	0	-1	0	0
	- 10	-2	0	0	0	1	0	0
AG < 0,5 mm	- 40	1	-1	-1	1	0	-1	0
	- 10	1	-1	1	-1	0	1	0
AG 0,5 - 4,0 mm	- 40	1	1	-1	-1	0	0	-1
	- 10	1	1	1	1	0	0	1

[1/] C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* - 0 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume de água transpirada foi proporcional à área foliar das plantas de milho, com maiores valores para as plantas cultivadas em amostras de solo retiradas do sistema cerradão (CER), quando comparadas às retiradas do sistema convencional em cultivo contínuo com milho (CCM) (Quadro 2.3). Esses resultados concordam com os obtidos por Taiz & Zeiger (2002), indicando que a necessidade de consumo de água pelo vegetal é aproximadamente proporcional à quantidade de fitomassa produzida. Esses autores ressaltam que a transpiração total correlaciona-se, freqüentemente, com a área ou com a massa foliar.

A taxa transpiratória foi menor nas plantas cultivadas nas amostras retiradas do sistema CER (Quadro 3.2). Essa diminuição da taxa transpiratória reflete a maior eficiência de uso de água (EUA) neste sistema de manejo.

A EUA é determinada pela relação entre a biomassa da parte aérea e a quantidade de água transpirada (Gholz & Lima, 1997). A EUA para o sistema cerradão foi 3,18 g/L, enquanto para o sistema CCM, que apresentou maior

Quadro 2.3. Área foliar, quantidade de água transpirada e taxa transpiratória de plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial de água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	Área foliar	Água transpirada	Taxa transpiratória
		kPa	cm^2/vaso	L/vaso	mL/cm^2
	Solo	-40	1.509,63	3,15	2,08
		-10	2.546,66	6,81	2,67
	AG < 0,5	-40	1.697,64	2,70	1,59
CER		-10	3.117,00	6,89	2,21
	AG 0,5 - 4,0	-40	399,44	2,72	6,80
		-10	1.497,59	5,02	3,35
	Média[2/]		1.794,64 A	4,55 A	3,12 B
	Solo	-40	891,54	3,74	4,19
		-10	890,40	3,60	4,04
	AG < 0,5	-40	870,34	2,98	3,42
CCM		-10	910,60	3,70	4,06
	AG 0,5 - 4,0	-40	349,42	2,11	6,03
		-10	509,48	4,30	8,44
	Média[2/]		736,96 B	3,41 B	5,03 A

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo .

taxa transpiratória, a eficiência foi 2,61 g/L. Marschner (1995) e Taiz & Zeiger (2002) relataram que plantas bem supridas nutricionalmente têm menor perda de água e, conseqüentemente, maior eficiência de uso de água.

Considerando os materiais estudados, solo e classes de agregados, verifica-se que as plantas cultivadas no solo perderam mais água por transpiração que as cultivadas nas amostras dos agregados, no sistema CER (C_1, Quadro 2.4). Esses resultados se devem, fundamentalmente, aos menores valores registrados para os agregados de 0,5 - 4,0 mm (Quadros 2.3 e 2.4). Em todos os casos, no sistema CER, a perda de água por transpiração foi diretamente proporcional à disponibilidade de água no solo (C_3, C_5, CA_1 e CA_2, Quadro 2.4). Bono et al. (2001) observaram maior transpiração em plantas com plena disponibilidade de água do que naquelas sob deficiência hídrica.

Quadro 2.4. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando a quantidade de água transpirada e a taxa transpiratória das plantas de milho, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
Água transpirada (L/vaso)	-0,65**	-0,93**	3,25**	-0,95**	3,66**	4,19**	2,30**
Taxa transpiratória (mL/cm²)	1,12**	3,19**	-1,43**	-2,05**	0,59	0,62	-3,47**
			CCM				
Água transpirada (L/vaso)	-0,40	-0,14	1,46**	0,74**	-0,14	0,72	2,19**
Taxa transpiratória (mL/cm²)	1,37**	3,50**	1,53**	0,89**	-0,15	0,64	2,41**

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. ** significativo a 1% pelo teste F.

Nas plantas cultivadas em amostras de solo retiradas do sistema CCM, a quantidade de água transpirada aumentou com a maior disponibilidade de água apenas nos contrastes que comparam o efeito do potencial da água do solo dentro das classes de agregados, dentro dos agregados 0,5 - 4,0 mm, e no contraste que compara o efeito da interação entre o tamanho dos agregados e o potencial de água do solo (C_3, CA_2 e C_4, respectivamente, Quadro 2.4). Nestes casos, os sinais foram positivos, indicando a mesma tendência dos contrastes registrados para o sistema CER.

A diminuição na disponibilidade de água no solo provoca redução do potencial de água nas folhas, ocasionando perda de turgidez e redução da condutância estomática (Bono et al., 2001; Taiz & Zeiger, 2002). A menor taxa de assimilação de CO_2 durante o estresse hídrico deve-se, em grande parte, à redução na disponibilidade de CO_2 no interior da folha, causada pelo fechamento dos estômatos em resposta à redução da disponibilidade de água no solo (Rosa et al., 1991). Esse fechamento de estômatos determina menor perda de água por transpiração, mas afeta a taxa fotossintética das plantas (Sutclife, 1980; Bono et al., 2001; Taiz & Zeiger, 2002; Floss, 2004).

As perdas de água por transpiração são determinadas, principalmente, por dois fatores: demanda climática e mecanismos fisiológicos da própria planta. A demanda climática é resultante das relações entre radiação, déficit de saturação de vapor de água na atmosfera, temperatura e velocidade do vento. Já o segundo fator está relacionado com a resposta estomática a condições ambientais, com a estrutura da planta e, principalmente, com a área foliar e disponibilidade de água do solo (Calder et al., 1992; Lima; 1996; Silva et al., 2000).

Não houve resposta consistente à disponibilidade de água no solo sobre a taxa transpiratória como houve para a água transpirada (Quadro 2.4). Contudo, alguns autores relatam que à medida que, a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa transpiratória decresce como resultado do fechamento dos estômatos (Barlow, 1983; Chaves, 1991).

O Quadro 2.5 apresenta as concentrações de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu na solução extraída do solo e dos agregados. Os resultados permitem verificar que a amostra retirada do sistema CER apresentou, consistentemente, maiores concentrações para todos os nutrientes analisados, com destaque para N, Ca e Mg, à exceção do S, cuja concentração em solução foi maior na amostra retirada do sistema CCM.

O conteúdo de nutrientes nas plantas de milho (Quadro 2.6) foi calculado, somando os valores individuais de parte aérea e raízes (Quadros 1.10 e 1.11). A quantidade transportada por fluxo de massa (Quadro 2.7) resultou do produto entre o volume da água transpirada (Quadro 2.3) e as concentrações dos nutrientes (Quadro 2.5). Quando a quantidade total do nutriente acumulado no vegetal foi superior à quantidade transportada por fluxo de massa calculou-se, por diferença, a contribuição da difusão (Quadro 2.8).

Resumindo os dados apresentados, as Figuras 2.1, 2.2 e 2.3 ilustram as quantidades de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn e Zn absorvidos e os transportados por fluxo de massa e por difusão. Nessas figuras não foi incluído o Cu, não-detectado pelo método analítico utilizado na análise da solução do solo e dos agregados separados da amostra retirada do sistema convencional sob cultivo contínuo com milho (CCM) (Quadro 2.5). A baixa concentração do Cu na

Quadro 2.5. Concentração de nutrientes na solução do solo, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), para cada sistema de manejo[1/]

Nutriente	CER			CCM		
	Solo	AG < 0,5	AG 0,5 - 4,0	Solo	AG < 0,5	AG 0,5 - 4,0
	mg/L					
N	29,98	32,25	34,47	7,72	8,71	18,34
P	0,002	0,011	0,025	0,002	0,002	0,010
K	2,54	2,43	8,47	1,98	1,93	4,26
Ca	74,26	64,65	128,55	12,37	12,35	13,28
Mg	14,05	11,61	28,21	2,60	2,67	3,45
S	0,490	0,830	2,670	0,820	0,850	4,560
Fe	0,014	0,023	0,036	0,015	0,009	0,046
Mn	0,835	0,723	2,392	0,220	0,225	0,237
Zn	0,106	0,238	0,280	0,033	0,023	0,052
Cu	0,008	0,014	0,020	nd [2/]	nd [2/]	nd [2/]

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Concentração abaixo do limite de detecção do ICP-EOS.

solução extraída das amostras retiradas do sistema cerradão (CER) (Quadro 2.5) permite indicar que mais de 99 % do transporte desse micronutriente deve ser atribuído à difusão, como constatado ao comparar os dados dos Quadros 2.6, 2.7 e 2.8. A menor concentração de Cu nas amostras retiradas do sistema CCM permite indicar que, nessas condições, a contribuição da difusão seria proporcionalmente maior.

As plantas cultivadas em amostras retiradas do sistema CER foram as que apresentaram o maior conteúdo de nutrientes, com exceção do K (Quadro 2.6).

Nelas foram registrados os maiores valores, tanto para fluxo de massa como para difusão, no transporte de N, P, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu, como também para o transporte de K e de Ca por fluxo de massa e para a difusão de S (Quadros 2.7 e 2.8). Na amostra retirada do sistema CCM predominou a movimentação de K por difusão e de S por fluxo de massa (Figuras 2.1 e 2.2). Em relação ao Ca, a quantidade transportada por fluxo de massa superou a quantidade acumulada nas plantas, com exceção das cultivadas nos agregados menores (< 0,5 mm), na menor disponibilidade de água (-40 kPa), nas amostras de solo

Quadro 2.6. Conteúdo de macro e micronutrientes nas plantas de milho (parte aérea + raízes), considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	mg/vaso						µg/vaso			
CER	Solo	-40	271,39	13,18	155,76	81,85	73,20	17,35	10.114,36	2.102,00	763,01	225,38
		-10	346,97	21,23	163,94	147,16	132,80	22,9	16.955,30	2.974,85	953,04	294,30
	AG < 0,5 mm	-40	314,25	14,55	156,40	89,36	82,23	19,41	12.149,79	2.359,01	837,77	282,40
		-10	382,94	25,99	178,38	168,27	156,30	26,11	17.986,66	4.001,23	1.126,54	389,31
	AG 0,5 - 4,0 mm	-40	95,53	4,66	74,50	38,70	23,77	6,44	3.245,89	967,24	246,00	77,69
		-10	213,18	13,34	136,80	96,62	73,46	16,45	12.308,75	2.079,92	738,54	258,50
	Média[2/]		270,71 A	15,49 A	144,30 B	103,66 A	90,29 A	18,11 A	12.126,79 A	2.414,04 A	777,48 A	254,60 A
CCM	Solo	-40	81,08	14,84	203,20	42,57	21,37	11,27	8.135,13	1.599,91	398,57	117,26
		-10	86,23	16,23	210,91	44,32	22,41	11,91	9.550,53	1.388,41	405,74	98,58
	AG < 0,5 mm	-40	77,94	14,54	219,82	42,88	21,09	11,28	9.892,57	1.554,75	535,98	128,15
		-10	75,69	14,30	213,51	40,53	20,08	10,92	6.108,05	1.212,47	360,01	71,95
	AG 0,5 - 4,0 mm	-40	58,06	6,31	140,35	27,66	11,06	6,2	4.252,27	1.138,39	312,40	46,24
		-10	58,11	10,43	151,46	34,52	14,41	8,46	5.012,49	1.188,42	325,40	123,82
	Média[2/]		72,85 B	12,78 B	189,88 A	38,75 B	18,40 B	10,01 B	7.158,51 B	1.347,06 B	389,68 B	97,67 B

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

Quadro 2.7. Quantidade de nutrientes transportados por fluxo de massa, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	mg/vaso						µg/vaso			
CER	Solo	-40	94,44	0,01	8,00	233,92	44,26	1,54	0,04	2,63	0,33	0,03
		-10	204,16	0,02	17,30	505,71	95,68	3,34	0,10	5,69	0,72	0,05
	AG < 0,5 mm	-40	87,08	0,03	6,56	174,56	31,35	2,24	0,06	1,95	0,64	0,04
		-10	222,20	0,08	16,74	445,44	79,99	5,72	0,16	4,98	1,64	0,10
	AG 0,5 – 4,0 mm	-40	93,76	0,07	23,04	349,66	76,73	7,26	0,10	6,51	0,76	0,05
		-10	173,04	0,13	42,52	645,32	141,61	13,40	0,18	12,01	1,41	0,10
	Média[2/]		145,78 A	0,06 A	19,03 A	392,43 A	78,27 A	5,58 B	0,11 A	5,63 A	0,92 A	0,06
CCM	Solo	-40	28,87	0,01	7,41	46,26	9,72	3,07	0,06	0,82	0,12	
		-10	27,79	0,01	7,13	44,53	9,36	2,95	0,05	0,79	0,12	
	AG < 0,5 mm	-40	25,96	0,01	5,75	36,80	7,96	2,53	0,03	0,67	0,07	
		-10	32,23	0,01	7,14	45,70	9,88	3,15	0,03	0,83	0,09	
	AG 0,5 – 4,0 mm	-40	38,70	0,02	9,00	28,02	7,28	9,62	0,10	0,50	0,11	
		-10	78,86	0,04	18,32	57,10	14,84	19,61	0,20	1,02	0,22	
	Média[2/]		38,73 B	0,02 B	9,12 B	43,07 B	9,84 B	6,82 A	0,08 B	0,77 B	0,12 B	

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

Quadro 2.8. Quantidade de nutrientes transportados por difusão, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	mg/vaso						µg/vaso			
CER	Solo	-40	176,95	13,18	147,76	0,00	28,94	15,81	10.114,31	2.099,37	762,68	225,36
		-10	142,81	21,22	146,64	0,00	37,12	19,56	16.955,21	2.969,16	952,32	294,25
	AG < 0,5 mm	-40	227,17	14,52	149,84	0,00	50,88	17,17	12.149,73	2.357,06	837,12	282,36
		-10	160,74	25,91	161,64	0,00	76,30	20,39	17.986,50	3.996,25	1124,90	389,21
	AG 0,5 – 4,0 mm	-40	1,77	4,59	51,47	0,00	0,00	0,00	3.245,79	960,73	245,23	77,63
		-10	40,14	13,21	94,28	0,00	0,00	3,04	12.308,57	2.067,91	737,13	258,40
	Média[2/]		124,93 A	15,44 A	125,27 B	0,00	32,21 A	12,66 A	12.126,69 A	2.408,41 A	776,56 A	254,53
CCM	Solo	-40	52,21	14,84	195,79	0,00	11,64	8,21	8.135,07	1.599,09	398,44	
		-10	58,43	16,22	203,78	0,00	13,05	8,96	9.550,47	1.387,61	405,62	
	AG < 0,5 mm	-40	51,99	14,53	214,07	6,08	13,14	8,74	9.892,54	1.554,07	535,91	
		-10	43,47	14,30	206,37	0,00	10,20	7,77	6.108,02	1.211,63	359,92	
	AG 0,5 – 4,0 mm	-40	19,36	6,29	131,36	0,00	3,78	0,00	4.252,17	1.137,89	312,29	
		-10	0,00	10,39	133,14	0,00	0,00	0,00	5.012,29	1.187,40	325,18	
	Média[2/]		37,58 B	12,76 B	180,75 A	1,01	8,63 B	5,61 B	7.158,43 B	1.346,28 B	389,56 B	

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

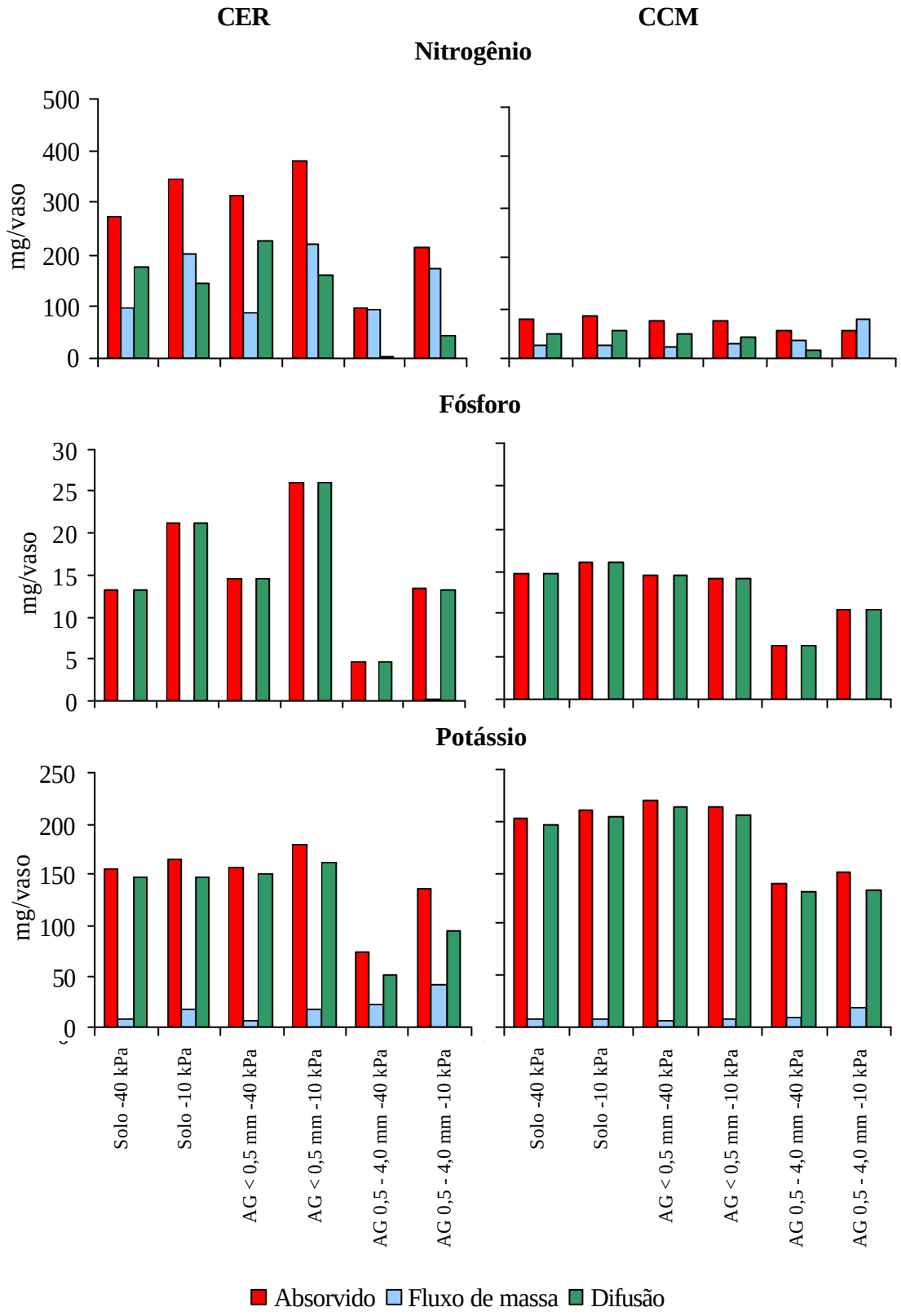

Figura 2.1. Quantidade de N, P e K absorvido e transportado por fluxo de massa e por difusão, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo, cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM).

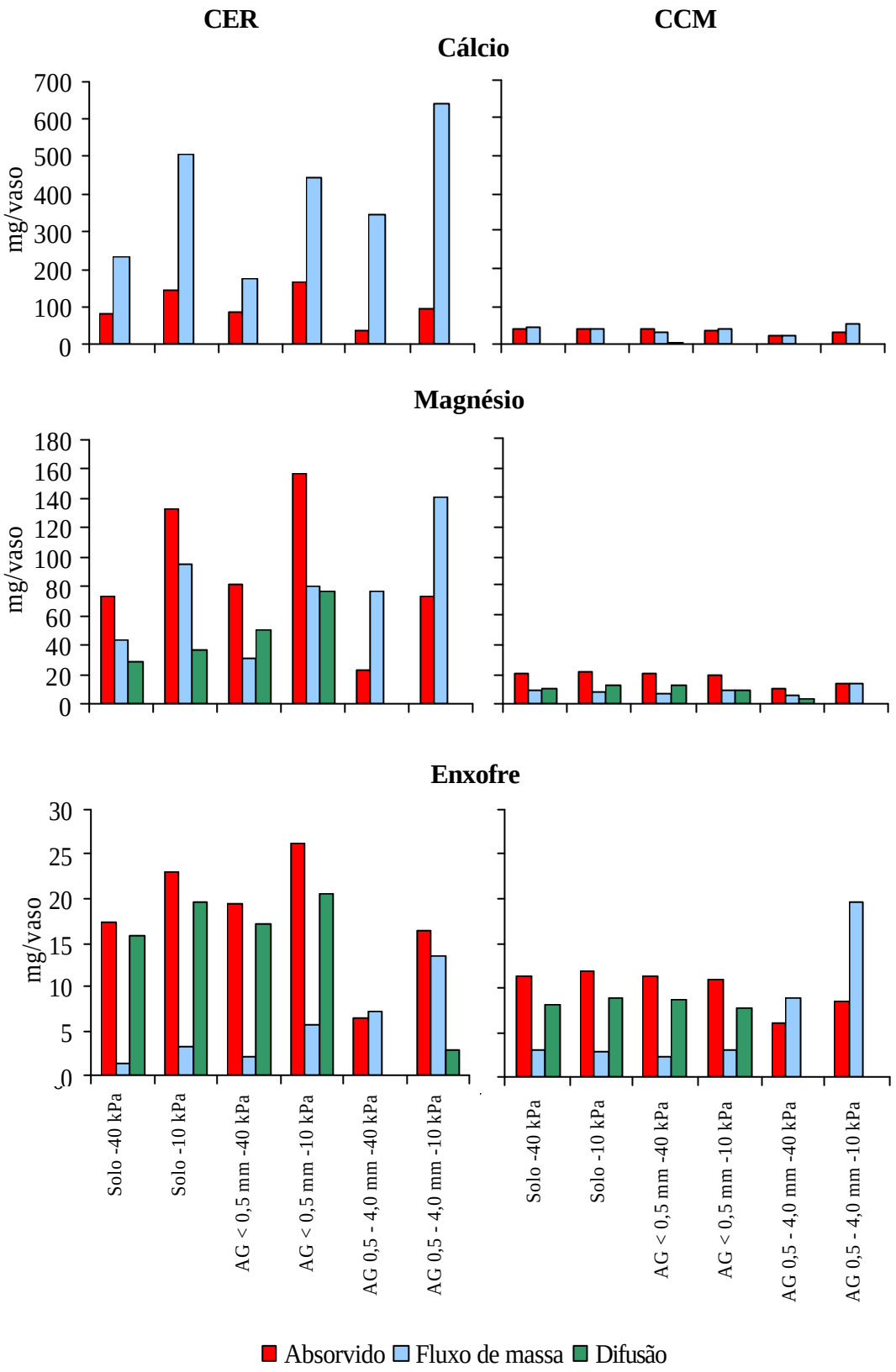

Figura 2.2. Quantidade de Ca, Mg e S absorvido e transportado por fluxo de massa e por difusão, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo, cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM).

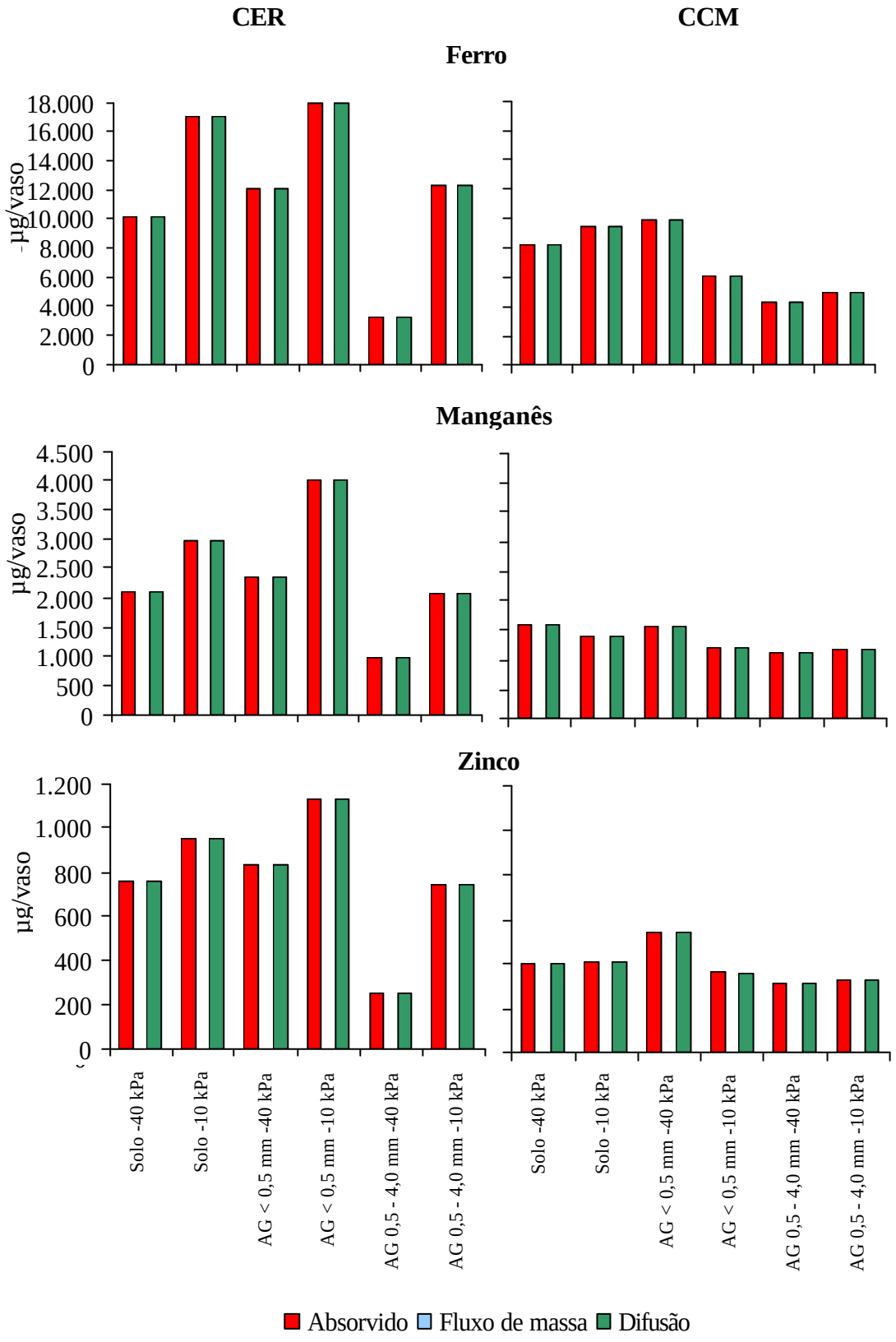

Figura 2.3. Quantidade de Fe, Mn e Zn absorvido e transportado por fluxo de massa e por difusão, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo, cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM).

retiradas do sistema CCM. Esse resultado confirma a existência de mecanismos responsáveis pela diminuição da absorção desse nutriente, quando a demanda da planta foi atingida, por exemplo, o acúmulo de Ca na superfície das raízes. Strebel & Duynisveld (1989) relataram que nutrientes transportados por fluxo de massa, como o Ca e Mg, podem acumular-se na superfície das raízes.

Na Figura 2.2 observa-se a acentuada diferença no acúmulo de Ca, quando as amostras retiradas do sistema CER são comparadas com as do sistema CCM

Quadro 2.9. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando a quantidade de nutrientes transportados por fluxo de massa, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial da água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
N(mg/vaso)	-5,28	-21,24**	107,20**	-27,92**	109,72**	135,12**	79,28**
P (mg/vaso)	0,06**	0,04**	0,05**	0,01	0,01	0,05**	0,06**
K (mg/vaso)	9,57**	21,13**	14,83**	4,65**	9,30**	10,18**	19,48**
Ca (mg/vaso)	33,93*	187,49**	283,27**	12,39	271,79**	270,88**	295,66**
Mg (mg/vaso)	12,31**	53,23**	57,04**	8,40*	51,42**	48,64**	65,43**
S (mg/vaso)	4,72*	6,35**	4,81	1,33	1,80	3,48	6,14
Fe (µg/vaso)	0,05**	0,03	0,09**	-0,01	0,05	0,10**	0,08**
Mn (µg/vaso)	2,20**	5,79**	4,27**	1,23**	3,06**	3,03**	5,50**
Zn (µg/vaso)	0,59**	-0,05	0,83**	-0,18	0,39*	1,00**	0,65**
Cu (µg/vaso)	0,04**	0,01	0,05**	-0,01	0,03	0,06**	0,05*
			CCM				
N(mg/vaso)	15,61*	29,69**	23,22**	16,90**	-1,08	6,27	40,16**
P (mg/vaso)	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02
K (mg/vaso)	2,78*	7,21**	5,36**	3,97**	-0,28	1,39	9,33**
Ca (mg/vaso)	-3,49	1,31	18,99	10,09	-1,73	8,90	29,08
Mg (mg/vaso)	0,45	2,14	4,74	2,82	-0,36	1,92	7,56
S (mg/vaso)	5,72*	11,78**	5,31*	4,69	-0,12	0,62	9,99**
Fe (µg/vaso)	0,03	0,12**	0,05**	0,05**	0,00	0,01	0,10**
Mn (µg/vaso)	-0,05	0,01	0,34	0,18	-0,03	0,16	0,52
Zn (µg/vaso)	0,00	0,09	0,07	0,05	0,00	0,02	0,11

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

favoreceu a maior concentração na solução do solo (Quadro 2.5). Da constatação que as diferenças no volume de água transpirada não foram tão acentuadas (Quadro 2.3), resultam os incrementos apontados para o fluxo de massa nos agregados de 0,5 - 4,0 mm. O sinal oposto nos contrastes (C_1 e C_2) analisados para a difusão resulta, precisamente, da maior interação dos nutrientes em estudo com as argilas, presentes em maior proporção nos agregados menores (Quadros 2.9 e 2.10).

Quadro 2.10. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando a quantidade de nutrientes transportados por difusão, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
N(mg/vaso)	-52,43**	-173,0**	14,03	52,40**	-34,14*	-66,43**	38,37*
P (mg/vaso)	-2,64**	-11,32**	10,01**	-1,39	8,04**	11,39**	8,62**
K (mg/vaso)	-32,89**	-82,87**	27,31**	15,51	-1,12	11,80	42,81**
Mg (mg/vaso)	-1,24	-63,59**	12,71**	-12,71**	8,18**	25,42**	0,00
S (mg/vaso)	-7,54**	-17,26**	3,13**	-0,09	3,75**	3,22**	3,04**
Fe (µg/vaso)	-2112,1	-7290,9**	7449,8**	1613,1	6884,9**	5836,8*	9062,8**
Mn (µg/vaso)	-188,8	-1662,3**	1373,2**	-266,0	869,8**	1639,2**	1107,2**
Zn (µg/vaso)	-121,4**	-489,8**	389,8**	102,1**	189,6**	287,8**	491,9**
Cu (µg/vaso)	-7,9	-167,8**	143,8**	36,9	68,9	106,9**	180,8**
			CCM				
N(mg/vaso)	-26,62*	-38,05**	-13,94	-5,42	6,22	-8,52	-19,36
P (mg/vaso)	-4,15**	-6,08**	1,94*	2,17**	1,38	-0,23	4,10**
K (mg/vaso)	-28,54**	-77,96**	-2,95	4,75	7,99	-7,70	1,81
Mg (mg/vaso)	-5,57	-9,78*	-3,36	-0,42	1,41	-2,94	-3,78
S (mg/vaso)	-4,46**	-8,26**	-0,49	0,49	0,75	-0,97	0,00
Fe (µg/vaso)	-2526,5	-3368,1*	-1512,2	2272,3	1415,4	-3784,5	760,1
Mn (µg/vaso)	-220,6	-220,2	-146,5	195,9	-211,5	-342,4	49,5
Zn (µg/vaso)	-18,7	-129,2**	-81,5*	94,4*	7,2	-175,9**	12,9

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho, manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Quando comparados os potenciais de água do solo, - 40 *versus* -10 kPa (C_3, C_5, CA_1 e CA_2), o aumento na disponibilidade de água levou à maior absorção de nutrientes, favorecendo os dois mecanismos de transporte, fluxo de massa e difusão, no sistema CER (Quadros 2.9 e 2.10). Nas amostras retiradas do sistema CCM, o efeito do potencial de água sobre o transporte de nutrientes foi pouco expressivo, em razão da baixa disponibilidade de N neste sistema (Quadro 2.1).

Com as quantidades de nutrientes transportados por fluxo de massa e por difusão (Quadros 2.7 e 2.8), calculou-se sua contribuição porcentual para o transporte dos nutrientes às plantas de milho (Quadros 2.11 e 2.12). Da

Quadro 2.11. Contribuição percentual do fluxo de massa para o transporte de nutrientes, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	%									
CER	Solo	-40	34,80	0,08	5,14	100,00	60,46	8,88	0,00	0,13	0,04	0,01
		-10	58,84	0,09	10,55	100,00	72,05	14,59	0,00	0,19	0,08	0,02
	AG < 0,5 mm	-40	27,71	0,21	4,19	100,00	38,12	11,54	0,00	0,08	0,08	0,01
		-10	58,02	0,31	9,38	100,00	51,18	21,91	0,00	0,12	0,15	0,03
	AG 0,5 - 4,0 mm	-40	98,15	1,50	30,93	100,00	100,00	100,00	0,00	0,67	0,31	0,06
		-10	81,17	0,97	31,08	100,00	100,00	81,46	0,00	0,58	0,19	0,04
	Média[2/]		59,78 A	0,53 A	15,21 A	100,00	70,30 A	39,73 A	0,00	0,30 A	0,14 A	0,03
CCM	Solo	-40	35,61	0,07	3,65	100,00	45,48	27,24	0,00	0,05	0,03	
		-10	32,23	0,06	3,38	100,00	41,77	24,77	0,00	0,06	0,03	
	AG < 0,5 mm	-40	33,31	0,07	2,62	85,82	37,74	22,43	0,00	0,04	0,01	
		-10	42,58	0,07	3,34	100,00	49,20	28,85	0,00	0,07	0,02	
	AG 0,5 - 4,0 mm	-40	66,66	0,32	6,41	100,00	65,82	100,00	0,00	0,04	0,04	
		-10	100,00	0,38	12,10	100,00	100,00	100,00	0,00	0,09	0,07	
	Média[2/]		51,73 A	0,16 B	5,25 B	97,64	56,67 B	50,55 A	0,00	0,06 B	0,03 B	

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

Quadro 2.12. Contribuição percentual da difusão para o transporte de nutrientes, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial da água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	%									
CER	Solo	-40	65,20	99,92	94,86	0,00	39,54	91,12	100,00	99,87	99,96	99,99
		-10	41,16	99,91	89,45	0,00	27,95	85,41	100,00	99,81	99,92	99,98
	AG < 0,5 mm	-40	72,29	99,79	95,81	0,00	61,88	88,46	100,00	99,92	99,92	99,99
		-10	41,98	99,69	90,62	0,00	48,82	78,09	100,00	99,88	99,85	99,97
	AG 0,5 - 4,0 mm	-40	1,85	98,50	69,07	0,00	0,00	0,00	100,00	99,33	99,69	99,92
		-10	18,83	99,03	68,92	0,00	0,00	18,54	100,00	99,42	99,81	99,96
	Média[2/]		40,22 A	99,47 B	84,79 B	0,00	29,70 B	60,27 A	100,00	99,70 B	99,86 B	99,97

comparação dos valores absoluto e relativo dos nutrientes transportados por fluxo de massa verificam-se, no primeiro caso (Quadro 2.7), diferenças estatisticamente significativas para todos os elementos nos dois sistemas de manejo, CER e CCM. Já na comparação dos valores relativos, N e S não mostraram diferenças entre os sistemas de manejo (Quadro 2.11). No caso desses dois macronutrientes, a contribuição porcentual por fluxo de massa foi de 52 a 60%, para o N e de 40 a 51%, para o S, indicando que, independentemente das quantidades transportadas (Quadro 2.7), a proporção é mantida em valores intermediários. Para o S, especificamente, Silva et al. (1998 e 2002) destacaram que a contribuição do fluxo de massa é diretamente proporcional à disponibilidade do nutriente.

Outra particularidade que surge da comparação das quantidades transportadas (Quadros 2.7 e 2.8) com as contribuições porcentuais (Quadros 2.11 e 2.12) é que, no primeiro caso, as melhores condições nutricionais podem levar ao incremento tanto da quantidade transportada por fluxo de massa, quanto por difusão. Quando as contribuições porcentuais são consideradas significativas, o incremento de uma delas levará, necessariamente, à diminuição da outra.

Como previamente indicado, a solução extraída das amostras retiradas do sistema CCM apresentou concentração de Cu inferior ao limite de detecção do equipamento. Assim, esse dado não se encontra incluído nos resultados dos Quadros 2.11 e 2.12, tampouco aparece indicação de diferenças estatísticas para o Ca e Fe. Para o Ca, todos os resultados foram de 100% de transporte por fluxo de massa, exceto para o tratamento de agregados < 0,5 mm, no menor potencial, nas amostras retiradas do solo sob cultivo contínuo com milho (CCM). Já para o Fe os resultados foram 100% de transporte por difusão, para ambos os manejos (CER e CCM). O não-cumprimento da exigência da invariabilidade da variância tornou a análise estatística inadequada para estes nutrientes.

Tomando como base os resultados do Quadro 2.11, pode-se constatar que, nos nutrientes estudados, a ordem de transporte por fluxo de massa foi: Ca

> Mg >N > S > K > P ˜ Mn ˜ Zn ˜ Cu ˜ Fe. Obviamente, a contribuição porcentual da difusão foi inversa (Quadro 2.12).

Dessa maneira, constata-se que a difusão foi o principal mecanismo de transporte para o P, Fe, Mn, Zn e Cu, resultados que corroboram os de outros autores (Barber, 1962; Vargas et al., 1983). Para o K, a difusão também foi o mecanismo predominante, contribuindo aproximadamente com 85 e 95% do K absorvido, no sistema CER e no sistema CCM, respectivamente. Esse resultado concorda com os dados de Vargas et al. (1983), que trabalharam com milho. Valores semelhantes também foram determinados para outras culturas, como: milheto (Rosolem et al., 2003), arroz (Ruiz et al., 1999) e algodão (Rosolem et al., 2001; Oliveira et al., 2004). Considerando o Ca e o Mg, onde o fluxo de massa foi o mecanismo de transporte mais importante, os resultados experimentais foram coincidentes com os de Vargas et al. (1983) e Ruiz et al. (1999).

Os contrastes analisados para comparar a resposta do fluxo de massa e da difusão aos tratamentos, dentro de cada sistema de manejo, estão apresentados nos Quadros 2.13 e 2.14. Como previamente justificado, foram excluídos os contrastes que compararíam o transporte de Ca, de Fe e, nas amostras retidas do sistema CCM, aqueles correspondentes ao Cu.

Da comparação dos Quadros 2.13 e 2.14, verifica-se que sempre houve inversão de sinal, quando se observam os contrastes estatisticamente significativos calculados para a contribuição do fluxo de massa e da difusão. O fluxo de massa foi maior no conjunto dos agregados que no solo, e também quando comparados os agregados maiores *versus* os menores (C_1 e C_2, Quadro 2.13). A difusão é inversa, ou seja, maior no solo e nos agregados menores, que apresentaram maior proporção de argila (C_1 e C_2, Quadro 2.14).

Não houve efeito consistente do potencial de água do solo em relação à contribuição relativa para o fluxo de massa e a difusão (Quadros 2.13 e 2.14), assim como foi verificado para os contrastes que compararam os valores absolutos das quantidades transportadas por fluxo de massa e por difusão (Quadros 2.9 e 2.10).

Quadro 2.13. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando a contribuição percentual do transporte de nutrientes por fluxo de massa, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo [1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
N (%)	19,44**	46,79**	6,67*	-23,65**	24,04**	30,31**	-16,98**
P (%)	0,66**	0,98**	-0,21**	-0,31**	0,02	0,10	-0,53**
K (%)	11,05**	24,21**	2,67*	-2,52	5,42**	5,19**	0,16
Mg (%)	6,07*	55,35**	6,53*	-6,53*	11,58*	13,05**	0,00
S (%)	42,00**	74,01**	-4,09	-14,45*	5,71	10,37	-18,54
Mn (%)	0,21**	0,52**	-0,03	-0,07*	0,07*	0,04	-0,10**
Zn (%)	0,12**	0,14**	-0,02	-0,09**	0,03	0,07**	-0,12**
Cu (%)	0,02**	0,03**	-0,01	-0,02**	0,01	0,01	-0,03**
			CCM				
N (%)	26,72**	45,38**	21,31**	-12,04**	-3,38	9,27	33,34**
P (%)	0,15**	0,28**	0,03	0,03	-0,01	0,00	0,07
K (%)	2,60*	6,27**	3,21**	2,48*	-0,27	0,73	5,68*
Mg (%)	19,57**	39,44**	22,82**	11,36**	-3,72	11,46**	34,18**
S (%)	36,81**	74,36**	3,21	-3,21	-2,47	6,42	0,00
Mn (%)	0,01	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,03
Zn (%)	0,00	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,04

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Quadro 2.14. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando a contribuição percentual do transporte de nutrientes por difusão, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
N (%)	-19,44**	-46,79**	-6,67*	23,65**	-24,04**	-30,31**	16,98**
P (%)	-0,66**	-0,98**	0,21**	0,31**	-0,02	-0,10	0,53**
K (%)	-11,05**	-24,21**	-2,67*	2,52	-5,42**	-5,19**	-0,16
Mg (%)	-6,07*	-55,35**	-6,53*	6,53*	-11,58*	-13,05**	0,00
S (%)	-42,00**	-74,01**	4,09	14,45*	-5,71	-10,37	18,54
Mn (%)	-0,21**	-0,52**	0,03	0,07*	-0,07*	-0,04	0,10**
Zn (%)	-0,12**	-0,14**	0,02	0,09**	-0,03	-0,07**	0,12**
Cu (%)	-0,02**	-0,03**	0,01	0,02**	-0,01	-0,01	0,03**
			CCM				
N (%)	-26,72**	-45,38**	-21,31**	12,04**	3,38	-9,27	-33,34**
P (%)	-0,15**	-0,28**	-0,03	-0,03	0,01	0,00	-0,07
K (%)	-2,60*	-6,27**	-3,21**	-2,48*	0,27	-0,73	-5,68*
Mg (%)	-19,57**	-39,44**	-22,82**	-11,36**	3,72	-11,46**	-34,18**
S (%)	-36,81**	-74,36**	-3,21	3,21	2,47	-6,42	0,00
Mn (%)	-0,01	-0,03	-0,02	-0,01	0,00	-0,01	-0,03
Zn (%)	0,00	-0,03	-0,02	-0,01	0,00	-0,01	-0,04

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, - 40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

CONCLUSÕES

1. As quantidades de nutrientes transportadas às raízes das plantas de milho por fluxo de massa e por difusão são maiores em amostras retiradas do sistema cerradão (CER) que nas retiradas do sistema convencional com milho (CCM). Essa diferença é atribuída, fundamentalmente, à maior disponibilidade de N no cerradão.

2. A influência da água do solo nos mecanismos de transporte de nutrientes é maior nas amostras de solo com maiores concentrações de nutrientes em solução, sistema CER, tendo o fluxo de massa e a difusão crescido em importância na condição de maior disponibilidade de água.

3. Nos dois sistemas de manejo, CER e CCM, a contribuição porcentual do fluxo de massa para o suprimento de nutrientes aumenta nos agregados maiores, enquanto para a difusão o comportamento é inverso.

4. A contribuição porcentual do fluxo de massa e da difusão ao transporte de nutrientes permitiu estabelecer esta ordem para o fluxo de massa: Ca > Mg > N > S > K > P ˜ Mn ˜ Zn ˜ Fe ˜ Cu. A média para os cinco primeiros é de 99, 63, 56, 45 e 10%, respectivamente.

5. A difusão é o principal mecanismo de transporte de P, K, Fe, Mn, Zn e Cu até a superfície das raízes do milho, sendo responsável por valores superiores a 99%, exceto para K, cujo valor é 90%.

LITERATURA CITADA

ALVAREZ V., V.H. & ALVAREZ, G.A.M. Comparação de médias ou teste

BECKER, M. & MAURER, E.J. Morfologia de raízes, suprimento e influxo de potássio em plantas de milho. R. Bras. Ci. Solo, 10:259-263, 1986.

BONO, L.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G.; FRANÇA, S.; RABIN, B.; SANTOS, A.O. & BERGONCI, J.I. Alterações no padrão de resposta à luz da condutância estomática do milho causadas pelo déficit hídrico. R. Bras. Agrom., 9: 27-34, 2001.

BRAGA, J.M & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. R. Ceres, 21:73-85, 1974.

CALDER, I.R.; HALL, R.L. & ADLARD, P.G. Growth and water use of forest plantations. Chichester, John Wiley, 1992. 381p.

CHAVES, M.M. Effects of water deficit on carbon assimilation. J. Exp. Bot., 42:1-16, 1991.

COSTA, L.C.; MORISON, J. & DENNETT, M. Effects of water stress on photosynthesis, respiration and growth of Faba bean (*Vicia faba* L.) growing under field conditions. R. Bras. Agrom., 5:9-16, 1997.

FLOSS, F.L. Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 2004. 529p.

GHOLZ, H. & LIMA, W.P. The ecophysiological basis for productivity in the tropics. In: NAMBIAR, E.K.S. & BROWN, A.G., eds. Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. Canberra, ACIAR, 1997. p.213-246.

KEMPERS, A.J. & ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. Comm. Soil Sci. Plant. Anal. 17:715-723, 1986.

LIMA, W.P. Impacto ambiental do eucalipto. São Paulo, USP, 1996. 301p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. Londres, Academic Press, 1995. 889p.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, UFV, 1999. 399p.

NYE, P.H. Diffusion of ions and uncharged solutes in soils and soil clays. Adv. Agron., 31:225-272, 1979.

OLIVEIRA, R.H.; ROSOLEM, C.A. & TRIGUEIRO, R.M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. R. Bras. Ci. Solo, 28:439-445, 2004.

ROSA, L.M.; DILLENBURG, L.R. & FORSETH, I.N. Responses of soybean leaf angle, photosyntesis and stomatal conductance to leaf and soil water potential. Ann. Bot., 67:51-58, 1991.

ROSOLEM, C.A.; ESTEVES, J.A.F. & SILVA, R.H. Significance of mass flow and diffusion in supplying K to cotton roots as affected by liming and K rates. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH, 5. South Africa, 2001. Programme. África do Sul, 2001. p.48.

ROSOLEM, C.A.; MATEUS, G.P.; GODOY, L.J.G.; FELTRAN,J.C. & BRANCALIÃO, S.R. Morfologia radicular e suprimento de potássio ás raízes de milheto de acordo com a disponibilidade de água e potássio. R. Bras. Ci. Solo, 27:875-884, 2003.

RUIZ, H.A. Efeito do conteúdo de água sobre o transporte de fósforo em dois Latossolos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 86p. (Tese de Doutorado)

RUIZ, H.A.; MIRANDA, J. & CONCEIÇÃO, J.C.S. Contribuição dos mecanismos de fluxo de massa e de difusão para o suprimento de K, Ca e Mg a plantas de arroz. R. Bras. Ci. Solo, 23:1015-1018, 1999.

SILVA, D.J.; ALVAREZ V., V.H. & RUIZ, H.A. Fluxo de massa e difusão de enxofre para raízes de milho em solos ácidos de Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, 22:109-114, 1998.

SILVA, D.J.; ALVAREZ V., V.H. & RUIZ, H.A. Transporte de enxofre para as raízes de soja em três solos de Minas Gerais. Pesq. Agropec. Bras., 37:1161-1167, 2002.

SILVA, W.; FERREIRA, L.R.; SILVA, A.A. & FIRMINO, L.E. Taxa transpiratória de mudas de eucalipto em resposta a níveis de água no solo e à convivência com braquiária. Pesq. Agropec. Bras., 35: 923-928, 2000.

STREBEL, O. & DUYNISVELD, W.H.M. Nitrogen supply to cereals and sugar beet by mass flow and diffusion on silty loam soil. Z. Pflanzenernaehrung. BedenK. 152:135-141, 1989.

SUTCLIFE, J.F. As plantas e a água. São Paulo, EPU/ Edusp, 1980. 123p.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. Plant physiology. 3 ed. Massachusetts, Sunderland, Sinauer, 2002. 690p.

VARGAS, R.M.B.; MEURER, E.J. & ANGHINONI, I. Mecanismos de suprimento de fósforo, potássio, cálcio e magnésio às raízes de milho em solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 7:143-148, 1983.

WILD, A. Mass flow and diffusion. In: GRENLAND, D.J. & HAYES, M.H.B., eds. The chemistry of soil processes. Chichester, John Wiley, 1981. p.37-80.

YANG, J.E.; SLOGLEY, E.O.; SCHAFF, B.E. & KIM, J.J. A simple spectrophotometric determination of nitrate in water, resin and soil extracts. Soil Soc. Am. J., 62: 1108-1115, 1998.

CAPÍTULO 3

VOLUME E COMPOSIÇÃO MINERAL DO EXSUDATO XILEMÁTICO DE MILHO, EM RESPOSTA AO TAMANHO DOS AGREGADOS, POTENCIAL DE ÁGUA E MANEJO DO SOLO

RESUMO

Para avaliar o movimento dos íons nos processos de absorção e translocação de nutrientes para a parte aérea, a análise da composição mineral da seiva xilemática seria uma das determinações mais representativas das condições reais da nutrição da planta. Neste trabalho objetivou-se quantificar o volume do exsudato xilemático e o seu conteúdo de P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu, em resposta ao tamanho dos agregados e à disponibilidade de água em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, retiradas de dois sistemas de manejo, cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional por mais de 30 anos (CCM). Os tratamentos corresponderam ao arranjo fatorial 2 (1 + 2) 2, sendo dois sistemas de manejo (CER e CCM), (1 + 2) solo passado em peneira de 4 mm e duas classes de agregados (< 0,5 e 0,5 - 4,0 mm), e dois potenciais de água do solo (- 40 e - 10 kPa), dispostos em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com 5 dm^3 de solo ou de agregados, controlando-se o potencial de água do solo com um tensiômetro por vaso. Aos 70 dias após a semeadura, cortou-se a parte aérea, colhendo-se o exsudato por contato direto com um tubo capilar na região do corte, durante 2 horas. Nesse material determinou-se a concentração de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu. De posse das concentrações de nutrientes e do volume de exsudato recolhido em cada unidade experimental, calculou-se o conteúdo de nutrientes no exsudato xilemático. O volume de exsudato xilemático, colhido de plantas de milho, aumenta com a diminuição do tamanho do agregado e com a maior disponibilidade de água do solo, no sistema cerradão. Os maiores conteúdos de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu no exsudato xilemático das plantas cultivadas em amostras retiradas do sistema cerradão dependem do aumento significativo do volume de exsudato colhido nesse sistema de manejo.

VOLUME AND MINERAL COMPOSITION OF XYLEMATIC EXUDATES FROM CORN, IN RESPONSE TO AGGREGATE SIZE, WATER POTENTIAL AND SOIL MANAGEMENT

ABSTRACT

Analyzing the mineral composition of xylematic sap would be one of the most representative ways of determining the real nutrition conditions of a plant in order to evaluate the movement of ions in the processes of nutrient absorption and translocation to the aerial part of the plant. This work aimed to quantify the volume of the xylematic exudate and its content in P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn and Cu, in response to aggregate sizes and water availability in Dystrophic Red Latosol samples collected from two management systems, cerradão without management (CER) and continuous cultivation with maize under conventional management for over 30 years (CCM). The treatments corresponded to a factorial scheme 2 (1 + 2) 2, being two management systems (CER and CCM), (1 + 2) soil sieved in 4 mm sieve and two aggregate classes (< 0,5 and 0,5 – 4,0 mm), and two soil water potentials (- 40 and - 10 kPa), arranged in a randomized block design, with four repetitions. The experimental units were plastic vases containing 5dm^3 soil or aggregates, and the water potential in the soil was controlled with a tensiometer per vase. At 70 days after sowing the aerial part of the plants was cut, and the exudates were collected by direct contact with a capillary tube in the cut region, during 2 hr. This material was used to determine P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn and Cu concentrations. Based on the nutrient concentrations and volume of the exudates collected in each experimental unit, nutrient content in the xylematic exudates was calculated. The volume of the xylematic exudates collected from maize plants increases with the decrease of the aggregate size and with higher soil water availability, under the cerradão system. The highest contents of P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn and Cu in the xylematic exudates of plants cultivated in the cerradão system samples depend on a significant increase in the volume of the exudates collected in this management system.

INTRODUÇÃO

A absorção de nutrientes pelas plantas depende de sua disponibilidade no solo e do crescimento e eficiência das raízes para adquiri-los. A disponibilidade de nutrientes é devido a fatores químicos, físicos e biológicos do solo, que com a disponibilidade de água influenciam o transporte até as raízes das plantas. Em relação ao sistema radicular, características morfológicas, taxa de crescimento e distribuição de raízes no solo devem ser levadas em consideração.

Após a absorção pelas raízes os nutrientes são translocados no interior da planta, atingindo caules e folhas (Marschner, 1995). Esse transporte é realizado pelo xilema, e posteriormente, ocorre redistribuição no floema. Os nutrientes são rapidamente distribuídos por meio da corrente transpiracional (Larcher, 2000). Assim, é importante conhecer a composição do exsudato xilemático para avaliar a absorção e translocação de nutrientes das raízes para a parte aérea. O estudo da seiva xilemática é, em essência, uma das determinações mais representativas das condições reais da nutrição do vegetal (Vale et al., 1984).

Para a coleta do exsudato xilemático geralmente, é feita, uma incisão no caule, próximo à superfície do solo, destacando-se a parte aérea e recolhendo-se o fluido durante um determinado período (Vale et al., 1984; Ruiz et al., 1988; Oliveira et al., 2003). A seiva exsudada na região do corte flui em resposta à pressão radicular (Taiz & Zeiger, 2002).

A pressão radicular é um mecanismo que se evidencia quando a transpiração é mínima e a situação é favorável à absorção salina pelas raízes. Comumente o exsudato contém concentrações salinas mais altas que a da solução próximo às raízes. Inicialmente, o sal é absorvido, de forma ativa, e transferido ao sistema xilemático. Como conseqüência, é gerado um gradiente osmótico para o interior, isto é, o potencial da água no xilema é mais baixo que o da solução externa (Epstein, 1975). Observa-se assim que a pressão radicular é conseqüência de fatores de natureza complexa, que envolvem

constituintes metabólicos (absorção ativa) e osmóticos (gradiente de concentração) (Zholkevich, 1991).

Quando as taxas de transpiração são altas, a água é rapidamente transportada às folhas e perdida para a atmosfera, de forma que uma pressão positiva não se desenvolve no xilema (Larcher, 2000; Taiz & Zeiger, 2002).

Ruiz et al. (1988), avaliando o volume do exsudato xilemático de soja em resposta ao potencial da água do solo, evidenciaram dependência marcante com a disponibilidade de água. Esses autores verificaram incremento de até 30 vezes quando o potencial matricial passou de -40 para -10 kPa.

Neste trabalho objetivou-se quantificar o volume do exsudato xilemático e o seu conteúdo de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu, em resposta ao tamanho dos agregados e à disponibilidade de água em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico, retiradas sob dois sistema de manejo, cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional por mais de 30 anos (CCM).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento, realizado em casa de vegetação e descrito no Capítulo 1, foi utilizado para quantificar o volume do exsudato xilemático e o seu conteúdo de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu, em resposta ao tamanho dos agregados, potencial de água e manejo do solo. No Quadro 3.1 estão os valores de retenção de água e os teores disponíveis e trocáveis de nutrientes nos materiais utilizados.

Os tratamentos corresponderam ao arranjo fatorial 2 (1+2) 2, sendo dois sistemas de manejo: cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional por mais de 30 anos (CCM), (1+2) solo peneirado por malha de 4 mm e duas classes de agregados (< 0,5 e 0,5 - 4,0 mm), e dois potenciais de água do solo (-40 e -10 kPa). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições.

Quadro 3.1. Retenção de água e teores disponíveis e trocáveis de nutrientes do solo e das classes de agregados (< 0,5 e 0,5 - 4,0 mm) em amostras de um Latossolo Vermelho distrófico retiradas sob dois sistema de manejo[1/], na EMBRAPA Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG

Característica	CER			CCM		
	Solo	< 0,5	0,5 - 4,0	Solo	< 0,5	0,5 - 4,0
Retenção de água (kg/kg)						
-10 kPa	0,359	0,420	0,327	0,392	0,400	0,291
-40 kPa	0,322	0,347	0,316	0,312	0,339	0,272
P (mg/dm^3)	5,00	7,00	4,70	9,40	9,90	8,70
K (mg/dm^3)	67,00	64,00	54,00	91,00	86,00	73,00
Ca^{2+} (cmol$_c$/dm^3)	3,74	3,72	3,13	1,43	1,45	1,14
Mg^{2+} (cmol$_c$/dm^3)	0,76	0,74	0,64	0,34	0,34	0,28
S (mg/dm^3)	1,60	1,20	1,40	2,70	2,70	2,70
Fe (mg/dm^3)	33,70	43,10	32,40	28,20	26,80	42,90
Mn (mg/dm^3)	58,80	98,0	50,30	39,50	42,50	53,70
Zn (mg/dm^3)	1,52	2,12	1,05	4,11	3,99	4,88
Cu (mg/dm^3)	0,49	0,58	0,42	0,61	0,67	0,74

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM).

O controle do potencial foi feito diariamente, durante os 70 dias de duração do ensaio, utilizando um tensiômetro por vaso. Na finalização, a parte aérea das plantas de milho foi cortada 2 cm acima do coleto. Em seguida, colheu-se o exsudato por contato direto com tubos capilares na região do corte, durante 2 horas. A seiva do xilema foi sempre coletada no início da manhã, amostrando-se dois blocos por dia.

O exsudato xilemático foi colocado em frascos de vidro previamente tarados a 0,0001 g, determinando-se a massa do conjunto. O volume foi estimado por diferença de peso, assumindo o valor de 1,0000 kg/L para a densidade da solução. Nesse material determinou-se a concentração de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu por leitura direta em ICP-EOS (espectrofotômetro de emissão ótica em plasma induzido). De posse das concentrações desses nutrientes e do volume de exsudato recolhido em cada unidade experimental, calculou-se o conteúdo de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu no exsudato xilemático.

Os resultados foram submetidos à análise de variância. Comparou-se o efeito do sistema de manejo e formularam-se cinco contrastes ortogonais dentro de cada sistema de manejo do solo, CER ou CCM (Quadro 3.2).

Quadro 3.2. Coeficientes dos contrastes (C) e contrastes adicionais (CA) utilizados na comparação do material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), e do potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo, cerradão, sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM)[1/]

Material	Potencial	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
	kPa							
Solo	- 40	-2	0	0	0	-1	0	0
	- 10	-2	0	0	0	1	0	0
AG < 0,5 mm	- 40	1	-1	-1	1	0	-1	0
	- 10	1	-1	1	-1	0	1	0
AG 0,5 - 4,0 mm	- 40	1	1	-1	-1	0	0	-1
	- 10	1	1	1	1	0	0	1

[1/] C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* - 10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm.

Acrescentaram-se dois contrastes adicionais (CA_1 e CA_2), visando decompor o efeito do potencial dentro de cada classe de agregados. Optou-se por trabalhar com contrastes médios, dividindo-se o resultado de cada contraste por $\frac{1}{2}S|c_i|$, em que $|c_i|$ representa o valor absoluto dos respectivos coeficientes (Alvarez V. & Alvarez, 2006). A significância dos contrastes foi testada pelo teste F, a 5 e 1% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSÃO

Os valores do volume de exsudato xilemático e das concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu estão no Quadro 3.3. Não foi possível determinar o N, por não haver condição de quantificá-lo por leitura no ICP-EOS e o volume de exsudato ser insuficiente para realizar a determinação analítica específica.

Observa-se que o sistema de manejo influenciou fortemente o volume de exsudato. Nas plantas cultivadas em amostras retidas do sistema cerradão (CER), o volume colhido no período de 2 horas foi, aproximadamente, oito

Quadro 3.3. Volume e composição mineral do exsudato xilemático, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial de água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	Volume de exsudato	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	mL	mg/L								
CER	Solo	-40	0,763	4,57	114,59	69,71	93,99	8,04	0,28	1,66	0,89	0,45
		-10	2,228	7,35	60,39	51,21	63,54	4,45	0,20	1,21	0,57	0,19
	AG < 0,5 mm	-40	1,025	3,98	171,03	71,21	95,87	8,24	0,20	2,17	0,96	0,36
		-10	2,238	10,03	65,48	52,73	71,61	4,32	0,15	1,56	0,67	0,13
	AG 4 - 0,5 mm	-40	0,162	5,74	270,03	78,83	90,01	13,26	0,44	1,90	1,40	0,82
		-10	1,094	5,40	127,58	55,85	74,85	7,18	0,31	1,30	0,75	0,24
	Média[2/]		1,252A	6,18B	134,85B	63,26A	81,64A	7,58A	0,26B	1,63A	0,87B	0,36B
CCM	Solo	-40	0,139	32,00	124,78	35,46	40,02	4,80	0,31	1,47	1,47	0,51
		-10	0,134	29,49	130,10	22,49	25,48	5,94	0,43	0,52	0,80	1,18
	AG < 0,5 mm	-40	0,144	37,88	153,07	19,89	26,51	10,80	0,31	0,74	3,06	1,48
		-10	0,281	23,58	101,07	16,93	18,03	3,47	0,87	0,87	0,67	1,08
	AG 4 - 0,5 mm	-40	0,085	19,89	227,64	30,67	28,34	5,21	0,30	1,74	0,99	1,01
		-10	0,129	39,35	156,43	38,46	42,05	7,08	0,48	1,41	2,04	1,70
	Média[2/]		0,152B	30,36A	148,85A	27,31B	30,07B	6,22A	0,33A	1,12B	1,50A	1,16A

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

vezes superior àquele coletado das plantas cultivadas em amostras de solo sob cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM) (Quadro 3.3). Essa constatação ratifica observações preliminares, que indicaram que as plantas cultivadas em amostras de solos retiradas do sistema CER tiveram condições mais favoráveis para o crescimento e o acúmulo de nutrientes, como indicado no Capítulo 1.

As concentrações de nutrientes no exsudato de milho foram afetadas pelo sistema de manejo, notando-se diferenças significativas para todos os nutrientes, exceto o S (Quadro 3.3). Porém, a resposta não foi uniforme. As plantas cultivadas em amostras retirados do sistema CER apresentaram maiores concentrações de Ca, Mg e Mn e menores de P, K, Fe, Zn e Cu. Considerando os cinco macronutrientes determinados no exsudato, a relação das concentrações da solução do solo, quando comparados os dois sistemas de manejo, CER e CCM, foram de 2,71, 1,65, 7,04, 6,18 e 0,64, para P, K, Ca, Mg e S, respectivamente (Quadro 2.5). A apreciável diferença nas concentrações de Ca e Mg permitiu que a concentração no exsudato retirado das plantas cultivadas em amostras do sistema CER fossem maiores nestes nutrientes. No caso do P e K, as concentrações mais próximas e os volumes exsudados significativamente menores nas plantas cultivadas nas amostro do sistema CCM elevaram a concentração desses elementos. Já em relação ao S, a menor concentração no sistema CER foi compensada pelo maior volume de exsudado, sem registrar diferenças estatisticamente significativas entre os dois sistemas de manejo, CER e CCM. Para os micronutrientes, as baixas concentrações na solução do solo indicariam que a absorção desses elementos respondeu mais a efeitos metabólicos que osmóticos, levando aos valores diferenciados apresentados no Quadro 3.3.

Tomando como base a concentração dos macronutrientes na seiva xilemática (Quadro 3.3) e a concentração na solução do solo (Quadro 2.5), foi calculada a relação entre essas duas variáveis. Os valores foram de 487,9 (P), 30,1 (K), 5,7 (S), 4,5 (Mg) e 0,7 (Ca), nas amostras analisadas provenientes do sistema CER. Paralelamente, a difusão foi responsável pelo transporte de 99,5,

84,8, 60,3, 29,7 e 0% desses nutrientes, respectivamente. Considerando que a pressão radicular é conseqüência de fatores que envolvem processos metabólicos (absorção ativa) e osmóticos (gradiente de concentração) (Zholkevich, 1991), pode-se inferir que, quanto maior a contribuição do transporte por difusão, maior a participação dos processos metabólicos na absorção dos nutrientes pelos vegetais.

Nas amostras retiradas do solo cultivado com milho em sistema convencional por longo período (CCM) foram realizados cálculos semelhantes, que mostraram estes valores para a relação entre concentrações: 15.180 (P), 75,2 (K), 11, 6 (Mg), 7,6 (S) e 2,2 (Ca). Como a difusão foi responsável pelo transporte de 99,8 (P), 94,8 (K), 49,5 (S), 43,3 (Mg) e 2,4% (Ca), observa-se uma inversão na seqüência quando se comparam Mg e S.

Analisando o efeito do tamanho dos agregados (C_2, Quadro 3.4), verifica-se que o maior volume de exsudato coletado foi em plantas cultivadas nos agregados < 0,5 mm, apenas no sistema cerradão (CER). Esse resultado ocorreu em razão da maior disponibilidade de água nesses agregados em relação aos agregados maiores (Quadro 3.1).

O volume de exsudato colhido das plantas de milho foi influenciado pela disponibilidade de água (C_3, C_5, CA_1 e CA_2) apenas no sistema CER. Esse resultado evidencia a forte dependência do volume de exsudato com o potencial de água do solo (Quadro 3.4). Ruiz et al. (1988) também verificaram influência marcante da disponibilidade de água do solo em relação ao volume de exsudato colhido, com aumento de até 30 vezes no potencial matricial de -10 kPa em relação ao de -40 kPa.

O maior conteúdo de nutrientes no exsudato xilemático ocorreu nas plantas cultivadas nas amostras retiradas do sistema CER, em razão do maior volume de exsudato colhido neste manejo (Quadro 3.5). Esses resultados acompanham o acúmulo de nutrientes na parte aérea, à exceção do K (Quadro 1.10). Esses resultados evidenciam a importância do estudo da seiva xilemática em estudos de absorção de nutrientes.

Quadro 3.4. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando o volume e a concentração de nutrientes no exsudato xilemático, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
Volume de exsudato (mL)	-0,37**	-1,00**	1,07**	-0,14	1,47**	1,21**	0,93**
P (mg/L)	0,32	-1,44	2,85	-3,20	2,78	6,05	-0,35
K (mg/L)	71,04**	80,55**	-124**	-18,45	-54,19	-105,6**	-142,4**
Ca (mg/L)	4,20	5,37	-20,73**	-2,25	-18,50**	-18,48**	-22,98**
Mg (mg/L)	4,32	-1,31	-19,72**	4,55	-30,45**	-24,26**	-15,17*
S (mg/L)	2,00	3,94**	-5,00**	-1,08	-3,60*	-3,92*	-6,08**
Fe (mg/L)	0,04	0,19**	-0,09**	-0,04	-0,08	-0,05	-0,13**
Mn (mg/L)	0,30*	-0,27**	-0,61	0,01	-0,44	-0,62	-0,60
Zn (mg/L)	0,21	0,26	-0,47	-0,18	-0,32	-0,30	-0,65
Cu (mg/L)	0,06	0,28	-0,41	-0,17	-0,26	-0,23	-0,58
			Milho				
Volume de exsudato (mL)	0,02	-0,11	0,09	-0,05	-0,01	0,14	0,04
P (mg/L)	-0,57	-1,10	2,58	16,88**	-2,50	-14,30**	19,46**
K (mg/L)	32,11	64,97**	-61,60**	-9,60	5,32	-52,00	-71,20**
Ca (mg/L)	-2,49	16,15**	2,42	5,38	-12,97**	-2,96	7,79
Mg (mg/L)	-4,02	12,92**	2,62	11,10**	-14,54*	-8,48	13,71*
S (mg/L)	1,27	-0,99	-2,73*	4,60**	1,14	-7,33**	1,87**
Fe (mg/L)	-0,05	0,15**	0,03	0,16**	0,12**	-0,13**	0,18**
Mn (mg/L)	0,19	0,77	-0,10	-0,23	-0,96	0,13	-0,33
Zn (mg/L)	0,55	-0,35	-0,67*	1,72**	-0,68	-2,39**	1,05**
Cu (mg/L)	0,48**	0,07	0,15	0,55**	0,67	-0,40	0,70

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e ** significativos a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Não houve resposta do conteúdo de nutrientes no exsudato de plantas cultivadas na amostras retiradas do sistema CCM, em relação ao material utilizado, solo ou agregado, ao tamanho do agregado e à disponibilidade de água (Quadro 3.6). Esse resultado está relacionado ao volume de exsudato colhido neste sistema de manejo, no qual também não se observou efeito significativo em relação aos fatores em estudos (Quadro 3.4).

Quadro 3.5. Conteúdo de nutrientes no exsudato xilemático, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados (AG), o potencial de água do solo e o sistema de manejo[1/]

Sistema de manejo	Material	Potencial	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
		kPa	µg/vaso								
CER	Solo	-40	3,60	89,30	52,97	71,44	6,03	0,20	1,28	0,66	0,34
		-10	16,51	134,36	113,42	141,25	9,99	0,44	2,68	1,29	0,44
	AG < 0,5 mm	-40	5,00	153,88	72,43	93,20	7,12	0,24	2,18	0,93	0,32
		-10	24,33	153,56	116,42	162,78	9,94	0,35	3,46	1,45	0,27
	AG 4 - 0,5 mm	-40	1,10	47,94	13,12	14,80	2,38	0,07	0,31	0,21	0,13
		-10	6,22	139,04	56,82	74,71	6,99	0,31	1,29	0,69	0,22
	Média[2/]		9,46A	119,68A	70,86A	93,03A	7,08A	0,27A	1,87A	0,87A	0,29A
CCM	Solo	-40	4,81	17,15	4,90	5,57	0,69	0,04	0,21	0,20	0,07
		-10	3,44	14,23	3,91	3,20	0,66	0,05	0,10	0,09	0,11
	AG < 0,5 mm	-40	5,53	21,79	2,96	3,94	1,55	0,05	0,11	0,46	0,22
		-10	5,26	24,05	4,44	4,55	0,78	0,04	0,22	0,17	0,26
	AG 4 - 0,5 mm	-40	1,69	19,35	2,61	2,41	0,44	0,03	0,15	0,08	0,09
		-10	5,07	19,92	4,97	5,48	0,92	0,06	0,18	0,27	0,22
	Média[2/]		4,30B	19,41B	3,96B	4,19B	0,84B	0,04B	0,16B	0,21B	0,16B

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). [2/] Letras diferentes, na coluna, indicam diferenças significativas a 1% pelo teste F, para sistema de manejo.

Os contrastes que comparam os efeitos dos fatores sobre o conteúdo de nutrientes no exsudato das plantas cultivadas nas amostras retiradas do sistema CER, mostram que, quando significativos, eles acompanham as tendências apresentadas para o volume de exsudato colhido das plantas, nas análises dos contrastes solo *vs* agregados, agregados < 0,5 mm *vs* agregados 0,5 – 4,0 mm e entre potenciais de água do solo (Quadros 3.4 e 3.6).

Quadro 3.6. Contrastes e contrastes adicionais médios comparando o conteúdo de nutrientes no exsudato xilemático, considerando o material utilizado no ensaio, solo ou agregados, e o potencial de água do solo dentro de cada sistema de manejo[1/]

Variável	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	CA_1	CA_2
			CER				
P (µg/vaso)	-0,89	-11,01**	12,23**	-7,10**	12,91**	19,33**	5,12
K (µg/vaso)	11,77	-60,23**	45,40**	45,71**	45,06	-0,31	91,11**
Ca (µg/vaso)	-18,50**	-59,45**	43,84**	-0,15	60,45**	43,99**	43,69**
Mg (µg/vaso)	-19,98**	-83,23**	64,74**	-4,83	69,81**	69,58**	59,91**
S (µg/vaso)	-1,41	-3,85**	3,72**	0,90	3,96**	2,83**	4,62**
Fe (µg/vaso)	-0,08**	-0,10**	0,18**	0,07	0,25**	0,11**	0,24**
Mn (µg/vaso)	-0,17	-2,02**	1,13**	-0,15	1,40**	1,27**	0,98**
Zn (µg/vaso)	-0,15	-0,74	0,50	-0,02	0,63	0,52	0,47
Cu (µg/vaso)	-0,16**	-0,12**	0,02	0,07	0,10	-0,05	0,10
			CCM				
P (µg/vaso)	0,26	-2,01	1,56	1,83	-1,37	-0,27	3,38
K (µg/vaso)	5,59	-3,28	1,41	-0,84	-2,92	2,26	0,57
Ca (µg/vaso)	-0,66	0,09	1,92	0,44	-1,00	1,48	2,36
Mg (µg/vaso)	-0,29	-0,30	1,84	1,23	-2,37	0,61	3,07
S (µg/vaso)	0,25	-0,48	-0,15	0,63	-0,03	-0,78	0,48
Fe (µg/vaso)	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	-0,01	0,04
Mn (µg/vaso)	0,01	0,00	0,07	-0,04	-0,11	0,11	0,03
Zn (µg/vaso)	0,10	-0,14	-0,05	0,24	-0,11	-0,29	0,18
Cu (µg/vaso)	0,11**	-0,09	0,09	0,05	0,04	0,04	0,14

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). C_1: solo *vs* agregados. C_2: tamanho de agregados, AG < 0,5 mm *vs* AG 0,5 - 4,0 mm. C_3: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/agregados. C_4: interação tamanho de agregados x potencial de água do solo d/agregados. C_5: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/solo. CA_1: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG < 0,5 mm. CA_2: potencial de água do solo, -40 kPa *vs* -10 kPa, d/AG 0,5 - 4,0 mm. * e ** significativos, a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

CONCLUSÕES

1. O volume de exsudato xilemático colhido de plantas de milho aumenta com a diminuição do tamanho do agregado e com o aumento da disponibilidade de água do solo, no sistema cerradão.

2. Os maiores conteúdos de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu no exsudato xilemático das plantas cultivadas em amostras retiradas do sistema cerradão dependem do aumento significativo do volume de exsudato colhido nesse sistema.

LITERATURA CITADA

EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas. São Paulo, USP, 1975. 341p.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos, RiMa, 2000. 531p.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. Londres, Academic Press, 1995. 889p.

OLIVEIRA, M.N.S.; OLIVA, M.A.; MARTINEZ, C.A. & SILVA, M.A.P. Variação diurnal e sazonal do pH e composição mineral da seiva do xilema em tomateiro. Hort. Bras., 21: 10-14, 2003.

RUIZ, H.A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R.F. & ALVAREZ V.;V.H. Efeito da umidade do solo sobre o volume e o conteúdo de fósforo no exsudato xilemático de soja. R. Bras. Ci. Solo, 12: 39-42, 1988.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. Plant physiology. 3 ed. Massachusetts, Sunderland, Sinauer, 2002. 690p

VALE, F.R.; NOVAIS, R.F.; SANT'ANNA, R & BARROS, N.F. Absorção e translocação de fosfato em milho suprido com nitrato ou amônio e pré-tratado com alumínio. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 8:219-222, 1984.

ZHOLKEVICH, V.N. Root pressure. In: WAISEL, Y; ESHEL, A. & KAFKAFI, U., eds. Plant roots: the hidden half. New York, Marcel Dekker, 1991. p.589-603.

CONCLUSÕES GERAIS

1. As plantas cultivadas em amostras de solo retiradas do sistema cerradão (CER) apresentam maior produção de matéria seca e maior conteúdo de macro e micronutrientes, exceto K, que as cultivadas em amostras provenientes do cultivo contínuo com milho em sistema convencional (CCM). Essa resposta é atribuída, fundamentalmente, à maior disponibilidade de N nas amostra de solo do sistema CER.

2. A produção de matéria seca e o conteúdo de nutrientes diminuem com o aumento do tamanho dos agregados, visto que os menores apresentam maior disponibilidade de água e nutrientes, independentemente do sistema de manejo, CER e CCM.

3. A influência da água do solo na produção de matéria seca e no conteúdo de nutrientes é mais acentuada na amostra de solo com maior disponibilidade de nutrientes, sistema CER, do que naquela retirada do sistema CCM. Essa resposta ocorreu em razão da menor disponibilidade de N, que, conseqüentemente, limitou a produção das plantas cultivadas nas amostras de solo provenientes do sistema CCM.

4. As quantidades de nutrientes transportados às raízes das plantas de milho por fluxo de massa e por difusão são maiores em amostras retiradas do

sistema CER, comparadas àquelas retiradas do sistema CCM. Essa diferença é atribuída, fundamentalmente, à maior disponibilidade de N no cerradão.

5. A influência da água do solo nos mecanismos de transporte de nutrientes é maior nas amostras de solo com maiores concentrações de nutrientes em solução, sistema CER. Tendo o fluxo de massa e a difusão crescidos em importância na condição de maior disponibilidade de água.

6. Nos dois sistemas de manejo, CER e CCM, a contribuição porcentual do fluxo de massa para o suprimento de nutrientes aumenta nos agregados maiores, enquanto a difusão o comportamento é inverso.

7. A contribuição porcentual do fluxo de massa e da difusão ao transporte de nutrientes permitiu estabelecer esta ordem, para o fluxo de massa: Ca > Mg > N > S > K > P ˜ Mn ˜ Zn ˜ Cu ˜ Fe. A média para os cinco primeiros é de 99, 63, 56, 45 e 10%, respectivamente.

8. A difusão é o principal mecanismo de transporte de P, K, Fe, Mn, Zn e Cu até a superfície das raízes do milho, sendo responsável por valores superiores a 99%, exceto para K, cujo valor é 90%.

9. O volume de exsudato xilemático colhido de plantas de milho aumenta com a diminuição do tamanho do agregado e com o aumento da disponibilidade de água do solo, no sistema cerradão.

10. Os maiores conteúdos de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu no exsudato xilemático das plantas cultivadas em amostras retiradas do sistema cerradão dependem do aumento significativo do volume de exsudato colhido nesse sistema.

APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1.1A. Análise de variância da altura de plantas, do diâmetro do caule (?), da área foliar (AF), da área foliar especifica (AFE) e da produção de matéria seca de folhas (MSF), caule (MSC), parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) e da relação MSPA/MSR, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de variação	GL	Quadrado médio								
		Altura	?	AF	AFE	MSF	MSC	MSPA	MSR	MSPA/MSR
Blocos	3	50,72**	0,291	17165,00	5,06**	0,569	0,539	1,829	0,281	0,161**
Sistema de manejo	1	3818,83**	16,208**	13424531,48**	362,78**	172,491**	37,595**	371,074**	32,545**	0,188*
Contrastes d/CER[1/]	5	1378,91**	7,156**	3551672,41**	16,18**	88,003**	69,835**	314,395**	15,361**	2,746**
Contrastes d/CCM[1/]	5	584,75**	1,091**	237850,60**	2,02	8,291**	11,856**	39,654**	0,735*	2,315**
Resíduo	33	16,15	0,197	36098,06	1,35	0,576	0,451	1,801	0,225	0,060
CV (%)		5,37	7,85	15,01	6,03	11,97	12,57	11,48	10,30	10,19

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). * e ** significativos a 5 e 1%, pelo teste F.

Quadro 1.2A. Análise de variância dos teores de nutrientes na parte aérea e nas raízes das plantas de milho, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio									
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
						Parte Aérea					
Blocos	3	2,23	0,003	0,885	0,213	0,091	0,002	1849,50	31,39	6,78	3,44**
Sistema de manejo	1	1223,72**	0,625**	467,878**	69,432**	199,862**	2,275**	13572,35**	17064,36**	3094,78**	172,11**
Contrastes d/CER[1/]	5	64,71**	0,033**	52,700**	6,524**	0,950**	0,235**	1739,02	9395,65**	470,98**	4,74**
Contrastes d/CCM[1/]	5	6,19**	0,040**	29,443**	1,887**	0,175	0,017**	1458,92	5356,88**	223,89**	0,65
Resíduo	33	0,92	0,005	1,915	0,175	0,103	0,004	961,29	179,52	24,10	0,83
CV (%)		9,04	7,34	11,30	8,67	8,17	7,95	24,13	9,63	11,78	27,59
						Raízes					
Blocos	3	0,64	0,007	3,862	0,349	0,019	0,055	571195,40	329,38	136,52	33,20
Sistema de manejo	1	543,38**	0,131**	773,250**	66,737**	7,964**	1,300**	466556,87	3238,48**	90,37	1609,55**
Contrastes d/CER[1/]	5	56,38**	0,047**	38,459**	0,743*	0,298**	0,152**	599070,24	584,00	224,77**	329,09**
Contrastes d/CCM[1/]	5	3,12*	0,008	16,018*	0,575	0,041	0,049*	742720,84	1775,30**	378,33**	186,01**
Resíduo	33	1,12	0,004	5,787	0,294	0,025	0,018	319571,30	301,87	40,06	54,14
CV (%)		10,35	8,90	19,91	15,94	16,57	11,72	33,27	19,56	23,17	26,16

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). * e ** significativos a 5 e 1%, pelo teste F.

Quadro 1.3A. Análise de variância do acúmulo de nutrientes na parte aérea e nas raízes das plantas de milho, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de variação	GL	Quadrado médio									
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
						Parte Aérea					
Blocos	3	459,54	2,51	34,24	147,13	132,05	2,15	274476	62204	3173	522,56**
Sistema de manejo	1	285242,56**	51,03*	7071,82**	28863,31**	53686,89**	766,59**	12612440**	12250238**	1579618**	40286,59**
Contrastes d/CER[1/]	5	31065,07**	159,31**	4249,63**	6469,63**	8468,66**	121,24**	5034671**	3501071**	317263**	5376,78**
Contrastes d/CCM[1/]	5	571,01	48,89**	4240,42**	185,24	86,21	8,74**	389886**	151732*	25370**	27,65**
Resíduo	33	369,06	1,72	113,52	103,92	98,28	1,73	98383	56906	3693	118,27
CV (%)		15,48	12,16	9,06	18,56	19,92	14,48	21,27	16,05	13,08	26,96
						Raízes					
Blocos	3	34,13	0,16	67,11	1,65	0,23	0,58	14347960	8197	2607	419,29
Sistema de manejo	1	22896,51**	5,13**	5444,45**	3023,45**	300,13**	0,15	186575043**	38459*	7491*	117588,92**
Contrastes d/CER[1/]	5	1325,95**	5,20**	173,38	203,87**	12,32**	7,53**	72463482**	61178**	5319**	20404,80**
Contrastes d/CCM[1/]	5	45,54	0,71**	165,75	6,05	0,38	2,74**	18464099	21116	3342*	3794,89
Resíduo	33	77,25	0,20	79,85	13,22	0,89	0,46	9437951	8791	1095	1924,83
CV (%)		18,43	13,47	18,07	22,35	20,59	13,63	37,61	23,80	27,79	32,31

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). * e ** significativos a 5 e 1%, pelo teste F.

Quadro 2.1A. Análise de variância da água transpirada e da taxa transpiratória das plantas de milho, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de variação	GL	Quadrado médio	
		Água transpirada	Taxa transpiratória
Blocos	3	0,575	0,671
Sistema de manejo	1	15,687**	44,083**
Contrastes d/CER[1/]	5	15,628**	14,457**
Contrastes d/CCM[1/]	5	2,317**	14,091**
Resíduo	33	0,263	0,236
CV (%)		12,90	11,86

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). * e ** significativos a 5 e 1%, pelo teste F.

Quadro 2.2A. Análise de variância do acúmulo de nutrientes nas plantas de milho (parte aérea + raízes), considerando os tratamentos aplicados

Fonte de variação	GL	Quadrado médio									
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
Blocos	3	369,58	2,23	80,37	125,21	123,22	0,934	14771770	27079	3624,09	1172,08
Sistema de manejo	1	469769,03**	88,49**	24926,29**	50570,107**	62016,95**	788,343**	296206378**	13661487**	1804662,55**	295524,30**
Contrastes d/CER[1/]	5	43444,73**	217,16**	5402,17**	8812,67**	8983,77**	182,435**	112485198**	4111170**	352401,48**	42129,50**
Contrastes d/CCM[1/]	5	573,49	55,19**	4802,88**	165,36	83,85	19,657**	22644585	156483	26179,75**	4243,21
Resíduo	33	557,27	2,13	205,99	131,94	101,05	2,604	9994354	70004	5187,78	2155,48
CV (%)		13,74	10,33	8,59	16,13	18,50	11,48	32,79	14,07	12,34	26,36

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). * e ** significativos a 5 e 1%, pelo teste F.

Quadro 2.3A. Análise de variância das quantidades de nutrientes transportadas por fluxo de massa e por difusão, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de variação	GL	Quadrado médio								
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn
						Fluxo de massa				
Blocos	3	787,20	0,0002	6,48	1534,60	52,92	19,80	0,003	0,21	0,01
Sistema de manejo	1	136750,45**	0,0174**	1163**	1460038,61**	56042,41**	14,21*	0,010**	281,78**	7,77**
Contrastes d/CER[1/]	5	14949,89**	0,0080**	667,84**	122209,57**	6091,91**	78,46*	0,011**	50,77**	0,98**
Contrastes d/CCM[1/]	5	1607,90**	0,0008	85,50**	393,54	28,61	184,66**	0,016**	0,12	0,01
Resíduo	33	219,50	0,0006	7,05	1057,54	36,42	24,50	0,002	0,2114	0,05
CV (%)		16,05	21,91	18,91	14,96	13,72	80,37	14,65	14,40	40,87
						Difusão				
Blocos	3	39,60	2,1935	74,81		22,59	0,41	1477182,00	26953,90	3626,26
Sistema de manejo	1	92183,26**	85,9745**	36863,17**		6626,06**	592,21**	296202914,00**	13542327,88**	1799055,10**
Contrastes d/CER[1/]	5	29611,34**	217,2867**	7378,29**		3510,83**	313,74**	11288444,95**	4115977,17**	351609,34**
Contrastes d/CCM[1/]	5	2116,12**	55,3665**	5793,21**		119,01	76,58**	22645359,80	156170,30	26033,14**
Resíduo	33	517,72	2,1257	201,12		60,18	2,93	9994356,00	69914,79	5175,08
CV (%)		27,94	10,34	9,27		37,92	18,20	32,80	14,08	12,34

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). * e ** significativos a 5 e 1%, pelo teste F.

Quadro 2.4A. Análise de variância da contribuição percentual do fluxo de massa e da difusão para o transporte de nutrientes, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de variação	GL	Quadrado médio						
		N	P	K	Mg	S	Mn	Zn
					Fluxo de massa			
Blocos	3	58,85	0,013	4,17	4,80	28,49	0,0003	0,0001
Sistema de manejo	1	788,07	1,602**	1191,23**	2230,10**	1404,73*	0,6855**	0,1366**
Contrastes d/CER[1/]	5	2868,88**	1,354**	621,90**	2611,92**	6456,25**	0,2739**	0,0390**
Contrastes d/CCM[1/]	5	2892,9**	0,087**	51,88**	2177,97**	5888,35**	0,0011	0,0013
Resíduo	33	67,22	0,009	5,33	36,72	112,28	0,0016	0,0012
CV (%)		14,10	27,92	22,50	9,60	25,41	22,20	39,43
					Difusão			
Blocos	3	58,85	0,013	4,17	4,80	28,49	0,0003	0,0001
Sistema de manejo	1	788,07	1,602**	1191,23**	2230,10**	1404,73*	0,6855**	0,1366**
Contrastes d/CER[1/]	5	2868,88**	1,354**	621,90**	2611,92**	6456,25**	0,2739**	0,0390**
Contrastes d/CCM[1/]	5	2892,9**	0,087**	51,88**	2177,97**	5888,35**	0,0011	0,0013
Resíduo	33	67,22	0,009	5,33	36,72	112,28	0,0016	0,0012
CV (%)		19,60	0,093	2,57	16,46	18,17	0,040	0,034

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). * e ** significativos a 5 e 1%, pelo teste F.

Quadro 2.5A. Análise de variância da quantidade de Cu transportado por fluxo de massa e por difusão e da contribuição porcentual desses mecanismos em amostras retiradas do cerradão, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Quantidade		Contribuição porcentual	
		Fluxo de massa	Difusão	Fluxo de massa	Difusão
Blocos	3	0,00009	1993,30	0,0005	0,0005
Contrastes d/CER[1/]	5	0,00391	42119,79**	0,0016**	0,0016**
Resíduo	15	0,00006	3565,55	0,0001	0,0001
CV (%)		12,90	23,46	38,72	38,72

[1/] Cerradão sem manejo (CER). * e ** significativos a 5 e 1%, pelo teste F.

Quadro 3.1A. Análise de variância do volume e da concentração e conteúdo de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu no exsudato xilemático das plantas de milho, considerando os tratamentos aplicados

Fonte de variação	GL	Quadrado médio									
		Volume	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu
						Concentração					
Blocos	3	0,066	83,99	3185,42	113,72	71,76	3,93	0,042**	0,3669**	1,175	0,368
Sistema de manejo	1	14,511**	7019,44**	2351,79	15501,75**	31919,99**	22,27	0,060**	0,6855*	4,761*	7,642**
Contrastes d/CER[1/]	5	2,743**	19,53	24320,66**	526,79**	719,75**	42,79**	0,042**	0,2739*	0,348	0,251
Contrastes d/CCM[1/]	5	0,018	237,17**	7597,07*	310,39**	339,39**	25,90	0,045**	0,0011	3,337**	0,680
Resíduo	24	0,104	41,62	2734,03	62,79	154,44	10,27	0,009	0,1006	0,664	0,456
CV (%)		39,94	36,59	39,96	17,62	21,97	47,42	33,83	23,99	70,44	95,52
						Conteúdo					
Blocos	3		19,73	5742,31*	154,25	201,91	0,96	0,018	0,2757	0,059	0,005
Sistema de manejo	1		319,51**	120640,85**	53704,64**	94708,42**	466,88**	0,600**	34,8366**	0,142	0,184**
Contrastes d/CER[1/]	5		324,36**	7181,93*	6192,08**	11289,33**	31,93**	0,067**	5,0977**	0,041	0,046*
Contrastes d/CCM[1/]	5		8,66	47,52	3,98	6,34	0,59	0,001	0,0106	0,001	0,028
Resíduo	24		32,78	2023,90	267,07	620,60	4,80	0,009	0,3003	0,059	0,016
CV (%)			74,58	59,10	38,10	44,47	49,13	55,14	47,73	40,13	53,38

[1/] Cerradão sem manejo (CER) e cultivo contínuo com milho em manejo convencional (CCM). * e ** significativos a 5 e 1%, pelo teste F.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo