

LARA KICH HARTMANN

DISPONIBILIDADE DE ZINCO PARA CAFÉ INFLUENCIADA PELA  
CORREÇÃO DA ACIDEZ E LOCALIZAÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL

2001

LARA KICH HARTMANN

DISPONIBILIDADE DE ZINCO PARA CAFÉ INFLUENCIADA PELA  
CORREÇÃO DA ACIDEZ E LOCALIZAÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO

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 “*Magister  
Scientiae*”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL

2001

LARA KICH HARTMANN

DISPONIBILIDADE DE ZINCO PARA CAFÉ INFLUENCIADA PELA  
CORREÇÃO DA ACIDEZ E LOCALIZAÇÃO DE FÓSFORO NO SOLO

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 “*Magister  
Scientiae*”.

APROVADA: 01 de outubro de 2001.

---

Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti  
(Conselheiro)

---

Prof. Roberto Ferreira de Novais  
(Conselheiro)

---

Dr. Francisco Morel Freire

---

Prof. Júlio César Lima Neves

---

Prof. Víctor Hugo Alvarez V.  
(Orientador)

*Aos meus pais, Eduardo e Veni, pelo apoio e amor.*

*Ao meu irmão Isaac.*

*Às pessoas especiais, que sempre tiveram ao meu lado.*

## **AGRADECIMENTO**

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização do Curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Professor Víctor Hugo Alvarez V., pela paciência, pela orientação, pelo apoio e pela amizade dispensada ao longo desta trajetória. Este agradecimento é extensivo também à sua esposa Zélia, pelo carinho e pela amizade transmitidos.

Aos Professores do Departamento de Solos, pelo exemplo de força e otimismo.

Aos Professores Roberto Ferreira de Novais, Reinaldo Bertola Cantarutti, Júlio César Lima Neves e Dr. Francisco Morel Freire, pelas críticas pertinentes e sugestões à tese.

Aos estudantes Ignácio e Donizetti, pela amizade e dedicação.

Às amigas, Nathalia, Maria Luiza, Tânia e Ilda, as quais desejo muitas alegrias e sucesso nas suas passagens pela Terra.

Aos laboratoristas do Departamento de Solos, que não pouparam esforços na ajuda da condução do trabalho, em especial Carlos Fonseca, Carlinhos e Írio Fernando, pelos momentos de descontração em casa de vegetação e laboratório.

Aos funcionários Sônia, Júnia, Luciana e Jairo, pela colaboração diária no desenvolvimento deste curso e pela amizade.

À minha segunda família, Martha e Ignácio, pelo carinho e pela proteção.

A todos aqueles não lembrados, a extensão do carinho.

Aos meus pais, Eduardo e Veni, meu irmão Isaac, pela confiança e pelo apoio, sem os quais a vida seria difícil.

## **BIOGRAFIA**

LARA KICH HARTMANN, filha de Eduardo Jonathans Hartmann e Veni Dalva Kich Hartmann, nasceu em Ijuí, Estado do Rio Grande do Sul, em 18 de maio de 1977.

Em março de 1994 iniciou o Curso de Graduação, em Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 1999, iniciou o Curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do Prof. Víctor Hugo Alvarez V.

## ÍNDICE

	Página
LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAL E MÉTODOS	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1. Características químicas das amostras de solos antes do cultivo de café	13
3.2. Características químicas das amostras de solos após o cultivo de café	20
3.3. Produção de matéria seca e teores e conteúdos de nutrientes na parte aérea das plantas de café	37
3.4. Níveis críticos de Zn	55
4. RESUMO E CONCLUSÕES	59
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61



## LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1 – Caracterização química e física das amostras dos solos estudados	8
Quadro 2 – Fontes, massas molares e quantidades de reagentes utilizados como corretivos da acidez (CA) de acordo com a NC de cada solo.	9
Quadro 3 – Valores de pH e teores de Ca e de Mg trocáveis, antes do cultivo de café, considerando as doses de Zn e os corretivos da acidez nos solos estudados.	14
Quadro 4 – Análise de variância do pH e dos teores de Ca e Mg trocáveis do solo antes do cultivo com café, considerando os solos, os corretivos da acidez, e as doses de Zn (DZn).	15
Quadro 5 – Teores de Zn disponível pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA antes do cultivo de café, considerando as doses de Zn e os corretivos da acidez nos solos estudados.	17
Quadro 6 – Análise de variância dos teores de Zn disponível por Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA-TEA (DTPA) antes do cultivo com café, considerando os solos, os corretivos da acidez e as doses de Zn (DZn).	18
Quadro 7 – Equações de regressão do teor de Zn disponível ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) pelos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA-TEA (DTPA) antes do cultivo com café, em função das doses de Zn ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ), considerando os corretivos da acidez nos solos estudados.	19
Quadro 8 – Valores de pH em água, após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	21
Quadro 9 – Teores de Ca trocável após o cultivo considerando as doses de	

Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	22
Quadro 10 – Teores de Mg trocável após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	23
Quadro 11 – Análise de variância do pH e dos teores de Ca e Mg trocáveis do solo após o cultivo considerando os solos, os corretivos da acidez, as localizações de P (LP) e as doses de Zn (DZn).	24
Quadro 12 – Equações de regressão dos teores de Ca e Mg trocáveis do solo, após o cultivo, em função das doses de Zn ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) considerando a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.	25
Quadro 13 – Teores de P disponível pelo extrator Mehlich-1 após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	26
Quadro 14 – Teores de P disponível pelo extrator Mehlich-3 após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.	27
Quadro 15 – Teores de Zn disponível pelo extrator Mehlich-1 após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.	29
Quadro 16 – Teores de Zn disponível pelo extrator Mehlich-3 após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.	30
Quadro 17 – Teores de Zn disponível pelo extrator DTPA-TEA após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.	31
Quadro 18 – Análise de variância do P disponível no solo pelos extratores Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3) e Zn disponível pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA-TEA (DTPA) no solo após o cultivo, considerando os solos, os corretivos da acidez, as localizações de P (LP) e as doses de Zn (DZn).	32
Quadro 19 – Equações de regressão dos teores de P disponível ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) pelos extratores Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3) após o cultivo em função das doses de Zn ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) considerando a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.	33
Quadro 20 – Equações de regressão dos teores de Zn disponível ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA após o cultivo, considerando a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	34
Quadro 21 – Correlações de Pearson entre características dos solos relacionadas com a capacidade tampão e declividades das retas dos teores de Zn recuperados por Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA em função das doses de Zn adicionadas, para as amostras de solo coletadas antes (AC) e após (DC) o cultivo de café.	36

Quadro 22 – Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de café considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	38
Quadro 23 – Teores de Ca das folhas das plantas de café, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	39
Quadro 24 – Teores de Mg das folhas das plantas de café, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	40
Quadro 25 – Teores de P das folhas das plantas de café, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	41
Quadro 26 – Análise de variância da produção de matéria seca (PMS), e dos teores totais de Ca, Mg e P das folhas das plantas de café, considerando os solos, os corretivos da acidez, as localizações de P (LP) e as doses de Zn (DZn).	42
Quadro 27 – Equações de Regressão da produção de matéria seca da parte aérea das plantas de café (g/vaso) em função das doses de Zn ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ) e doses recomendáveis (DR), considerando a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.	44
Quadro 28 – Teores de Zn das folhas das plantas de café, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	45
Quadro 29 – Conteúdo de Zn da parte aérea das plantas de café, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	46
Quadro 30 – Análise de variância do teor de Zn das folhas das plantas de café (TZn) e do conteúdo de Zn da parte aérea das plantas de café (CZn), considerando os solos, os corretivos da acidez, as localizações de P (LP) e as doses de Zn (DZn).	48
Quadro 31 – Equações de regressão do teor de Zn nas folhas das plantas de café ( $\text{mg}/\text{kg}$ ) em função de doses de Zn ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ), considerando a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.	49
Quadro 32 – Equações de Regressão do conteúdo de Zn da parte aérea das plantas de café ( $\text{mg}/\text{vaso}$ ) em função de doses de Zn ( $\text{mg}/\text{dm}^3$ ), e a taxa de recuperação de Zn pela planta, considerando a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.	50
Quadro 33 – Correlações de Pearson entre declividades das retas dos teores de Zn recuperado em função das doses de Zn adicionadas por Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA entre si, e com características da parte aérea das plantas de café para condição de aplicação da dose zero de Zn, nas amostras de solo coletadas antes (AC) e após (DC) o cultivo de	

café.	52
Quadro 34 – Correlações de Pearson entre declividades das retas dos teores de Zn recuperado em função das doses de Zn adicionadas por Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA entre si, e com características da parte aérea das plantas de café para condição de aplicação de todas as doses de Zn, nas amostras de solo coletadas antes (AC) e após (DC) o cultivo de café.	54
Quadro 35 – Níveis Críticos de Zn no solo pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA-TEA (DTPA) considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.	56
Quadro 36 – Níveis críticos de Zn nas folhas das plantas de café e coeficiente de utilização biológica (CUB) nos níveis críticos, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.	57

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Corte transversal do vaso, ilustrando a região de localização de P (LP), correspondendo a 5 % (250 cm<sup>3</sup>), 10 % (500 cm<sup>3</sup>) e 30 % (1.500 cm<sup>3</sup>) do volume total de solo adicionado.

10

## RESUMO

HARTMANN, Lara Kich, M.S., Universidade Federal de Viçosa, outubro 2001.

**Disponibilidade de Zinco para café influenciada pela correção da acidez e localização de fósforo no solo.** Professor Orientador: Víctor Hugo Alvarez V. Professores Conselheiros: Roberto Ferreira de Novais e Reinaldo Bertola Cantarutti.

Com o objetivo de avaliar a resposta do café (*Coffea arabica* L.) à adição de Zn e determinar seu nível crítico no solo por diferentes extratores e na planta, em relação à correção da acidez e à localização de P em amostras de três solos, realizou-se um ensaio em casa de vegetação, com a variedade Catuaí vermelho nº H2077-2-5-44. Os tratamentos originaram-se de um fatorial completo (3 x 2 x 3 x 6), correspondendo a três solos (SSP – Latossolo Vermelho de São Sebastião do Paraíso, PAT – Latossolo Vermelho - Amarelo de Patrocínio e LAV – Latossolo Vermelho - Amarelo de Lavras); dois corretivos, sendo um deles, mistura de carbonatos de cálcio e magnésio e, o outro preparado, misturando-se 50 % de carbonatos e 50 % de sais neutros (sulfatos, nitratos e cloretos) de cálcio e magnésio; três modos de localização de P (5, 10 e 30 % do volume total do solo na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup> na forma de superfosfato triplo); e seis doses de Zn (0, 5, 10, 20, 40 e 80 mg/dm<sup>3</sup> para os solos SSP e PAT e 0, 3, 6, 12, 24 e 48 mg/dm<sup>3</sup> para o

solo LAV). Duas plantas de café foram cultivadas durante 14 meses, efetuando-se amostragem de solo antes e após os cultivos. Determinaram-se a produção de matéria seca da parte aérea das plantas e os teores de Zn e outros nutrientes nas folhas. Foi determinado nos solos, o Zn disponível por meio dos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA.

Os corretivos influenciaram a disponibilidade de Zn no solo, sendo que para o Mehlich-1 obtiveram-se maiores valores de Zn do que para Mehlich-3 e DTPA. Houve tendência para maior nível crítico no solo, quando a correção foi feita com mistura de carbonatos em comparação à mistura de carbonatos e sais neutros.

Para os solos PAT e LAV, as folhas apresentaram maior teor de Zn do que as plantas cultivadas no solo SSP. Os corretivos de acidez influenciaram a concentração de Zn nas plantas nos solos SSP e LAV. A maior localização de P no solo levou a menores teores de Zn nas folhas em todos os solos. Considerando a localização de P no solo observou-se que, a localização em menor volume de solo, levou a um maior conteúdo de Zn na parte aérea das plantas. O conteúdo de Zn na parte aérea das plantas apresentou resposta linear e curvilínea às doses de Zn adicionadas ao solo.

Observou-se que a localização de P alterou os níveis críticos no solo. No solo SSP, os maiores níveis críticos foram obtidos na localização de P em 10 % do volume de solo. No PAT, a localização de P em 30 % promoveu maior nível crítico no solo. No solo LAV, os maiores níveis críticos foram observados na localização de P em 5 % do volume de solo. O extrator Mehlich-1 apresentou maior variabilidade entre solos quanto à extração de Zn. As correlações entre teores obtidos por este extrator com características que representam a capacidade tampão do solo para a condição de não aplicação de Zn foram significativas, mas menores que as obtidas com o extrator Mehlich-3.

O conteúdo de Zn na parte aérea das plantas apresentou alta correlação com os teores obtidos com os extratores utilizados. Isto não se verificou para o teor de Zn e a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de café. Observou-se que os

coeficientes de correlação linear simples entre os teores obtidos pelos extratores são altos e significativos, sugerindo uma capacidade preditiva semelhante com relação ao Zn disponível.



## ABSTRACT

HARTMANN, Lara Kich, M.S., Universidade Federal de Viçosa, october 2001.

**Readiness of Zinc for coffee influenced by the correction of the acidity and match location in the soil.** Adviser: Víctor Hugo Alvarez V. Committee members: Roberto Ferreira de Novais e Reinaldo Bertola Cantarutti.

With the objective of evaluating coffee plants' (*Coffea arabica* L.) answer to the Zn addition and to determine its critical level in the soil for different extractors and in the plant, in relation to the correction of the acidity and to the P location in samples of three soils, it took place a rehearsal at a greenhouse, with the variety red Catuaí n H2077-2-5-44. The treatments were originated from a complete factorial (3 x 2 x 3 x 6), corresponding to three soils (SSP - Red Latossol of São Sebastião do Paraíso, PAT – Red-yellow Latossol of Patrocínio and LAV – Red-yellow Latossol of Lavras); two correctives, one of them being the mixture of calcium and magnesium carbonates, and the other mixture, being a mix of 50% carbonates and 50% calcium and magnesium neutral salts (sulfates, nitrates and chlorides); three manners of P location (5, 10 and 30% of the soil total volume in the dose of 200 mg/dm<sup>3</sup> in triple superphosphate form); and six Zn doses (0, 5, 10, 20, 40 and 80 mg/dm<sup>3</sup> for the SSP and PAT soils and 0, 3, 6, 12, 24 and 48 mg/dm<sup>3</sup> for the LAV soil). Two coffee plants were cultivated for 14 months, occurring soil sampling

before and after the cultivations. There were determined the plants aerial part dry matter production and the Zn and other nutrient tenors in leaves. The available Zn in the soils was determined by the extractors Mehlich-1, Mehlich-3 and DTPA-TEA.

The correctives influenced the soil Zn readiness, and for Mehlich-1 larger values of Zn were obtained than for Mehlich-3 and DTPA. There was a tendency for soil larger critical level, when the correction was made with carbonates mixture in comparison with the carbonates and neutral salts mixture.

For the PAT and LAV soils, the leaves presented larger Zn tenor than the plants cultivated in the SSP soil. The acidity correctives influenced the plants Zn concentration in the SSP and LAV soils. The largest soil P location took to smaller leave's Zn tenors in all soils. Considering the P location in the soil, it was observed that the smaller soil volume location took to a larger Zn content in the plants' aerial part. The Zn content in the plants' aerial part presented linear and curvilinear responses to the Zn doses added to the soil.

It was observed that the P location altered the soil critical levels. In the SSP soil, the largest critical levels were obtained in the 10% of the soil volume P location. In PAT, the P location in 30% promoted larger soil critical level. In the LAV soil, the largest critical levels were observed in the 5% of the soil volume P location. The Mehlich-1 extractor presented larger variability among soils as for the extraction of Zn. The correlations among tenors obtained by this extractor with characteristics that represent the soil buffer capacity for the no application of Zn condition were significant, but smaller than the obtained with the Mehlich-3 extractor.

The plants' aerial part Zn content presented high correlation with the tenors obtained with the used extractors. This was not verified for the Zn tenor and the coffee plants' aerial part dry matter production. It was observed that the simple linear correlation coefficients among the tenors obtained by the extractors are high and significant, suggesting a similar predictive capacity regarding available Zn.

## 1. INTRODUÇÃO

Sintomas de deficiência de Zn têm sido relatadas em diversas partes do mundo. No Brasil, deficiência deste micronutriente tem sido registrada para diversas culturas, tendo-se, como exemplo importante, a cultura do cafeeiro. Por outro lado, a atividade humana pode elevar o teor deste elemento no solo a níveis tóxicos. Como exemplos, citam-se os lugares onde se faz a deposição de resíduos industriais e lodo de esgoto, assim como em áreas próximas às minerações e instalações metalúrgicas.

O conhecimento dos fatores que influenciam a movimentação de Zn no solo, sua disponibilidade para as plantas, os mecanismos de reação deste elemento no solo e a interrelação com íons acompanhantes tornam-se necessários à compreensão de sua dinâmica no solo e, assim, poder fazer recomendações de adubação mais adequadas para as culturas (MARSCHNER, 1995, CAMARGO, 1991).

O fluxo difusivo é a forma de maior importância para o transporte de Zn, dada sua baixa concentração na solução do solo (SHARMA e DEB, 1984; MARSCHNER, 1993). Em dois solos com 10,3 e 14 % de argila e pH 8,4 e 8,5, SHARMA e DEB (1987) registraram uma contribuição de transporte de Zn para trigo de 9,8 e 18,5 % pelo fluxo de massa e de 90,2 e 81,5 % pela difusão.

Os processos de adsorção de Zn a constituintes do solo são o principal mecanismo de controle da sua dinâmica no solo (OLIVEIRA et al., 1999). Para CUNHA (1989), os mecanismos envolvidos na adsorção podem estar relacionados à adsorção eletrostática ou à específica. De modo geral, no entanto, a adsorção específica é o principal mecanismo de retenção de Zn no solo (POMBO e KLAMT, 1986). Para ELLIS e KNEZEK (1972), a adsorção específica dá-se pela ligação do Zn com grupos OH octaedrais em argilas silicatadas, em faces quebradas, em aberturas e em defeitos na estrutura cristalina. Esta adsorção específica pode ser esquematicamente representada por:

$$\left[ \left[ \begin{array}{c} \text{Al} - \text{O} \\ | \quad | \\ \quad \text{H}^+ \end{array} \right] \text{Zn} \right] \quad (\text{OLIVEIRA et al., 1999}).$$

Segundo SHUMAN (1986), os oxihidróxidos de Fe e de Al têm sido apontados como os componentes do solo controladores da concentração de Zn na solução. As reações de Zn com esses óxidos sofrem efeito marcante da acidez do solo, sendo maior sua adsorção com a elevação do pH (OKASAKI et al., 1986). TISLADE et al. (1985) indicam que os processos de adsorção de Zn à superfície dos óxidos ocorrem em dois sítios neutros. Para isto, deve ocorrer a desprotonação de duas moléculas de água ligadas a átomos de ferro, ocorrendo a ligação específica dos óxidos com o  $\text{Zn}^{2+}$ . Há ainda, um segundo mecanismo, sugerido por estes autores, que funcionaria a baixos valores de pH, resultando em uma adsorção não específica de Zn. Neste processo, o  $\text{Zn}^{2+}$  pode ser, também, substituído por outros cátions como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ba}^{2+}$ . A presença de óxidos de Fe e de Al influencia esta adsorção (FERREIRA e CRUZ, 1991). A remoção de óxidos de Fe eleva, com mais frequência que diminui, a capacidade de adsorção de  $\text{Zn}^{2+}$  pelas argilas silicatadas. Em minerais com Al em arranjos octaedrais, o Zn pode ser fixado em espaços não ocupados pelo Al na estrutura. Este tipo de fixação é acompanhado por um decréscimo na capacidade de adsorção de cátions e por um aumento na capacidade de adsorção de ânions pelo mineral (ELGABALY, 1950, OLIVEIRA et al., 1999).

Segundo HAMILTON (1993), 60 % do Zn disponível forma complexos com a matéria orgânica do solo. A formação de complexos orgânicos é importante

mecanismo de retenção de Zn nos solos. A presença da matéria orgânica pode controlar não apenas a retenção, mas também, a especiação de metais no solo, sendo a formação de complexos solúveis responsável pela manutenção de Zn em solução (AHUMADA et al., 1997). Para SHARMA e DEB (1988) a matéria orgânica do solo pode aumentar a taxa de difusão de Zn pela sua dessorção e formação de complexos solúveis, tendo como consequência, o aumento da concentração de Zn na solução do solo.

Deficiência de Zn em plantas observa-se com maior frequência, em solos com valores de pH acima de 6,0, sendo os calcários mais propensos a esse problema (SIMS, 1986). A pH elevado, o Zn forma compostos insolúveis como  $Zn(OH)_2$  e  $ZnCO_3$  (LINDSAY, 1991). Deve-se observar, no entanto, que nem todos os solos que apresentam pH alcalino têm problemas de deficiência de Zn devido ao mecanismo de quelatação do Zn, que ocorre naturalmente com substâncias orgânicas compensando, desta forma, sua baixa solubilidade nessas condições. Considerando-se as reações de hidrólise de compostos de Zn no solo, conclui-se que para cada aumento de uma unidade de pH, a solubilidade das formas de Zn no solo cai, aproximadamente, 100 vezes (LINDSAY, 1979). Segundo MORAGHAN e MASCAGNI Jr. (1991) na faixa de pH de 5,5 a 7,0, a concentração de equilíbrio do Zn diminui de 30 a 45 vezes com o aumento de cada unidade de pH do solo. A difusão de Zn em solos calcários pode, portanto, ser 50 vezes menor que em solos ácidos e a calagem, em solos ácidos, pode levar a um decréscimo no coeficiente de difusão semelhante ao encontrado em solos calcários.

Cátions metálicos podem formar pares iônicos, complexos e quelatos com ânions inorgânicos ou orgânicos (TAM, 1992). Dessa associação, podem resultar compostos positiva ou negativamente carregados, ou mesmo sem carga. Os complexos resultantes podem ser fracamente adsorvidos à superfície dos minerais, ou ainda adsorvidos mais fortemente que o elemento em sua forma iônica. LINDSAY (1979) sugere que quelatos orgânicos podem desempenhar importante papel na mobilidade dos metais. CUNHA (1989) constatou que a solubilidade do Zn

era dependente dos ânions presentes na solução do solo, tendo sido observada a seqüência de solubilidade  $ZnS < ZnSO_4 < ZnEDTA$ . O EDTA forma com o Zn complexos altamente estáveis, sendo maior a estabilidade com o aumento do pH. Em seu trabalho, KUMARI et al. (1988) utilizando um solo siltoso e um argiloso, ambos de origem aluvial e alcalinos, encontraram maior difusão no solo siltoso. Esses autores observaram a seguinte ordem de grandeza de difusão para as diferentes fontes de Zn utilizadas:  $ZnCl_2 > ZnCO_3 > ZnSO_4 > Zn(NO_3)_2 > Zn(OAc)_2$ .

A ação depressiva de altos níveis de P no solo sobre o teor foliar de Zn em várias culturas é bastante conhecida (HALDAR e MANDAL, 1981; CAKMAK e MARSCHNER, 1986; VIDIGAL FILHO, 1994; MUNER, 1996; OLIVEIRA et al. 1999). Existem evidências claras de que aplicações excessivas de P no solo podem induzir a deficiência de Zn nos tecidos das plantas. No geral, o  $H_2PO_4^-$  pode interagir fortemente com os colóides de carga variável do solo, aumentando-lhes as cargas negativas de superfície (TAGWIRA et al. 1993; AGBENIN, 1998). O Zn tem alta afinidade para formar compostos  $ZnH_2PO_4^+$  e se adsorver no complexo trocável do solo (AGBENIN, 1998). Isto diminui a atividade das formas de Zn livres na solução do solo e diminui a difusão para as raízes.

MARSCHNER (1995) comprovou que a deficiência de Zn afeta o metabolismo de P nas raízes, pelo aumento da permeabilidade da membrana plasmática das células da raiz para o P. Desta forma, o aumento da absorção de P em plantas deficientes em Zn pode, em parte, ser uma expressão da maior permeabilidade passiva da membrana plasmática das células da raiz ou o impedimento do controle do carregamento ao xilema.

Alguns autores acreditam que a aplicação de P leva a um intenso aumento no crescimento da planta, o qual pode ser maior do que a taxa de absorção de Zn pelas raízes, e isto leva a uma diluição de Zn nos tecidos das plantas, podendo até levá-la a mostrar sintomas de deficiência de Zn (LONERAGAN et al. 1979; MARSCHNER, 1995). Entretanto, algumas vezes, a concentração de Zn não muda na planta, mas

um aumento da fertilização de P aumenta os sintomas de deficiência de Zn e tem sido sugerido que o P aumenta o requerimento de Zn (CAKMAK e MARSCHNER, 1986; AGBENIN, 1998). LONERAGAN et al. (1993) mostraram que plantas deficientes de Zn, cultivadas em solução nutritiva, mostravam teores extremamente altos de P na parte aérea da planta (como fosfato inorgânico) e que os sintomas de deficiência de Zn poderia estar sendo confundido por sintomas de toxidez de P, dada a alta relação P:Zn. Para MARSCHNER (1995), o maior teor de P na matéria seca das plantas de milho deficientes em Zn suprida com altas doses de P pode ser somente atribuída a um efeito de concentração. Esse autor acredita que a principal razão para o alto teor de P nas folhas é que a deficiência de Zn aumenta tanto a taxa de absorção de P pelas raízes quanto sua translocação para a parte aérea.

São escassas as informações relativas à dinâmica de Zn em solos brasileiros. Grande parte disto se deve às numerosas inter-relações existentes entre as características dos solos e a porção disponível do nutriente. De modo geral, os extratores utilizados para Zn podem ser agrupados, de acordo com suas propriedades químicas, em: sais neutros, ácidos, bases e agentes quelantes ou complexantes (WU et al. 1991). Os extratores ácidos, como o Mehlich-1 e o HCl 0,1 mol/L, atuam por dissolução (WU et al. 1991). Entre os métodos de extração com agente complexante cita-se DTPA-TEA (LINDSAY e NORVELL, 1978). O extrator Mehlich-3 (MEHLICH, 1984) atua tanto por dissolução como por complexação.

A adsorção, com grande energia do Zn nos solos, particularmente naqueles com argila predominantemente oxídica (KALBASI et al. 1978) e precipitação em condições de pH mais elevado (LINDSAY e NORVELL, 1978), tem sido consideradas importantes causas da sua restrita disponibilidade para as plantas. COUTO et al. (1992), trabalhando com amostras de doze solos de cerrado verificaram que os níveis críticos de Zn no solo, determinado para o extrator Mehlich-1 e na planta de milho correlacionaram negativamente com características que refletem a capacidade tampão de Zn no solo, tais como o teor de argila, equivalente de umidade, óxido de ferro e alumínio, e diretamente com o P-

remanescente. É provável que o desgaste do extrator, como largamente observado para P (NOVAIS e SMYTH, 1999), seja responsável pela dependência dos níveis críticos ao fator capacidade.

O entendimento da disponibilidade de Zn em solos tem melhorado pelo conhecimento obtido com o uso de técnicas de extrações seqüenciais, que permitem observar a distribuição do elemento em diferentes frações do solo (IYENGAR et al. 1981). Em geral, os esquemas de fracionamento avaliam a concentração do elemento em solução, trocável, organicamente complexado e ligado a óxidos. Amostras de 20 solos da Nova Zelândia foram submetidas ao fracionamento de Zn, mostrando a participação de cada fração em relação ao Zn total. Na média, 3 % de Zn total encontrou-se na forma trocável, 5 % ligado à matéria orgânica, 9, 18 e 24 % associados a óxidos de Mn, de Fe amorfo e cristalino, respectivamente e 40 % na fração residual. Teores obtidos com os extratores mais usados do Zn disponível correlacionam-se mais estreitamente com o Zn trocável e com o ligado à matéria orgânica (AHUMADA et al. 1997). MANDAL (1986) afirma que além da matéria orgânica ser uma fonte potencial de Zn no solo, ela provoca uma redistribuição do Zn residual para a forma trocável.

A baixa disponibilidade de zinco em expressiva parcela de solos do Brasil, o efeito negativo da calagem em excesso sobre sua disponibilidade, a controvérsia entre autores sobre a interação P x Zn e as respostas positivas das plantas à fertilização com zinco, ressaltam a importância da avaliação da sua disponibilidade no solo para obtenção de elevadas produtividades das culturas. Neste trabalho, objetivou-se avaliar a disponibilidade de zinco pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA, influenciada pela correção da acidez e localização de fósforo no solo no crescimento inicial do café.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Em casa de vegetação foi conduzido um ensaio com os tratamentos originando-se de um fatorial 3 x 2 x 3 x 6, constituído por três solos de diferentes classes texturais, dois corretivos da acidez, três formas de localização de P e seis doses de Zn. Foram selecionados três Latossolos de diferentes classes texturais do estado de Minas Gerais, provenientes de São Sebastião do Paraíso (SSP), Patrocínio (PAT) e Lavras (LAV). Os solos foram coletados a uma profundidade de 0 – 20 cm, secos ao ar, passados em peneira com malha de 4 mm (Quadro 1). Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados, com três repetições. As unidades experimentais corresponderam a vasos com 5 dm<sup>3</sup> de solo, com duas plantas de café por vaso.

A necessidade de calagem (NC) em t/ha foi estimada, segundo (ALVAREZ V. e RIBEIRO, 1999), empregando-se a fórmula:

$$NC = Y [Al^{3+} - (m_t \cdot t/100)] + X - [(Ca^{2+} + Mg^{2+})] \quad \text{equação 1}$$

em que Y é um valor variável com a capacidade tampão da acidez do solo, e que pode ser estimado de acordo com o valor do P remanescente,  $m_t$  é a saturação máxima por  $Al^{3+}$  tolerada pela cultura, valor que corresponde a 25 %, t é a CTC efetiva, em  $cmol_c/dm^3$  e X é 3,5  $cmol_c/dm^3$ , conforme exigência da cultura de café.

Quadro 1 – Caracterização química e física das amostras dos solos estudados

Característica	SSP	PAT	LAV
pH – H <sub>2</sub> O (1:2,5)	5,2	5,1	5,2
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>1/</sup>	0,0	0,0	0,0
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>1/</sup>	1,8	1,0	0,2
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>1/</sup>	0,5	0,5	0,0
H + Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>2/</sup>	5,6	5,6	2,0
K (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	86,0	94,0	36,0
Zn (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	0,3	0,6	0,7
P (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	2,3	1,3	0,7
P remanescente (mg/L) <sup>4/</sup>	10,0	7,7	22,8
Carbono orgânico (dag/kg) <sup>5/</sup>	1,59	2,71	0,19
SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,52	1,74	0,29
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,52	1,74	0,29
Areia grossa (%) <sup>6/</sup>	8	14	33
Areia fina (%) <sup>6/</sup>	24	6	36
Silte (%) <sup>6/</sup>	19	34	6
Argila (%) <sup>6/</sup>	49	46	25
CC (dag/kg) <sup>7/</sup>	21,17	30,76	10,43

SSP – Solo de São Sebastião do Paraíso; PAT – Patrocínio; LAV – Lavras; <sup>1/</sup> Extrator KCl 1 mol/L (EMBRAPA, 1997). <sup>2/</sup> Extrator Acetato de cálcio 0,5 mol/L, pH 7,0 (EMBRAPA, 1997). <sup>3/</sup> Extrator Mehlich-1 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981). <sup>4/</sup> Concentração de P da solução de equilíbrio, após agitar por 1 h o solo com CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol/L, contendo 60 mg/L de P na relação 1:10 (ALVAREZ V. et al, 2000). <sup>5/</sup> Método Walkley e Black (JACKSON, 1958). <sup>6/</sup> Método da pipeta (EMBRAPA, 1997). <sup>7/</sup> Capacidade de campo determinada pelo Método de Richards (EMBRAPA, 1997)

Foram estudados dois corretivos de acidez. Um dos corretivos foi preparado pela mistura de carbonato de cálcio e de magnésio p.a., na proporção 4:1 em mols, correspondendo à necessidade de calagem determinada para cada solo, conforme a equação 1 (CA1). O outro corretivo também, de acordo com a NC calculada, foi preparado misturando-se 50 % de CA1 e 50 % de sais neutros (sulfatos, nitratos e cloretos de cálcio e magnésio), mantendo-se a relação molar Ca:Mg no valor de 4:1 (CA2) (Quadro 2).

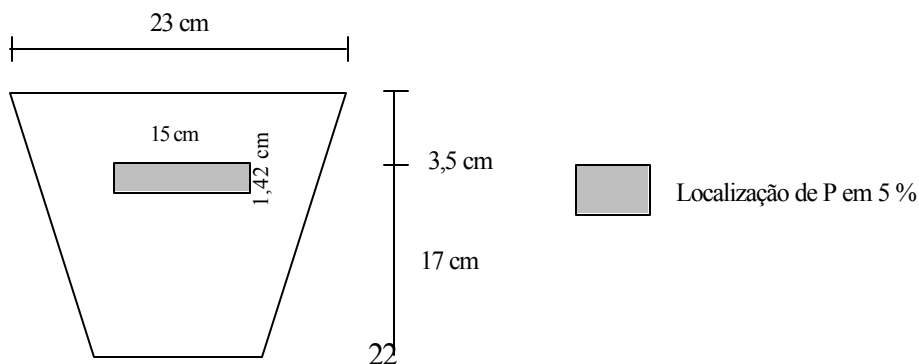
Após a incubação por 15 dias com os corretivos, as amostras dos solos receberam nitrogênio e enxofre na forma de uréia e sulfato de amônio, e potássio na forma de sulfato de potássio, para igualar as quantidades adicionadas em todos os tratamentos. Também foram adicionadas as doses de Zn que variaram em função das diferentes capacidades tampão de cada solo, influenciados pelos teores de argila dos solos. As doses de 0, 5, 10, 20, 40 e 80 mg/dm<sup>3</sup>, para o solo SSP e PAT e 0, 3, 6, 12, 24 e 48 mg/dm<sup>3</sup>, para o solo LAV foram incorporadas no volume total de solo do vaso na forma de solução de ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O. Após quinze dias de nova incubação foi feita a amostragem do solo.

Quadro 2 – Fontes, massas molares e quantidades de reagentes utilizados como corretivos da acidez de acordo com a NC de cada solo.

CA <sup>1/</sup>	Fonte		Dose (t/ha)		
	Reagente	Massa Molar	SSP (1,2)	PAT (2,0)	LAV (3,3)
CA1 <sup>2/</sup>	CaCO <sub>3</sub>	100	3,12	5,05	8,59
	MgCO <sub>3</sub>	84	0,66	1,06	1,81
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	132	0,62	1,00	1,70
	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>	60	0,33	0,53	0,90
CA2	CaCO <sub>3</sub>	100	1,56	2,53	4,29
	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	172	0,54	0,87	1,48
	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	236	1,84	2,98	5,07
	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	147	0,67	1,11	1,89
	MgCO <sub>3</sub>	84	0,33	0,53	0,90
	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	246	0,19	0,31	0,53
	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	256	0,60	0,97	1,65
	MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	203	0,16	0,26	0,44

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras. <sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio.

O P foi aplicado na forma de superfosfato triplo na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup> de P. O superfosfato triplo foi triturado e passado em peneira de 0,25 mm. A quantidade adicionada foi calculada para o volume total de solo no vaso, mas a aplicação foi feita em três proporções de solo, em 5, 10 e 30 % do volume total, sendo localizados ao longo de cilindro central do vaso (Figura 1). Para isto, utilizou-se um tubo de PVC com 15 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento, com as duas extremidades abertas. O P foi localizado a partir de 3,5 cm da superfície do solo.



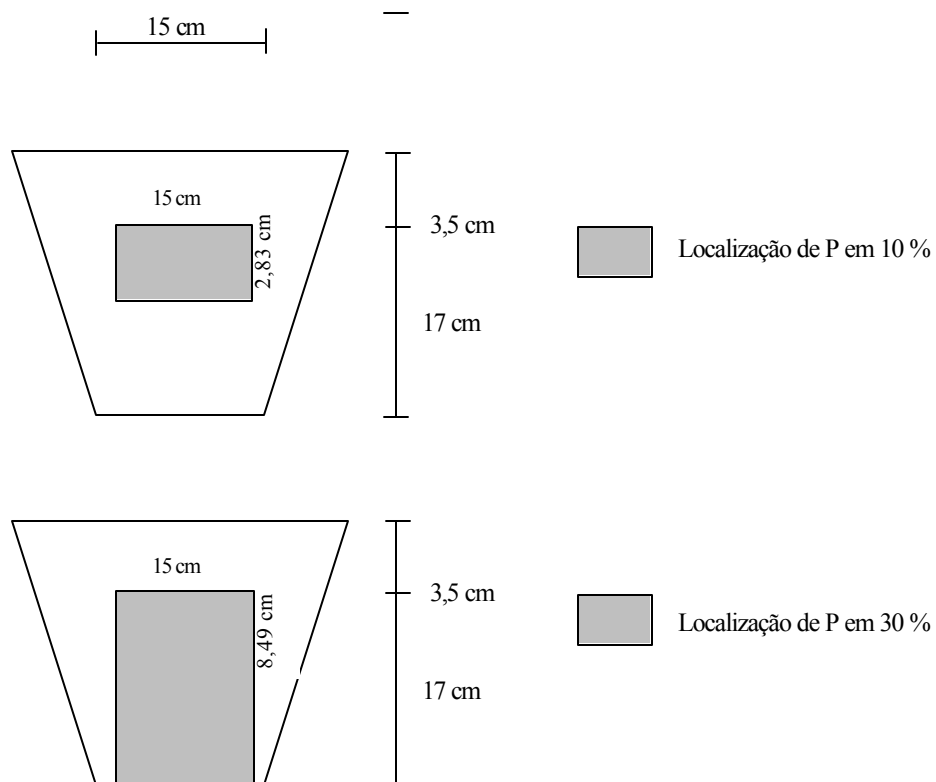


Figura 1 – Corte transversal do vaso, ilustrando a região de localização de P (LP), correspondendo 5 % (250 cm<sup>3</sup>), 10 % (500 cm<sup>3</sup>) e 30 % (1.500 cm<sup>3</sup>) do volume total de solo adicionado.

Foram plantadas sete sementes de café (*Coffea arabica* L variedade Catuai vermelho H2077-2-5-44) na parte central do vaso. As sementes foram germinadas diretamente no solo para evitar qualquer efeito de acúmulo de Zn nas mudas transplantadas. O semeio foi efetuado em 20/09/1999. No estadio de palito, foram desbastadas três plantas e um novo desbaste foi feito em 10/01/2000, quando as plantas estavam com o primeiro par de folhas, deixando-se as duas plantas mais uniformes e melhor centralizadas no vaso.

Após o último desbaste, foram feitas seis aplicações a intervalos de 60 dias de uma solução de micronutrientes sem Zn. Aplicou-se, por dm<sup>3</sup>, um total de 0,813 mg de B (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), 3,665 mg de Mn (MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O), 1,329 mg de Cu (CuCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O), 1,556 mg de Fe (FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O com EDTA) e 0,15 mg de Mo ((NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O) (ALVAREZ V., 1974). Aos 4 e aos 8 meses foi feita a aplicação foliar de oxicloreto

de cobre para controle da ferrugem (*Hemileia vastatrix*). Foram feitas, também, em intervalos de 23 dias, 16 aplicações de nitrogênio em solução, usando-se como fontes, uréia e sulfato de amônio, totalizando 450 mg/dm<sup>3</sup> de N e 42,51 mg/dm<sup>3</sup> de S.

Durante o período de crescimento adicionou-se ao solo diariamente água deionizada, suficiente para manter a umidade inicialmente em torno de 80 % da capacidade de campo, e posteriormente até 100 % da capacidade de campo do solo, o que foi monitorado por meio da pesagem de algumas unidades experimentais. As unidades experimentais sofreram rodízio quinzenal dentro de cada bloco.

O corte das plantas foi efetuado após 14 meses de cultivo (20/11/2000). As plantas colhidas foram divididas em folhas e ramos mais caule. Estes materiais foram secos em estufa de ventilação forçada a 70 °C até peso constante, determinando-se, então o peso da matéria seca, sendo posteriormente moídas e em seguida, mineralizada por digestão nítrico-perclórica. Nos extratos determinaram-se, os teores de Ca, Mg, e Zn por espectrofotometria de absorção atômica e P por espectrofotometria de absorção molecular (BRAGA e DEFELIPO, 1974).

Após a colheita das plantas, com o auxílio de um pequeno trado, retiraram-se três amostras de solo de cada vaso cobrindo toda a profundidade. Estas amostras foram retiradas nas bordas e no centro do vaso, constituindo aproximadamente 60 cm<sup>3</sup> de solo, para análise posterior.

Nas amostras de solo, coletadas antes e depois do plantio, foram determinados o Zn disponível extraído com Mehlich-1 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981), Mehlich-3 (MEHLICH, 1984), e DTPA-TEA (LINDSAY e NORVELL, 1978), Ca e Mg trocáveis extraídos com KCl 1 mol/L e determinações por espectrofotometria de absorção atômica e P disponível extraído com Mehlich-1 e Mehlich-3 e dosado por espectrofotometria de absorção molecular.

Os dados de solo e de planta foram submetidos à análise de variância, utilizando-se contrastes ortogonais para as comparações entre solos (SSP + PAT vs LAV e SSP vs PAT), e localização de P (LP) dentro dos corretivos da acidez e nos diferentes solos (por exemplo: LP5 + LP10 vs LP30 d/CA1 d/SSP e, LP5 vs LP10 d/CA1 d/SSP; LP5+LP10 vs LP30 d/CA2 d/SSP e, LP5 vs LP10 d/CA2 d/SSP). Também foram ajustados modelos de regressão, relacionando-se as variáveis dependentes obtidas no solo e na planta com as doses de Zn dentro das misturas de corretivos e localização de P nos diferentes solos. Os modelos escolhidos foram aqueles que, além de possuírem coeficientes de

regressão significativos até o nível de 10 %, apresentassem o maior coeficiente de determinação ajustado. Usou-se o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG) da UFV.

Com base nos modelos de regressão selecionados para produção de matéria seca, em função das doses de Zn, foram calculadas as doses necessárias para atingir 90 % da produção máxima (“doses recomendáveis”). Pela substituição das “doses recomendáveis” nas equações de regressão que relacionavam os teores de Zn no solo e na planta com as doses adicionadas, foram obtidos os níveis críticos deste nutriente no solo e na planta.

As declividades das equações do Zn recuperado em função do adicionado antes e após o cultivo pelos diferentes extratores para cada solo, foram correlacionados entre si, com os teores e conteúdos de Zn da parte aérea das plantas, e com algumas características dos solos, objetivando verificar a sensibilidade dos extratores a algumas características que refletem a capacidade tampão.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Características químicas das amostras de solo antes do cultivo.

A caracterização foi realizada em amostras retiradas após a incorporação dos corretivos de acidez e das doses de Zn e antes da aplicação do P. Observou-se que os valores de pH foram diferentes entre os solos. O solo LAV apresentou maior valor que os outros (Quadro 3). Observou-se valores de pH maiores que 7,0 no solo LAV quando aplicou-se como corretivo a mistura de carbonatos (Quadro 3). Isto pode ser atribuído ao tempo de incubação, que neste solo pode ter sido insuficiente, não havendo solubilização total e completa do corretivo. Os solos SSP e PAT não apresentaram diferenças dos valores do pH em função das diferentes formas de corretivos aplicadas (Quadro 4).

Com respeito ao  $\text{Ca}^{2+}$ , apesar dos valores iniciais diferentes, com o solo LAV apresentando menor teor de  $\text{Ca}^{2+}$  (Quadro 1), após a aplicação dos corretivos apresentou maiores teores que o solo SSP e PAT (Quadro 3). Observou-se que somente o solo SSP não apresentou diferenças nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  em função dos corretivos aplicados (Quadro 4). Observou-se que, quando o corretivo utilizado foi a mistura de carbonatos e sais neutros, os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  foram maiores nos solos PAT e LAV (Quadros 3 e 4).

Quadro 3 – Valores de pH e teores de Ca e de Mg trocáveis, antes do cultivo de café, considerando as doses de Zn e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	Nível de Zn <sup>3/</sup>						$\bar{Y}$ <sup>4/</sup>
		0	1	2	4	8	16	
		pH						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5,71	5,69	5,70	5,72	5,61	5,67	5,68
	CA2	5,71	5,73	5,75	5,68	5,72	5,69	5,71

								5,69
PAT	CA1	6,46	6,45	6,46	6,46	6,47	6,43	6,45
	CA2	6,45	6,47	6,45	6,44	6,44	6,45	6,45
	$\bar{Y}^{\frac{5}{2}}$							6,45
LAV	CA1	7,51	7,53	7,53	7,46	7,50	7,54	7,52
	CA2	6,35	6,31	6,37	6,35	6,44	6,43	6,37
	$\bar{Y}^{\frac{5}{2}}$							6,94
-----cmol/dm <sup>3</sup> -----								
Ca trocável								
SSP	CA1	2,97	2,75	2,84	2,75	2,74	2,71	2,79
	CA2	2,68	2,83	2,69	2,86	2,87	2,82	2,79
	$\bar{Y}^{\frac{5}{2}}$							2,79
PAT	CA1	2,16	2,05	2,15	1,99	2,27	2,22	2,14
	CA2	2,24	2,25	2,39	2,29	2,38	2,26	2,30
	$\bar{Y}^{\frac{5}{2}}$							2,22
LAV	CA1	2,43	2,39	2,49	2,59	2,55	2,34	2,47
	CA2	3,38	3,22	3,36	3,30	3,52	3,21	3,33
	$\bar{Y}^{\frac{5}{2}}$							2,90
Mg trocável								
SSP	CA1	0,81	0,81	0,82	0,78	0,77	0,77	0,79
	CA2	0,77	0,82	0,80	0,83	0,85	0,87	0,83
	$\bar{Y}^{\frac{5}{2}}$							0,81
PAT	CA1	0,85	0,83	0,88	0,86	0,89	0,86	0,86
	CA2	0,96	0,96	1,03	0,99	1,05	1,01	1,00
	$\bar{Y}^{\frac{5}{2}}$							0,93
LAV	CA1	0,46	0,45	0,45	0,49	0,48	0,49	0,47
	CA2	0,96	0,88	0,89	0,86	0,92	0,89	0,90
	$\bar{Y}^{\frac{5}{2}}$							0,69

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>4/</sup> Média de doses de Zn dentro de cada corretivo e solo. <sup>5/</sup> Média por solo.

Observou-se que os teores de Mg<sup>2+</sup> foram maiores no solo PAT (Quadro 3), e com o solo LAV apresentando os menores teores (Quadro 3). De forma semelhante ao Ca<sup>2+</sup>, somente o solo SSP não apresentou diferenças nos teores de Mg<sup>2+</sup> em função dos corretivos aplicados (Quadro 4). Em todos os solos, maiores teores de Mg<sup>2+</sup> foram obtidos quando se utilizou como corretivo mistura de carbonatos e sais neutros (Quadros 3 e 4).



Os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  obtidos pelas diferentes formas de aplicação do corretivo, embora apresentem diferenças, chegam a valores próximos aos adequados propostos por GUIMARÃES et al. (1999), para a cultura do café.

Quadro 4 – Análise de variância do pH e dos teores de Ca e Mg trocáveis do solo antes do cultivo com café, considerando os solos, os corretivos da acidez, e as doses de Zn (DZn).

FV <sup>1/</sup>	GL	Quadrado Médio		
		pH	Ca	Mg
Blocos	2	0,001	0,485*	0,009
Solos	(2)			
SSP+PAT vs LAV	1	2,013*	0,412*	0,090
SSP vs PAT	1	1,148*	0,650*	0,030
CA <sup>2/</sup> d/SSP	1	0,008	0,000	0,009
CAd/PAT	1	0,000	0,240*	0,177*
CAd/LAV	1	11,670**	6,750**	1,660**
DZnd/CAiSi <sup>3/</sup>	30	0,017	0,162*	0,013
Resíduo	70	0,003	0,028	0,004
CV (%)		0,901	6,350	7,849

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras. <sup>1/</sup> FV: Fonte de Variação. <sup>2/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>3/</sup> Valores dos graus de liberdade e do quadrado médio considerando doses de Zn dentro de cada corretivo nos diferentes solos estudados.

\*, \*\*: Significativo a 5 e 1 %.

Em relação ao Zn, observou-se que os solos SSP e PAT apresentaram maior teor de Zn com os extratores Mehlich-1 e DTPA que o solo LAV (Quadro 5). O extrator Mehlich-3 extraiu menores quantidades de Zn no solo PAT (Quadro 5). Estas diferenças são o reflexo da diferente disponibilidade inicial (Quadro 1), que pode ser explicada pelo maior teor de matéria orgânica neste solo, promovendo uma possível formação de complexos organo metálicos do Zn, com ácidos húmicos e

fúlvicos principalmente, diminuindo a sua disponibilidade no solo (HAMILTON et al. 1993).

Os diferentes corretivos utilizados influenciaram a disponibilidade de Zn (Quadros 5 e 6). O solo SSP apresentou maiores teores de Zn, independentemente do extrator utilizado, quando o corretivo aplicado foi a mistura de carbonatos e sais neutros. O solo PAT apresentou efeito contrário (Quadro 5), com maiores teores de Zn quando o corretivo aplicado foi a mistura de carbonatos. Não se observou diferença nas aplicações de corretivos no solo LAV com os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 (Quadro 6).

Verificou-se que a recuperação de Zn pelos extratores em resposta à adição de Zn foi diferente nos solos, como indicado pela diferença dos valores das declividades das equações de regressão, relacionando o Zn recuperado pelos extratores com o Zn aplicado (Quadro 7). Observou-se também, que as declividades têm valores bem inferiores a 1,0. Estes baixos valores poderiam ser explicados pelo tempo de incubação.

Observou-se que o solo SSP apresentou maiores declividades quando se utilizou como corretivo a mistura de carbonatos (Quadro 7), independente do extrator utilizado. No solo PAT, o efeito é contrário, com declividades maiores quando se aplicou mistura de carbonatos e sais neutros como corretivo. No solo LAV, os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 apresentaram maiores declividades quando se aplicou como corretivo mistura de carbonatos e sais neutros (Quadro 7), e o extrator DTPA apresentou declividade maior neste solo quando se utilizou como corretivo, mistura de carbonatos (Quadro 7).

Quadro 5 – Teores de Zn disponível pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA antes do cultivo de café, considerando as doses de Zn e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	Nível de Zn <sup>3/</sup>						$\bar{Y}$ <sup>4/</sup>
		0	1	2	4	8	16	
		-----mg/dm <sup>3</sup> -----						
		Mehlich-1						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	0,48	1,43	4,43	10,43	19,88	35,65	12,05
	CA2	0,50	1,27	4,69	9,88	19,63	43,57	13,26

		$\bar{Y}^{5/}$							12,65
PAT	CA1	0,65	1,64	5,07	7,38	17,83	37,65	11,70	
	CA2	0,62	1,69	4,65	8,28	10,65	37,78	10,61	
		$\bar{Y}^{5/}$							11,16
LAV	CA1	0,54	2,26	3,90	7,67	16,85	24,35	9,26	
	CA2	0,65	1,87	3,85	7,28	15,58	26,18	9,24	
		$\bar{Y}^{5/}$							9,25
Mehlich-3									
SSP	CA1	0,15	0,86	3,78	8,25	17,19	35,35	10,93	
	CA2	0,24	0,85	3,31	8,06	16,87	39,72	11,51	
		$\bar{Y}^{5/}$							11,22
PAT	CA1	0,66	2,03	4,63	7,86	21,94	36,88	12,33	
	CA2	0,96	2,00	4,24	7,91	15,73	29,14	10,00	
		$\bar{Y}^{5/}$							11,16
LAV	CA1	0,49	2,66	4,65	9,91	17,69	32,67	11,34	
	CA2	0,99	2,23	4,37	9,55	18,71	33,51	11,56	
		$\bar{Y}^{5/}$							11,45
DTPA									
SSP	CA1	0,22	0,68	2,53	6,20	12,33	26,15	8,02	
	CA2	0,21	0,71	2,32	5,80	12,98	33,35	9,23	
		$\bar{Y}^{5/}$							8,62
PAT	CA1	0,34	0,88	2,73	5,85	16,11	34,07	9,99	
	CA2	0,29	0,75	2,47	5,40	12,45	24,96	7,72	
		$\bar{Y}^{5/}$							8,86
LAV	CA1	0,46	1,92	3,29	7,34	13,80	23,53	8,39	
	CA2	0,81	1,76	2,62	6,49	12,91	21,67	7,71	
		$\bar{Y}^{5/}$							8,05

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>4/</sup> Média de doses de Zn dentro de cada corretivo e solo. <sup>5/</sup> Média por solo.

Quadro 6 – Análise de variância dos teores de Zn disponível por Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA-TEA (DTPA) antes do cultivo com café, considerando os solos, os corretivos da acidez e as doses de Zn (DZn).

FV <sup>1/</sup>	GL	Quadrado Médio		
		Zn disponível		
		M1	M3	DTPA
Blocos	2	0,296	4,803*	1,709*
Solos	(2)			
SSP+PAT vs LAV	1	18,829**	0,178*	0,466*
SSP vs PAT	1	4,467*	0,006	0,001
CA <sup>2/</sup> d/SSP	1	13,136**	3,016*	14,799**
CAd/PAT	1	10,711**	48,953**	15,576**
CAd/LAV	1	0,006	0,411	1,090*

DZnd/CAiSi <sup>3/</sup>	30	3.096,78**	3.106,42**	2.205,00**
Resíduo	70	0,531	1,253	2,709
CV (%)		6,614	9,924	18,645

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras. <sup>1/</sup> FV: Fonte de Variação. <sup>2/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>3/</sup> Valores dos graus de liberdade e do quadrado médio considerando doses de Zn dentro de cada corretivo nos diferentes solos estudados.

\*, \*\*: Significativo a 5 e 1 %.

Os valores das declividades variaram entre extratores com valores maiores para o extrator Mehlich-3 (0,3587 – 0,6943), seguido do extrator Mehlich-1 (0,4478 – 0,5456) e o DTPA (0,3173 – 0,4879) (Quadro 7).

Quadro 7 – Equações de regressão do teor de Zn disponível (mg/dm<sup>3</sup>) pelos extratores Mehlich-1 (M-1), Mehlich-3 (M-3) e DTPA-TEA (DTPA) antes do cultivo com café, em função das doses de Zn (mg/dm<sup>3</sup>), considerando os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
		M-1	
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	$\hat{Y} = 0,394 + 0,4512^{**}Zn$	0,965
	CA2	$\hat{Y} = - 0,837 + 0,5456^{**}Zn$	0,965
PAT	CA1	$\hat{Y} = - 0,937 + 0,4684^{**}Zn$	0,915
	CA2	$\hat{Y} = - 0,954 + 0,4478^{**}Zn$	0,940
LAV	CA1	$\hat{Y} = 1,317 + 0,5125^{**}Zn$	0,965

	CA2	$\hat{Y} = 0,782 + 0,5454^{**}Zn$	0,966
		M-3	
SSP	CA1	$\hat{Y} = - 0,661 + 0,4487^{**}Zn$	0,984
	CA2	$\hat{Y} = - 1,446 + 0,5015^{**}Zn$	0,990
PAT	CA1	$\hat{Y} = 0,163 + 0,4711^{**}Zn$	0,939
	CA2	$\hat{Y} = 0,734 + 0,3587^{**}Zn$	0,971
LAV	CA1	$\hat{Y} = 0,939 + 0,6713^{**}Zn$	0,991
	CA2	$\hat{Y} = 0,797 + 0,6943^{**}Zn$	0,972
		DTPA	
SSP	CA1	$\hat{Y} = - 0,524 + 0,3307^{**}Zn$	0,989
	CA2	$\hat{Y} = - 1,624 + 0,4201^{**}Zn$	0,986
PAT	CA1	$\hat{Y} = - 1,256 + 0,4356^{**}Zn$	0,983
	CA2	$\hat{Y} = - 0,478 + 0,3173^{**}Zn$	0,986
LAV	CA1	$\hat{Y} = 0,826 + 0,4879^{**}Zn$	0,980
	CA2	$\hat{Y} = 0,732 + 0,4490^{**}Zn$	0,964

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. \*, \*\*: Significativo a 5 e 1 %.

### 3.2. Características químicas das amostras de solos, após o cultivo.

Após 14 meses de cultivo, os valores de pH diminuíram em todos os tratamentos (Quadro 8). Nos solos SSP e PAT não houve diferença dos valores de pH em função dos corretivos aplicados. Foi observada esta diferença no solo LAV, com maior valor de pH quando se utilizou a mistura de carbonatos como corretivo (Quadros 8 e 11). Observou-se também que a localização de P não alterou os valores de pH nos diferentes tratamentos.

Observou-se que os valores de  $\text{Ca}^{2+}$  são maiores quando se utilizou como corretivo mistura de carbonatos, nos solos SSP e PAT. No solo LAV, o efeito é contrário, obtendo-se maior teor de  $\text{Ca}^{2+}$  quando se utilizou mistura de carbonatos e sais neutros como corretivo (Quadro 9). Embora tenha sido observada esta pequena diferença nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$ , os tratamentos de correção da acidez apresentou diferença apenas no solo SSP (Quadro 11). Com relação à localização de P, observou-se que a localização em 30 % do volume de solo promoveu maiores teores de  $\text{Ca}^{2+}$ , nos solos SSP e LAV.

Com relação aos teores de  $\text{Mg}^{2+}$ , observou-se maiores teores no solo SSP quando se utilizou como corretivo mistura de carbonatos (Quadro 10). Os solos PAT e LAV apresentaram teores semelhantes de  $\text{Mg}^{2+}$  entre os tratamentos (Quadros 10 e 11). Observou-se que a localização de P não alterou os teores de  $\text{Mg}^{2+}$  nos diferentes solos (Quadro 11). Foram observadas algumas diferenças nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  com as doses de Zn adicionadas nos solos (Quadro 12).

Quadro 8 – Valores de pH em água, após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}$ <sup>5/</sup>
			0	1	2	4	8	16	
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	%							
		5	4,33	4,41	4,38	4,49	4,11	4,36	4,35
		10	4,45	4,53	4,41	4,19	4,34	4,34	4,38
		30	4,39	4,43	4,22	4,47	4,25	4,09	4,31
	$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>								4,34
	CA2	5	4,26	4,43	4,42	4,43	4,25	4,29	4,35
		10	4,28	4,23	4,35	4,22	4,30	4,41	4,30
30		4,35	4,34	4,41	4,41	4,44	4,29	4,37	

			$\bar{Y}^{\underline{6}}$						4,34
			$\bar{Y}^{\underline{7}}$						4,34
PAT	CA1	5	4,29	4,37	4,41	4,51	4,04	4,14	4,29
		10	4,28	4,24	4,28	4,04	4,29	4,17	4,22
		30	4,11	4,27	4,28	4,37	4,45	4,31	4,30
				$\bar{Y}^{\underline{6}}$					4,27
	CA2	5	4,49	4,28	4,09	4,19	4,17	4,24	4,24
		10	4,36	4,19	4,28	4,27	4,39	4,32	4,30
30		4,41	4,27	4,38	4,21	4,28	4,26	4,30	
			$\bar{Y}^{\underline{6}}$					4,28	
			$\bar{Y}^{\underline{7}}$					4,28	
LAV	CA1	5	4,23	4,51	4,54	4,57	4,63	4,55	4,50
		10	4,64	4,53	4,60	4,39	4,31	4,48	4,49
		30	4,45	4,52	4,60	4,61	4,56	4,56	4,55
				$\bar{Y}^{\underline{6}}$					4,51
	CA2	5	4,30	4,36	4,43	4,41	4,31	4,50	4,38
		10	4,47	4,40	4,24	4,23	4,41	4,30	4,34
30		4,36	4,47	4,28	4,55	4,26	4,22	4,36	
			$\bar{Y}^{\underline{6}}$					4,36	
			$\bar{Y}^{\underline{7}}$					4,44	

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

Quadro 9 – Teores de Ca trocável após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}^{\underline{5}}$
			0	1	2	4	8	16	
		%	cmol/dm <sup>3</sup>						
			Ca trocável						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	2,35	2,37	2,18	2,36	2,48	2,20	2,33
		10	2,12	2,33	2,23	2,15	2,28	2,34	2,24
		30	2,28	2,44	2,38	2,23	2,33	2,52	2,37
			$\bar{Y}^{\underline{6}}$						2,31
	CA2	5	1,63	1,62	1,39	1,43	1,74	1,66	1,58
		10	1,60	1,62	1,61	1,38	1,78	1,55	1,59
30		1,59	1,84	1,38	1,83	1,74	1,69	1,68	
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$						1,62	
		$\bar{Y}^{\underline{7}}$						1,96	
PAT	CA1	5	2,14	1,43	1,66	1,66	1,65	1,36	1,65
		10	1,36	1,29	1,56	1,62	1,64	1,42	1,48
		30	1,49	1,44	1,44	1,65	1,53	1,46	1,49

		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							1,80
	CA2	5	1,49	1,63	1,44	1,75	1,32	1,44	1,51
		10	1,54	1,66	1,41	1,47	1,39	1,53	1,50
		30	1,21	1,28	1,39	1,67	1,61	1,71	1,48
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							1,49
		$\bar{Y}^{\underline{7}}$							1,65
LAV	CA1	5	2,56	2,44	2,22	2,28	2,34	2,70	2,42
		10	2,44	2,19	2,84	2,22	2,60	2,66	2,49
		30	2,56	2,54	2,49	2,59	2,55	2,27	2,50
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							2,47
	CA2	5	2,43	2,67	2,26	2,59	2,43	2,47	2,48
		10	2,76	2,45	2,45	2,43	2,40	2,17	2,44
		30	2,59	2,59	2,83	2,58	2,19	2,55	2,56
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							2,49
		$\bar{Y}^{\underline{7}}$							2,48

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

Quadro 10 – Teores de Mg trocável após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}^{\underline{5}}$
			0	1	2	4	8	16	
			cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>						
			Mg trocável						
SSP	CA1	5	0,15	0,25	0,23	0,24	0,25	0,27	0,23
		10	0,16	0,20	0,16	0,21	0,19	0,23	0,19
		30	0,18	0,19	0,20	0,19	0,20	0,20	0,19
			$\bar{Y}^{\underline{6}}$						0,21
	CA2	5	0,17	0,19	0,16	0,18	0,21	0,17	0,18
		10	0,11	0,15	0,18	0,10	0,20	0,12	0,15
		30	0,13	0,19	0,12	0,18	0,13	0,14	0,15
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$						0,16	
		$\bar{Y}^{\underline{7}}$						0,19	
PAT	CA1	5	0,26	0,24	0,26	0,26	0,26	0,27	0,26
		10	0,26	0,26	0,25	0,26	0,25	0,26	0,26
		30	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,27
			$\bar{Y}^{\underline{6}}$						0,26



	CA2	5	0,26	0,26	0,25	0,27	0,25	0,27	0,26
		10	0,29	0,26	0,26	0,25	0,26	0,29	0,27
		30	0,24	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							0,26
		$\bar{Y}^{\underline{7}}$							0,26
LAV	CA1	5	0,14	0,20	0,18	0,19	0,23	0,23	0,19
		10	0,24	0,22	0,24	0,23	0,24	0,25	0,24
		30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,29
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							0,24
	CA2	5	0,22	0,25	0,21	0,22	0,21	0,24	0,23
		10	0,29	0,25	0,22	0,24	0,23	0,23	0,25
		30	0,25	0,25	0,26	0,26	0,21	0,24	0,25
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							0,24
		$\bar{Y}^{\underline{7}}$							0,24

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3</sup> Localização de P. <sup>4</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7</sup> Média por solo.

Quadro 11 – Análise de variância do pH e dos teores de Ca e Mg trocáveis do solo após o cultivo considerando os solos, os corretivos da acidez, as localizações de P (LP) e as doses de Zn (DZn).

FV <sup>1</sup>	GL	Quadrado Médio		
		pH	Ca	Mg
Blocos	2	0,02	0,19*	0,00
Solos	(2)			
SSP+PAT vs LAV	1	1,21*	39,51**	0,02
SSP vs PAT	1	0,23*	10,62**	0,34*
CA <sup>2</sup> /d/SSP	1	0,00	13,06**	0,06*
CAd/PAT	1	0,00	0,06	0,00
CAd/LAV	1	0,64*	0,01	0,00
LPd/SSPCA1 <sup>3</sup>	(2)			
LP5+LP10 vs LP30	1	0,03	0,08	0,00
LP5 vs LP10	1	0,01	0,06	0,01
LPd/SSPCA2	(2)			
LP5+LP10 vs LP30	1	0,03	0,10	0,00
LP5 vs LP10	1	0,02	0,00	0,01
LPd/PATCA1	(2)			
LP5+LP10 vs LP30	1	0,02	0,05	0,00
LP5 vs LP10	1	0,05	0,25*	0,00

LPd/PATCA2	(2)			
LP5+LP10 vs LP30	1	0,01	0,01	0,00
LP5 vs LP10	1	0,03	0,00	0,00
LPd/LAVCA1	(2)			
LP5+LP10 vs LP30	1	0,03	0,02	0,06
LP5 vs LP10	1	0,00	0,04	0,01
LPd/LAVCA2	(2)			
LP5+LP10 vs LP30	1	0,00	0,11	0,00
LP5 vs LP10	1	0,02	0,00	0,00
DZnd/LP <sub>i</sub> CA <sub>i</sub> Si <sup>4/</sup>	90	3,34**	0,08	0,00
Resíduo	214	1,20	0,06	0,00
CV (%)		1,72	12,44	20,21

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras. <sup>1/</sup> FV: Fonte de Variação. <sup>2/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>3/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>4/</sup> Valores dos graus de liberdade e do quadrado médio considerando doses de Zn dentro da localização de P e de cada corretivo nos diferentes solos estudados.

\*, \*\*: Significativo a 5 e 1 %.

Quadro 12 – Equações de regressão dos teores de Ca e Mg trocáveis do solo, após o cultivo, em função das doses de Zn (mg/dm<sup>3</sup>) considerando a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup> %	Equação de Regressão Ca	R <sup>2</sup>	Equação de Regressão Mg	R <sup>2</sup>
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,326$		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,230$	
		10	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,241$		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,193$	
		30	$\hat{Y} = 2,17 + 0,006^{**}Zn$	0,730	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,196$	
	CA2	5	$\hat{Y} = 1,85 - 0,006^{**}Zn$	0,532	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,180$	
		10	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,591$		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,145$	
		30	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,679$		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,150$	
PAT	CA1	5	$\hat{Y} = 1,69 - 0,009^{**}Zn$	0,576	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,230$	
		10	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,481$		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,258$	
		30	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,498$		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,266$	
	CA2	5	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,510$		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,260$	
		10	$\hat{Y} = \bar{Y} = 1,500$		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,270$	
		30	$\hat{Y} = 1,57 + 0,005^{*}Zn$	0,517	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,259$	

LAV	CA1	5	$\hat{Y} = 2,11 - 0,135^{**}Zn$	0,679	$\hat{Y} = 0,18 + 0,002^{*}Zn$	0,784
		10	$\hat{Y} = 24,66 - 0,021Zn + 0,0005^{*}Zn^2$	0,207	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,236$	
		30	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,500$		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,290$	
	CA2	5	$\hat{Y} = \bar{Y} = 2,476$		$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,225$	
		10	$\hat{Y} = 2,41 + 0,041^{**}Zn - 0,0009^{**}Zn^2$	0,834	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,245$	
		30	$\hat{Y} = 2,92 - 0,049^{**}Zn + 0,0009^{**}Zn^2$	0,646	$\hat{Y} = \bar{Y} = 0,245$	

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. \*, \*\* Significativo a 5 e 1 %.

O teor de P foi maior no solo LAV, com menor poder tampão que o SSP e o PAT (Quadros 13 e 14). Notaram-se alguns valores superiores aos 200 mg/dm<sup>3</sup> de P adicionados, porque essa dose foi calculada para a totalidade do solo do vaso (5 dm<sup>3</sup>) e concentrada nas localizações propostas. Observou-se que a forma de aplicação do corretivo só não influenciou no solo SSP quando o P foi extraído com Mehlich-3 (Quadro 18).

Quadro 13 – Teores de P disponível pelo extrator Mehlich-1 após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}$ <sup>5/</sup>
			0	1	2	4	8	16	
		%	-----mg/dm <sup>3</sup> -----						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	135,15	83,48	81,09	75,73	59,83	57,03	82,05
		10	112,76	97,20	87,52	58,34	55,57	55,09	77,75
		30	67,88	63,89	58,65	50,37	46,51	27,10	52,40
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							70,74
	CA2	5	76,89	67,27	62,93	61,91	54,13	53,99	62,85
		10	92,49	85,92	84,89	68,16	66,63	56,31	75,74
30		71,04	55,07	53,99	52,96	37,54	29,01	49,94	
	$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							62,84	
	$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							66,79	
PAT	CA1	5	51,20	50,37	44,54	41,17	26,92	13,09	37,89
		10	28,08	27,17	21,49	18,64	14,77	9,16	19,89

		30	39,99	26,42	20,16	16,58	13,54	6,26	20,49
		$\bar{Y}^{6/}$							26,09
	CA2	5	83,36	79,37	79,30	38,82	38,51	28,04	57,90
		10	84,44	67,79	46,54	33,76	33,50	33,24	49,88
		30	49,47	33,91	32,35	24,21	23,43	13,99	29,56
		$\bar{Y}^{6/}$							47,78
		$\bar{Y}^{7/}$							35,93
LAV	CA1	5	404,24	302,29	254,61	239,32	230,48	210,06	273,50
		10	285,91	263,73	245,26	149,84	132,87	118,48	199,35
		30	232,86	194,49	192,85	140,05	137,43	80,41	163,02
		$\bar{Y}^{6/}$							211,96
	CA2	5							245,62
		10	345,50	334,09	254,60	235,69	185,24	118,58	293,74
		30	470,02	283,20	271,72	264,46	262,19	210,84	237,94
		$\bar{Y}^{6/}$	273,63	262,89	252,86	252,71	199,18	186,37	259,10
		$\bar{Y}^{7/}$							235,53

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

Quadro 14 – Teores de P disponível pelo extrator Mehlich-3 após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}^{5/}$
			0	1	2	4	8	16	
		%	-----mg/dm <sup>3</sup> -----						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	41,33	51,23	52,07	53,89	58,64	67,09	54,04
		10	38,28	49,42	53,87	54,82	59,09	65,46	53,49
		30	25,73	32,31	43,88	45,96	46,36	49,54	40,63
									49,39
	CA2	5	34,42	44,49	46,77	48,19	54,77	56,72	47,56
		10	42,31	44,26	51,07	55,04	57,78	66,03	52,75
30		35,23	39,05	43,99	49,34	52,38	55,08	45,84	
								48,72	
		$\bar{Y}^{6/}$							49,05
PAT	CA1	5	25,61	35,97	37,37	44,77	48,53	51,76	40,67
		10	23,83	27,33	28,60	28,93	29,70	32,10	28,41
		30	13,27	21,33	22,49	23,30	23,50	26,06	21,66
									30,25
	CA2	5	31,16	38,12	39,13	40,40	51,58	58,56	43,16
		10	25,87	35,62	36,77	37,70	43,08	46,37	37,57
30		18,06	24,04	24,24	24,35	29,99	39,80	26,75	
								35,82	
		$\bar{Y}^{6/}$							33,04

LAV	CA1	5	143,42	146,52	153,88	162,56	194,42	194,84	165,94	
		10	124,61	152,41	180,90	182,62	192,67	214,30	174,59	
		30	133,28	136,42	149,40	158,34	165,27	171,00	152,29	
									164,27	
	CA2	5	141,44	169,44	173,38	175,73	175,88	205,83	173,62	
		10	156,88	160,85	168,98	171,80	185,58	239,16	180,54	
		30	164,85	167,62	169,06	171,61	190,32	203,18	177,77	
									177,31	
		$\bar{Y}$								170,79

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

As formas de localização de P influenciaram sua disponibilidade, sendo que as maiores concentrações, em 5 e 10 % do volume, levaram a uma maior disponibilidade de P em relação à distribuição em 30 % do volume total do solo (Quadros 13, 14 e 18). Isto reflete a maior fixação do nutriente quando em contato com maior volume de solo. CASTILHOS e ANGHINONI (1983) também constataram que a aplicação do fertilizante fosfatado a uma menor fração de um dado volume de solo tem a vantagem de proteger o P contra as reações de absorção e de fixação. Para uma mesma dose de P, quanto menor a fração de volume de solo fertilizada, maior a disponibilidade de P nesta região. Observou-se, que em geral, o extrator Mehlich-1 extraiu teores P em relação inversa às doses de Zn adicionadas. Já para o extrator Mehlich-3, esta tendência não foi observada. Isso sugere que os extratores estariam extraíndo diferentes formas de P, e que a sua extração foi influenciada pela adição das doses de Zn (Quadros 13, 14 e 19). As equações de regressão do teor de P disponível pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 em função das doses de Zn estão no Quadro 19. Observou-se que, para os solos SSP e PAT, com características semelhantes, os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 extraíram maiores quantidades no solo SSP, que tem o menor fator capacidade.

Observou-se que à medida que se aumentaram as doses de Zn, o teor de P disponível diminuiu. Sabe-se que o Zn é absorvido na forma de Zn<sup>2+</sup> ou Zn(OH)<sup>+</sup>, provavelmente, pelos mesmos canais iônicos usados para o transporte de Mn, Fe, Cu

e Ca (MARSCHNER, 1995). Sua absorção é passiva, por uniporte. Ao contrário do Zn, o P é absorvido como ânion ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) de forma ativa, possivelmente em um simporte 1-2  $\text{H}^+/\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Apesar dos processos de absorção serem diferentes, o Zn tem efeito antagônico na absorção de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Sabe-se que em plantas deficientes em Zn, a absorção de P é aumentada; entretanto, em altas doses de Zn a absorção de P é diminuída (TAGWIRA et al. 1993). O Zn tem alta afinidade de formar o complexo  $\text{ZnH}_2\text{PO}_4^+$  que pode ser adsorvido no complexo trocável do solo (LINDSAY, 1979). Isto diminui a atividade das formas de  $\text{Zn}^{2+}$  na solução do solo diminuindo sua difusão para as raízes. Como consequência, a absorção de Zn é diminuída. Isto é observado nos solos SSP e PAT que, quando se aumenta a localização de P, utilizando-se a mistura de carbonatos, há uma diminuição do conteúdo de Zn na parte aérea das plantas de café. Isto, porque ao se aumentar a adição de P, aumentou-se a adsorção de Zn, por aumentar a capacidade de troca catiônica dos colóides de carga variável do solo, reduzindo sua disponibilidade e, como consequência, reduzindo os conteúdos de Zn nas plantas.

O teor de Zn disponível após o cultivo (Quadros 15, 16 e 17) manteve as tendências observadas anteriormente, com o solo SSP apresentando maiores teores de Zn que os solos PAT e LAV pelos três extratores.

Quadro 15 – Teores de Zn disponível pelo extrator Mehlich-1 após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}$ <sup>5/</sup>
			0	1	2	4	8	16	
		%	-----mg/dm <sup>3</sup> -----						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	0,39	1,16	4,16	8,99	18,10	32,60	10,89
		10	0,30	1,47	3,83	8,19	18,43	36,93	11,53
		30	0,38	1,74	3,56	7,07	16,84	31,97	10,26
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							10,89
	CA2	5	0,66	1,25	3,89	6,99	16,30	34,30	10,56
		10	0,60	1,33	3,49	7,55	30,43	39,67	13,85
30		0,46	1,32	3,44	6,83	15,76	34,23	10,34	
	$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							11,58	
	$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							11,24	
PAT	CA1	5	0,46	1,23	4,63	7,87	15,23	31,38	10,13

		10	0,77	1,24	3,65	12,82	13,53	15,03	7,84
		30	0,35	1,56	3,81	5,84	7,15	9,12	4,64
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							7,54
	CA2	5	1,74	3,57	5,51	7,15	7,55	7,62	5,52
		10	1,33	3,84	5,88	7,22	7,46	6,12	5,31
		30	1,39	4,19	7,99	8,66	10,70	33,80	11,13
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							7,32
		$\bar{Y}^{\underline{7}}$							7,42
LAV	CA1	5	0,64	1,39	2,35	5,21	10,53	26,03	7,69
		10	0,18	1,41	3,59	5,54	13,52	31,30	9,26
		30	0,20	1,41	2,90	6,38	11,43	23,53	7,64
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							8,19
	CA2	5	0,36	1,79	2,81	5,63	10,06	22,93	7,26
		10	0,30	1,62	2,72	6,19	12,71	21,87	7,57
		30	0,31	1,75	4,63	7,71	11,86	23,17	8,24
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							7,69
		$\bar{Y}^{\underline{7}}$							7,94

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

Quadro 16 – Teores de Zn disponível pelo extrator Mehlich-3 após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}^{\underline{5}}$
			0	1	2	4	8	16	
		%	-----mg/dm <sup>3</sup> -----						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	0,66	1,47	4,47	7,73	16,48	34,84	10,94
		10	0,60	1,53	3,62	7,15	17,34	31,99	10,37
		30	0,64	1,63	3,26	6,58	15,74	25,47	8,89
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							10,07
	CA2	5	1,24	2,82	3,38	6,60	16,42	33,54	10,67
		10	0,86	2,79	3,78	8,72	15,54	28,62	10,05
		30	0,67	1,73	3,48	6,75	14,71	35,42	10,46
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							10,39
		$\bar{Y}^{\underline{7}}$							10,23
PAT	CA1	5	0,56	0,91	3,54	6,66	12,88	25,06	8,27
		10	0,67	1,03	3,27	5,62	7,43	8,44	4,41
		30	0,90	3,81	5,50	6,22	7,01	7,47	5,15
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							5,94
	CA2	5	1,06	3,08	5,73	5,88	7,63	9,61	5,49

		10	1,04	3,39	5,42	5,03	5,82	6,55	4,54
		30	1,15	2,74	6,00	8,27	11,86	28,71	9,79
		$\bar{Y}^{\underline{2}}$							6,61
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							6,28
LAV	CA1	5	0,59	1,75	3,98	7,15	14,60	32,70	10,13
		10	0,59	1,28	3,59	6,07	12,56	33,25	9,56
		30	0,54	1,73	3,71	6,57	13,60	31,76	9,65
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							9,78
	CA2	5	0,73	2,28	3,27	5,94	11,69	25,56	8,24
		10	0,53	1,85	3,25	6,99	12,86	24,09	8,26
		30	0,54	2,23	4,19	6,27	13,19	24,11	8,42
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							8,31
		$\bar{Y}^{\underline{2}}$							9,04

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

Observou-se também, maior teor de Zn no solo PAT quando extraído com Mehlich-1, quando se compara mistura de carbonatos com a mistura de carbonatos e sais neutros (Quadros 15, 16 e 17). Contudo, essa diferença não pode ser atribuída ao pH do solo, inclusive porque o uso do extrator Mehlich-1, de pH 1,2, levaria a uma solubilização do Zn precipitado, independentemente desta característica.

Quadro 17 – Teores de Zn disponível pelo extrator DTPA-TEA após o cultivo considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}^{\underline{5}}$
			0	1	2	4	8	16	
		%	-----mg/dm <sup>3</sup> -----						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	0,43	0,58	2,09	3,54	7,31	17,01	5,16
		10	0,21	0,58	1,59	2,90	7,48	14,90	4,61
		30	0,23	0,62	1,65	3,39	7,69	12,26	6,31
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							4,69
	CA2	5	0,26	0,59	1,52	2,94	7,90	17,35	5,09
		10	0,23	0,53	1,49	3,43	9,52	12,98	4,69
		30	0,18	0,56	1,19	3,21	7,61	16,71	4,91
		$\bar{Y}^{\underline{6}}$							4,90
		$\bar{Y}^{\underline{2}}$							4,79
PAT	CA1	5	0,23	0,35	1,48	3,39	4,57	11,19	3,53
		10	0,23	0,43	1,23	3,33	7,05	9,24	3,59



		30	0,22	0,44	1,30	2,65	6,21	11,21	3,67
		$\bar{Y}^{6/}$							3,59
	CA2	5	0,19	0,43	1,08	2,67	4,39	10,94	3,28
		10	0,26	0,43	1,49	2,36	5,80	10,90	3,24
		30	0,26	0,45	1,43	2,69	5,82	12,86	3,92
		$\bar{Y}^{6/}$							3,58
		$\bar{Y}^{7/}$							3,59
LAV	CA1	5	0,25	1,04	2,13	4,42	8,59	18,20	5,77
		10	0,19	0,77	2,32	4,62	8,55	18,31	5,79
		30	0,25	0,91	2,27	4,17	8,39	20,50	6,08
		$\bar{Y}^{6/}$							5,88
	CA2	5	0,26	1,31	2,30	4,84	6,73	13,58	4,84
		10	0,26	1,07	2,24	4,31	9,15	16,61	5,61
		30	0,22	1,16	2,63	3,65	7,87	17,36	5,48
		$\bar{Y}^{6/}$							5,31
		$\bar{Y}^{7/}$							5,59

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

A localização de P afetou o teor de Zn disponível (Quadros 15, 16, 17 e 18). Esta resposta variou para cada extrator (Quadro 20), em resposta aos diferentes mecanismos de ação de cada extrator.

Quadro 18 – Análise de variância do P disponível no solo pelos extratores Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3) e Zn disponível pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA-TEA (DTPA) no solo após o cultivo, considerando os solos, os corretivos da acidez, as localizações de P (LP) e as doses de Zn (DZn).

FV <sup>1/</sup>	GL	Quadrado Médio				
		P-M1	P-M3	Zn-M1	Zn-M3	Zn-DTPA
Blocos	2	3,10	119,72	6,63	1,26**	0,67**
Solos	(2)	1246732**	612961,7**	461,79**	444,42**	110,31**
SSP+PAT vs LAV	1	2442056**	1212068**	139,04	44,97	141,64
SSP vs PAT	1	51407,50**	13854,56**	784,56**	843,86*	78,98
CA <sup>2/</sup> /d/SSP	1	1681,85**	12,09	12,78*	2,85**	1,15**
CAd/PAT	1	10469,27**	840,02**	1,29	11,99**	0,008
CAd/LAV	1	60007,63**	4591,57**	6,95	58,30**	8,88**
LPd/SSPCA1 <sup>3/</sup>	(2)					
LP5+LP10 vs LP30	1	9075,65**	2070,22*	10,91	37,56	3,99
LP5 vs LP10	1	166,74	2,72	3,55	2,93	2,71

LPd/SSPCA2	(2)					
LP5+LP10 vs LP30	1	4496,60**	222,97*	41,71	0,11	0,00
LP5 vs LP10	1	1493,37**	242,43*	96,89	3,40	1,43
LPd/PATCA1	(2)					
LP5+LP10 vs LP30	1	845,15*	1991,65**	226,84*	16,94	0,15
LP5 vs LP10	1	2915,54**	1351,11**	47,38	133,76	0,02
LPd/PATCA2	(2)					
LP5+LP10 vs LP30	1	7103,24**	2224,26**	391,25*	272,89*	3,07
LP5 vs LP10	1	579,24*	281,31*	0,42	8,21	0,61
LPd/LAVCA1	(2)					
LP5+LP10 vs LP30	1	64662,93**	3877,41**	8,30	0,47	1,08
LP5 vs LP10	1	49485,39**	672,91*	21,97	2,98	0,00
LPd/LAVCA2	(2)					
LP5+LP10 vs LP30	1	12087,80**	5,79	8,06	0,34	0,80
LP5 vs LP10	1	20840,80**	431,25*	0,83	0,00	5,36
DZnd/LP <sub>i</sub> CA <sub>i</sub> Si <sup>4/</sup>	90	5694,49**	687,79**	329,91**	293,32**	95,01**
Resíduo	214	50,11	57,28	2,83	0,34	0,12
CV (%)		6,28	8,98	18,96	6,82	7,30

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras. <sup>1/</sup> FV: Fonte de Variação. <sup>2/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>3/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>4/</sup> Valores dos graus de liberdade e do quadrado médio considerando doses de Zn dentro da localização de P e de cada corretivo nos diferentes solos estudados.

\*, \*\*: Significativo a 5 e 1 %.

HALDAR e MANDAL (1981) aplicaram em todo o volume de solo do vaso, 50 ou 100 mg/dm<sup>3</sup> de P, como KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> e 5 ou 10 mg/dm<sup>3</sup> de Zn, usando como fonte o ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O e observaram interação negativa P x Zn em plantas de arroz, atribuindo-as à mudança na disponibilidade desses elementos no solo, pela aplicação conjunta de P e de Zn.

Quadro 19 – Equações de regressão dos teores de P disponível (mg/dm<sup>3</sup>) pelos extratores Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3) após o cultivo em função das doses de Zn (mg/dm<sup>3</sup>) considerando a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Fósforo			
			Mehlich-1		Mehlich-3	
			Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	$\hat{Y} = 112,93 - 2,352^{***}Zn + 0,0207^{***}Zn^2$	0,683	$\hat{Y} = 49,69 + 0,171^{***}Zn$	0,976
		10	$\hat{Y} = 109,71 - 2,566^{***}Zn + 0,0239^{***}Zn^2$	0,931	$\hat{Y} = 46,79 + 0,224^{***}Zn$	0,709
		30	$\hat{Y} = 64,03 - 0,468^{***}Zn$	0,978	$\hat{Y} = 33,28 + 0,234^{***}Zn$	0,504
	CA2	5	$\hat{Y} = 67,89 - 0,192^{***}Zn$	0,598	$\hat{Y} = 42,18 + 0,195^{***}Zn$	0,756
		10	$\hat{Y} = 90,57 - 1,058^{***}Zn$	0,978	$\hat{Y} = 30,71 + 0,835^{*}Zn$	0,927

			$+ 0,0078^{**}Zn^2$		$- 0,0061^{*}Zn^2$	
PAT	CA1	30	$\hat{Y} = 61,49 - 0,435^{**}Zn$	0,806	$\hat{Y} = 37,41 + 0,213^{**}Zn$	0,513
		5	$\hat{Y} = 48,77 - 0,423^{**}Zn$	0,957	$\hat{Y} = 36,19 + 0,169^{**}Zn$	0,517
		10	$\hat{Y} = 21,95 - 0,170^{**}Zn$	0,314	$\hat{Y} = \bar{Y} = 28,414$	
	CA2	30	$\hat{Y} = 30,46 - 0,358^{**}Zn$	0,689	$\hat{Y} = \bar{Y} = 21,657$	
		5	$\hat{Y} = 73,96 - 0,726^{**}Zn$	0,594	$\hat{Y} = 31,11 + 0,387^{**}Zn$	0,784
		10	$\hat{Y} = 62,31 - 0,486^{**}Zn$	0,522	$\hat{Y} = 32,91 + 0,174^{**}Zn$	0,651
LAV	CA1	30	$\hat{Y} = 40,95 - 0,367^{**}Zn$	0,836	$\hat{Y} = 19,04 + 0,295^{**}Zn$	0,869
		5	$\hat{Y} = 358,46 - 10,633^{**}Zn$	0,791	$\hat{Y} = 158,69 + 0,939^{**}Zn$	0,711
			$+ 0,1568^{**}Zn^2$			
	CA2	10	$\hat{Y} = 278,47 - 10,122^{**}Zn$	0,954	$\hat{Y} = 143,49 + 1,437^{**}Zn$	0,684
			$+ 0,1393^{**}Zn^2$			
		30	$\hat{Y} = 208,74 - 2,616^{**}Zn$	0,884	$\hat{Y} = 137,26 + 2,885^{**}Zn$	0,963
				$- 0,0404^{**}Zn^2$		
		5	$\hat{Y} = 336,99 - 9,329^{**}Zn$	0,959	$\hat{Y} = 156,91 + 1,118^{**}Zn$	0,849
			$- 9,9852^{**}Zn^2$			
		10	$\hat{Y} = 346,37 - 3,399^{**}Zn$	0,457	$\hat{Y} = 158,28 + 1,532^{**}Zn$	0,873
		30	$\hat{Y} = 278,77 - 2,122^{**}Zn$	0,779	$\hat{Y} = 168,58 + 0,735^{**}Zn$	0,749

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. \*, \*\* Significativo a 5 e 1 %.

Quadro 20 – Equações de regressão dos teores de Zn disponível (mg/dm<sup>3</sup>) pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA-TEA após o cultivo, considerando a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>2/</sup> %	Mehlich - 1		Mehlich - 3		$\hat{Y}$
			Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	$\hat{Y} = 0,37 + 0,429^{**}Zn$	0,997	$\hat{Y} = - 0,78 + 0,418^{**}Zn$	0,992	$\hat{Y}$
		10	$\hat{Y} = - 0,56 + 0,517^{**}Zn$	0,994	$\hat{Y} = - 0,06 + 0,358^{**}Zn$	0,986	$\hat{Y}$
		30	$\hat{Y} = 0,54 + 0,448^{**}Zn$	0,819	$\hat{Y} = 0,57 + 0,456^{**}Zn$	0,813	$\hat{Y}$
	CA2	5	$\hat{Y} = -0,01 + 0,379^{**}Zn + 0,0042^{\#}Zn^2$	0,997	$\hat{Y} = -0,52 + 0,363^{**}Zn + 0,0018^{**}Zn^2$	0,984	$\hat{Y}$
		10	$\hat{Y} = 0,126 + 0,454^{*}Zn$	0,991	$\hat{Y} = -0,11 + 0,307^{**}Zn + 0,0024^{**}Zn^2$	0,998	$\hat{Y}$
		30	$\hat{Y} = 0,15 + 0,332^{**}Zn + 0,0067^{**}Zn^2$	0,996	$\hat{Y} = -0,37 + 0,379^{**}Zn + 0,0012^{\#}Zn^2$	0,994	$\hat{Y}$
PAT	CA1	5	$\hat{Y} = 1,19 + 0,052^{ns}Zn + 0,0158^{**}Zn^2$	0,990	$\hat{Y} = 0,42 + 0,159^{**}Zn + 0,1097^{**}Zn^2$	0,998	$\hat{Y}$
		10	$\hat{Y} = 0,53 + 0,406^{**}Zn$	0,983	$\hat{Y} = 0,64 + 0,172^{**}Zn + 0,0112^{**}Zn^2$	0,993	$\hat{Y}$
		30	$\hat{Y} = 1,07 + 0,247^{**}Zn$	0,927	$\hat{Y} = 1,11 + 0,326^{**}Zn + 0,0019^{**}Zn^2$	0,998	$\hat{Y}$
	CA2	5	$\hat{Y} = 1,00 + 0,285^{**}Zn$	0,908	$\hat{Y} = 0,42 + 0,348^{**}Zn$	0,985	$\hat{Y}$
		10	$\hat{Y} = 1,29 + 0,196^{**}Zn$	0,874	$\hat{Y} = 0,01 + 0,354^{**}Zn$	0,988	$\hat{Y}$
		30	$\hat{Y} = 1,19 + 0,267^{**}Zn$	0,862	$\hat{Y} = 1,28 + 0,376^{**}Zn$	0,993	$\hat{Y}$
LAV	CA1	5	$\hat{Y} = 0,06 + 0,674^{**}Zn$	0,994	$\hat{Y} = 0,16 + 0,851^{**}Zn$	0,998	$\hat{Y}$
		10	$\hat{Y} = 0,17 + 0,652^{**}Zn$	0,997	$\hat{Y} = 0,77 + 0,669^{**}Zn$	0,986	$\hat{Y}$
		30	$\hat{Y} = 0,15 + 0,676^{**}Zn$	0,999	$\hat{Y} = 0,99 + 0,583^{**}Zn$	0,974	$\hat{Y}$
	CA2	5	$\hat{Y} = 0,64 + 0,387^{*}Zn + 0,0132^{\#}Zn^2$	0,999	$\hat{Y} = 0,95 + 0,525^{**}Zn + 0,0122^{**}Zn^2$	0,999	$\hat{Y}$
		10	$\hat{Y} = 0,65 + 0,428^{*}Zn + 0,0098^{\#}Zn^2$	0,996	$\hat{Y} = 0,32 + 0,664^{**}Zn$	0,995	$\hat{Y}$
		30	$\hat{Y} = 0,31 + 0,574^{**}Zn$	0,999	$\hat{Y} = 0,62 + 0,468^{*}Zn + 0,0189^{**}Zn^2$	0,998	$\hat{Y}$

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras. <sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. #, \*, \*\*: Significativo a 10, 5 e 1 %

O Zn recuperado pelos extratores Mehlich-3 e DTPA relacionaram-se linearmente e curvilinearmente, com o Zn adicionado ao solo (Quadro 20). As diferenças no valor do intercepto foram um reflexo dos diferentes teores iniciais desse nutriente no solo (Quadro 1). Todos os solos apresentam, para todos os extratores utilizados, diferenças nas declividades das equações (Quadro 20), o que evidencia uma diferença entre os solos quanto à capacidade tampão de Zn.

O teor médio de Zn antes do cultivo foi maior para o extrator Mehlich-1, seguido pelo extrator Mehlich-3 e por último o DTPA. Essa extração diferencial é resultante dos diferentes mecanismos de extração, em razão, principalmente, da composição química dos extratores (WU et al. 1991). O extrator Mehlich-1 apresentou maior variabilidade das repetições dentro dos tratamentos quanto à extração, como indicado pelo maior coeficiente de variação.

O extrator DTPA apresentou menor capacidade de recuperação do Zn disponível que o Mehlich-3 e o Mehlich-1. O extrator Mehlich-3 apresentou maior poder de recuperação que o Mehlich-1 apenas no solo LAV, como indicado pelas declividades das equações (Quadro 20).

As correlações entre as declividades das retas dos teores de Zn recuperado pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em função das doses de Zn adicionadas, e características que representam a capacidade tampão dos solos, foram significativas (Quadro 21). Observaram-se correlações significativas e negativas entre as declividades e o teor de argila e a capacidade de campo (Quadro 21), características que refletem a extensão da superfície de adsorção. As correlações significativas com o P rem, também verificadas por COUTO (1985), sugerem que estas características podem ser utilizadas como critério auxiliar na avaliação da disponibilidade e na recomendação de fertilização com Zn.

As melhores correlações para o extrator Mehlich-3 nas amostras de solo antes do cultivo, confirmam a sua sensibilidade à capacidade tampão de Zn. O extrator DTPA-TEA apresentou-se mais sensível à capacidade tampão de Zn nas amostras de solo coletadas após o cultivo (Quadro 21).

Quadro 21 – Correlações de Pearson entre características dos solos relacionadas com a capacidade tampão e declividades das retas dos teores de Zn recuperado em função das doses de Zn adicionadas, por Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA para as amostras de solo coletadas antes e após o cultivo de café.

	$\Delta\text{Zn recuperado}/\Delta\text{Zn aplicado}$					
	Antes do cultivo			Após o cultivo		
	M1	M3	DTPA	M1	M3	DTPA
P rem	0,628**	0,939**	0,680**	0,750**	0,689**	0,868**
CTC total	- 0,525**	- 0,883**	- 0,794**	- 0,631**	- 0,668**	- 0,799**
C.O.	- 0,694**	- 0,920**	- 0,482*	- 0,823**	- 0,635**	- 0,872**
Argila	- 0,529**	- 0,886**	- 0,792**	- 0,636**	- 0,669	- 0,802**
C.C.	- 0,697**	- 0,914**	- 0,459*	- 0,825**	- 0,645**	- 0,867**

### 3.3. Produção de matéria seca e teores e conteúdos de nutrientes na parte aérea das plantas de café

Observou-se diferença na produção de matéria seca entre solos (Quadro 22). Foi observado pequenas diferenças nos teores de Ca, Mg e P das folhas entre os diferentes solos (Quadros 23, 24, 25 e 26). Os corretivos da acidez influenciaram a produção de matéria seca, sendo que nos solos SSP e LAV, a maior produção foi observada quando se utilizou como corretivo mistura de carbonatos e sais neutros (Quadros 22 e 26). As plantas crescidas em todos os solos, responderam à localização de P (Quadros 22 e 26), com as maiores produções sendo verificadas com aplicação mais localizada do elemento. Observou-se que no solo LAV, a localização de P em 30 % levou a produções muito inferiores que as localizações em 5 e 10 %, independente do corretivo utilizado. Isto pode ser explicado pelas características físicas deste solo, menos argiloso, que foi compactando-se ao longo do cultivo, provocando um aumento na tortuosidade e no fator de impedância do solo, diminuindo a difusão do elemento para as raízes (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Os teores totais de Ca das folhas diferiram entre os tratamentos (Quadros 23 e 26). Em consequência da maior dose de corretivo aplicada, o solo SSP apresentou maior acréscimo do teor deste elemento (Quadro 23). As concentrações de Ca foram maiores nas folhas quando se utilizou mistura de carbonatos e sais neutros nos solos SSP e PAT, observando-se efeito contrário no solo LAV (Quadro 23). A diferença pode ser devida ao  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  nessa mistura, porque as características destes solos, provavelmente permitiram uma maior solubilidade do Ca, aumentando sua disponibilidade no volume de solo explorado pelas raízes, aumentando sua absorção.

O teor de Ca das folhas não foi alterado pelas doses de Zn adicionadas, considerando as localizações de P e os corretivos da acidez aplicados, nos diferentes solos.

Quadro 22 – Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de café considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}$ <sup>5/</sup>
			0	1	2	4	8	16	
		%	-----g/vaso-----						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	42,58	49,37	50,48	55,64	54,04	49,73	50,31
		10	40,51	48,46	51,03	56,67	52,98	48,83	49,75
		30	39,06	40,19	52,87	46,87	42,46	40,08	43,59
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							47,88
	CA2	5	47,97	51,75	60,36	52,30	50,94	49,75	52,18
		10	44,49	48,03	59,76	53,91	51,89	47,37	50,91
		30	45,15	47,00	53,63	50,25	49,25	47,88	48,86
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							50,65
		$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							49,26
	PAT	CA1	5	43,98	49,15	59,75	52,56	50,79	50,75
10			33,48	39,45	52,65	49,58	48,37	34,85	43,06
30			37,14	40,16	46,62	44,38	39,44	40,00	41,29
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							45,17
CA2		5	38,99	41,81	42,19	47,55	46,71	45,41	43,78
		10	34,55	39,16	51,72	50,17	42,28	41,11	43,17
		30	32,76	33,60	49,64	45,27	36,22	32,12	38,27
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							41,74
		$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							43,46
LAV		CA1	5	17,50	26,37	36,48	33,35	32,75	29,99
	10		15,76	23,09	32,54	31,01	22,81	21,29	24,42
	30		8,62	10,77	15,28	19,71	18,32	15,37	14,68
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							22,84
	CA2	5	22,84	24,15	26,98	32,67	33,20	31,00	28,47
		10	16,39	21,82	26,64	30,07	28,17	27,17	25,04
		30	9,54	14,02	18,08	19,86	19,04	15,67	16,04
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							23,18
		$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							23,01

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.



Quadro 23 – Teores de Ca das folhas das plantas de café, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}$ <sup>5/</sup>
			0	1	2	4	8	16	
		%	-----dag/kg-----						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	1,59	1,77	1,50	1,62	1,69	1,63	1,64
		10	1,36	1,49	1,58	1,62	1,54	1,38	1,49
		30	1,33	1,46	1,49	1,50	1,54	1,45	1,46
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							1,53
	CA2	5	1,54	1,50	1,52	1,39	1,39	1,44	1,46
		10	1,57	1,62	1,62	1,66	1,65	1,60	1,62
		30	1,57	1,57	1,59	1,59	1,67	1,61	1,59
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							1,56
		$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							1,55
PAT	CA1	5	1,33	1,32	1,38	1,41	1,45	1,62	1,42
		10	1,46	1,40	1,61	1,48	1,53	1,47	1,49
		30	1,49	1,41	1,36	1,39	1,48	1,59	1,45
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							1,45
	CA2	5	1,41	1,41	1,41	1,49	1,51	1,63	1,48
		10	1,48	1,38	1,52	1,51	1,54	1,51	1,49
		30	1,45	1,47	1,42	1,38	1,39	1,38	1,42
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							1,46
		$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							1,46
LAV	CA1	5	1,59	1,32	1,43	1,47	1,49	1,42	1,45
		10	1,51	1,52	1,49	1,58	1,41	1,29	1,47
		30	1,35	1,41	1,31	1,59	1,24	1,57	1,41
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							1,44
	CA2	5	1,48	1,39	1,37	1,42	1,31	1,24	1,37
		10	1,35	1,38	1,26	1,27	1,34	1,24	1,31
		30	1,32	1,30	1,37	1,33	1,27	1,31	1,32
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							1,33
		$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							1,39

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

Os teores de Mg nas folhas das plantas de café diferiram significativamente entre os tratamentos (Quadros 24 e 26), com comportamento semelhante ao Ca. As doses mais elevadas de corretivos, adicionadas no solo SSP, levaram a maiores acréscimos do teor de Mg nesse solo e maior absorção pela planta. Observou-se um

pequeno aumento no teor de Mg nas folhas quando se utilizou mistura de carbonatos (Quadro 24).

Quadro 24 – Teores de Mg das folhas das plantas de café, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}$ <sup>5/</sup>	
			0	1	2	4	8	16		
		%	-----dag/kg-----							
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	0,44	0,50	0,53	0,46	0,48	0,43	0,47	
		10	0,48	0,48	0,48	0,49	0,46	0,44	0,47	
		30	0,45	0,46	0,56	0,46	0,43	0,45	0,47	
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							0,47	
	CA2	5	0,46	0,45	0,48	0,45	0,46	0,44	0,46	
		10	0,43	0,47	0,48	0,46	0,46	0,45	0,46	
		30	0,48	0,44	0,47	0,45	0,45	0,43	0,45	
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							0,46	
			$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							0,47
	PAT	CA1	5	0,43	0,53	0,53	0,52	0,49	0,48	0,50
10			0,48	0,47	0,49	0,46	0,46	0,47	0,47	
30			0,45	0,53	0,43	0,48	0,47	0,44	0,47	
$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>									0,48	
CA2		5	0,53	0,47	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49	
		10	0,47	0,48	0,47	0,47	0,43	0,45	0,46	
		30	0,53	0,45	0,53	0,47	0,47	0,43	0,48	
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							0,48	
			$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							0,48
LAV		CA1	5	0,41	0,33	0,38	0,40	0,40	0,35	0,38
	10		0,36	0,37	0,37	0,36	0,35	0,35	0,36	
	30		0,35	0,37	0,34	0,36	0,34	0,33	0,34	
	$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>								0,36	
	CA2	5	0,32	0,37	0,34	0,35	0,35	0,32	0,34	
		10	0,34	0,36	0,35	0,33	0,37	0,36	0,35	
		30	0,35	0,33	0,36	0,34	0,36	0,31	0,34	
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							0,34	
			$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							0,35

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

O teor de Mg das folhas só foi alterado pelas doses de Zn no solo SSP quando foi aplicado como corretivo mistura de carbonatos, na localização de P em 5 % ( $\hat{Y} = 0,45 + 0,026 * Zn^{0,5} - 0,0032 ** Zn$ ,  $R^2 = 0,588$ ). Isto pode ser atribuído ao transporte de Mg no solo, que é semelhante ao do Zn. STREBEL e DUYNVIELD (1989), trabalhando com solo de baixo teor de Mg, concluíram que foi significativa a contribuição da difusão no seu transporte à superfície das raízes. As concentrações de P nas folhas diferiram entre os solos estudados (Quadros 25 e 26).

Quadro 25 – Teores de P das folhas das plantas de café, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}$ <sup>5/</sup>
			0	1	2	4	8	16	
		%	-----dag/kg-----						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	0,18	0,17	0,18	0,15	0,16	0,11	0,16
		10	0,18	0,20	0,21	0,17	0,19	0,16	0,19
		30	0,15	0,17	0,18	0,19	0,14	0,13	0,16
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							0,17
	CA2	5	0,18	0,19	0,19	0,17	0,17	0,16	0,18
		10	0,17	0,19	0,20	0,18	0,19	0,12	0,17
		30	0,15	0,18	0,18	0,17	0,16	0,14	0,16
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							0,17
			$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>						0,17
	PAT	CA1	5	0,19	0,20	0,19	0,17	0,19	0,18
10			0,21	0,22	0,23	0,22	0,22	0,19	0,22
30			0,20	0,22	0,17	0,20	0,21	0,19	0,20
$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>									0,20
CA2		5	0,20	0,21	0,16	0,18	0,18	0,19	0,19
		10	0,20	0,21	0,21	0,21	0,19	0,19	0,20
		30	0,20	0,20	0,22	0,19	0,20	0,18	0,20
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							0,20
			$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>						0,20
LAV		CA1	5	0,24	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25
	10		0,26	0,25	0,24	0,25	0,26	0,25	0,25
	30		0,19	0,19	0,13	0,11	0,12	0,17	0,15
	$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>								0,22
	CA2	5	0,16	0,14	0,16	0,17	0,19	0,13	0,16
		10	0,10	0,13	0,13	0,14	0,16	0,19	0,14
		30	0,18	0,09	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							0,14
			$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>						0,18

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

No solo LAV observou-se maior teor de P nas folhas quando se adicionou mistura de carbonatos, em comparação com a mistura de carbonatos e sais neutros. No entanto, a produção de matéria seca apresentou efeito contrário, havendo um efeito de concentração do elemento na planta.

Quadro 26 – Análise de variância da produção de matéria seca (PMS), e dos teores totais de Ca, Mg e P das folhas das plantas de café, considerando os solos, os corretivos da acidez, as localizações de P (LP) e as doses de Zn (DZn).

FV <sup>1/</sup>	GL	Quadrado Médio			
		PMS	Ca	Mg	P
Blocos	2	70,07**	0,81**	0,01*	0,06*
Solos	2				
SSP+PAT vs LAV	1	14872,97**	0,93**	1,00**	0,00
SSP vs PAT	1	608,17**	0,41**	0,01*	0,04*
CA <sup>2/</sup> d/SSP	1	87,59**	0,02*	0,01*	0,00
CAd/PAT	1	141,68**	0,00	0,00	0,00
CAd/LAV	1	3,46**	0,36**	0,01*	0,15**
LPd/SSPCA1 <sup>3/</sup>	2				
LP5+LP10 vs LP30	1	215,87**	0,13**	0,00	0,00
LP5 vs LP10	1	0,08*	0,18**	0,00	0,01*
LPd/SSPCA2	2				
LP5+LP10 vs LP30	1	23,46**	0,03*	0,00	0,00
LP5 vs LP10	1	0,58*	0,22*	0,00	0,00
LPd/PATCA1	2				
LP5+LP10 vs LP30	1	104,23**	0,00	0,00	0,00
LP5 vs LP10	1	248,06**	0,05*	0,01*	0,01*
LPd/PATCA2	2				
LP5+LP10 vs LP30	1	123,09**	0,06*	0,00	0,00
LP5 vs LP10	1	0,66**	0,00	0,01*	0,00
LPd/LAVCA1	2				
LP5+LP10 vs LP30	1	892,63**	0,03*	0,01*	0,12**
LP5 vs LP10	1	94,64**	0,00	0,00	0,00
LPd/LAVCA2	2				
LP5+LP10 vs LP30	1	620,50**	0,01*	0,00	0,01*
LP5 vs LP10	1	57,03**	0,04*	0,00	0,00
DZnd/LP <sub>i</sub> CA <sub>i</sub> Si <sup>4/</sup>	90	797,49**	0,02*	0,00	0,01*
Resíduo	214	8,05	0,04	0,00	0,00

CV (%)	10,53	13,02	5,29	0,00
--------	-------	-------	------	------

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras. <sup>1/</sup> FV: Fonte de Variação. <sup>2/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>3/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio.<sup>4/</sup> Valores dos graus de liberdade e do quadrado médio considerando doses de Zn dentro da localização de P e de cada corretivo nos diferentes solos estudados.

\*, \*\*: Significativo a 5 e 1 %.

Observou-se também no solo LAV, que a localização de P em 5 %, independente do corretivo aplicado levou a maiores teores de P nas folhas (Quadro 25). A diminuição do teor de P com as doses de Zn, neste solo, acompanhou o incremento da matéria seca da parte aérea das plantas em resposta à aplicação de Zn neste solo, observando-se um efeito de diluição.

As equações de regressão da produção de matéria seca da parte aérea das plantas, em função das doses de Zn, estão listadas no Quadro 27, juntamente com o valor das doses recomendáveis (DR). Para um melhor ajuste das equações, foram retirados de todos os solos, a última dose de Zn adicionada no solo. Observou-se que somente no solo LAV, quando se utilizou mistura de carbonatos e sais neutros na localização de P em 5 %, a dose recomendável foi maior. Em todos os outros tratamentos, a localização de P em 10 %, independente do corretivo aplicado, levou a uma maior dose recomendável (Quadro 27).

As plantas cultivadas nos solos PAT e LAV apresentaram maiores teores de Zn nas folhas que aquelas cultivadas no solo SSP (Quadro 28), isto, em resposta a uma maior disponibilidade de Zn nesses solos (Quadro 1). O solo PAT, com maior teor de matéria orgânica (Quadro 1), teria apresentado tendência mais acentuada à formação de complexos organo-metálicos, sendo este um importante mecanismo na manutenção do Zn na solução do solo (TISLADE et al., 1985; HAMILTON et al., 1993).

Os diferentes corretivos da acidez influenciaram o teor total de Zn nas folhas nos diferentes solos estudados (Quadro 29 e 30). Isto pode ser atribuído aos corretivos aplicados, que alteram o pH do solo. A maior deficiência de Zn em plantas ocorre em solos com pH acima de 6,0, sendo os solos calcários ou aqueles que sofreram uma supercalagem, mais propensos a este problema (MAGUIRE et al. 1981). Acima desse valor de pH, o Zn forma compostos insolúveis como o  $Zn(OH)_2$

e o  $ZnCO_3$ , que diminuiriam a disponibilidade do Zn para as plantas. Nos solos LAV e PAT, observaram-se aumentos no teor de Zn nas folhas das plantas de café quando se usou a mistura de carbonatos e sais neutros. No solo SSP, o efeito foi contrário. Isto pode ser explicado pela diferença na capacidade tampão de acidez destes solos, que levaria a uma menor alteração do pH nos solos LAV e PAT, ocasionando uma maior disponibilidade de Zn para as plantas (MUNER, 1996) (Quadros 28, 30 e 31).

Quadro 27 – Equações de Regressão da produção de matéria seca da parte aérea das plantas de café (g/vaso) em função das doses de Zn ( $mg/dm^3$ ) e doses recomendáveis (DR), considerando a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/2</sup>	LP <sup>3/2</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	DR <sup>4/2</sup>
		%			$mg/dm^3$
SSP	CA1 <sup>2/2</sup>	5	$\hat{Y} = 43,33 + 0,973^{**}Zn - 0,01767^{**}Zn^2$	0,963	9,63
		10	$\hat{Y} = 41,26 + 1,274^{**}Zn - 0,02456^{**}Zn^2$	0,979	10,59
		30	$\hat{Y} = 37,47 + 1,973^{**}Zn - 0,09879^{**}Zn^2 + 0,001313^{\#}Zn^3$	0,648	4,43
	CA2	5	$\hat{Y} = 46,91 + 2,261^{**}Zn - 0,14169^{**}Zn^2 + 0,002191^{**}Zn^3$	0,768	2,56
		10	$\hat{Y} = 43,14 + 2,381^{**}Zn - 0,12571^{**}Zn^2 + 0,001790^{*}Zn^3$	0,762	4,23
		30	$\hat{Y} = 44,38 + 1,320^{**}Zn - 0,07013^{*}Zn^2 + 0,001004^{\#}Zn^3$	0,746	1,95
PAT	CA1	5	$\hat{Y} = 42,81 + 2,698^{**}Zn - 0,15460^{**}Zn^2 + 0,002304^{**}Zn^3$	0,813	3,96
		10	$\hat{Y} = 32,20 + 2,851^{**}Zn - 0,13270^{**}Zn^2 + 0,001788^{*}Zn^3$	0,884	6,83
		30	$\hat{Y} = 39,36 + 0,502^{*}Zn - 0,01257^{*}Zn^2$	0,868	5,58
	CA2	5	$\hat{Y} = 38,71 + 0,589^{*}Zn - 0,00965^{\#}Zn^2$	0,938	8,29
		10	$\hat{Y} = 34,51 + 1,607^{**}Zn - 0,03559^{**}Zn^2$	0,842	10,42
		30	$\hat{Y} = 37,56 + 0,812^{**}Zn - 0,019297^{**}Zn^2$	0,793	9,70
LAV	CA1	5	$\hat{Y} = 16,73 + 5,231^{**}Zn - 0,44380^{**}Zn^2 + 0,010564^{**}Zn^3$	0,954	13,21
		10	$\hat{Y} = 15,06 + 4,304^{**}Zn - 0,32330^{**}Zn^2 + 0,006558^{*}Zn^3$	0,953	14,84
		30	$\hat{Y} = 7,91 + 1,462^{**}Zn - 0,04270^{**}Zn^2$	0,978	10,20
	CA2	5	$\hat{Y} = 21,92 + 1,140^{*}Zn - 0,02776^{\#}Zn^2$	0,962	9,52
		10	$\hat{Y} = 16,73 + 1,858^{**}Zn - 0,05773^{**}Zn^2$	0,989	8,68
		30	$\hat{Y} = 10,04 + 1,417^{**}Zn - 0,04367^{**}Zn^2$	0,968	9,20

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> DR: Dose recomendável (90 % da Produção máxima); #, \*, \*\*: Significativo a 10, 5 e 1 %.

Quadro 28 – Teores de Zn das folhas das plantas de café, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						$\bar{Y}$ <sup>5/</sup>
			0	1	2	4	8	16	
		%	-----mg/kg-----						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	8,54	9,39	16,87	30,74	42,12	57,98	27,60
		10	7,11	9,89	21,18	27,71	36,11	75,36	29,55
		30	9,48	12,29	23,70	33,18	44,64	68,43	31,95
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							29,70
	CA2	5	9,22	9,05	17,09	30,91	48,79	57,79	28,81
		10	8,79	9,14	19,19	22,93	37,29	61,04	26,40
		30	9,69	13,74	22,47	30,55	36,97	58,18	28,60
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							27,94
		$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							28,82
PAT	CA1	5	8,52	15,06	24,42	29,49	62,57	64,89	34,16
		10	12,89	14,98	36,13	42,79	46,70	83,44	39,49
		30	12,92	16,84	25,48	32,77	68,78	81,29	39,68
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							37,78
	CA2	5	13,18	17,81	23,66	46,08	44,62	86,63	38,66
		10	12,06	9,77	24,69	36,21	43,47	84,34	35,09
		30	11,52	23,69	19,99	41,07	64,53	86,57	41,23
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							38,33
		$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							38,05
LAV	CA1	5	7,59	11,61	22,09	29,53	42,38	74,51	31,28
		10	7,07	12,43	18,79	30,89	58,17	66,79	32,36
		30	7,33	10,49	24,56	32,01	64,55	66,29	34,21
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							32,62
	CA2	5	8,79	17,53	27,54	45,42	69,24	75,11	40,60
		10	5,38	23,31	29,28	46,52	62,83	90,74	43,01
		30	8,99	15,87	28,69	38,71	72,13	89,94	42,39
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							42,00
		$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>							37,31

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.

Quadro 29 – Conteúdo de Zn da parte aérea das plantas de café, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Nível de Zn <sup>4/</sup>						
			0	1	2	4	8	16	$\bar{Y}$ <sup>5/</sup>
		%	-----mg/vaso-----						
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	0,36	0,45	0,77	1,39	1,80	2,30	1,18
		10	0,31	0,47	0,92	1,33	1,57	2,95	1,26
		30	0,36	0,47	1,07	1,27	1,46	2,09	1,12
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							1,18
	CA2	5	0,39	0,46	0,88	1,29	2,00	2,27	1,22
		10	0,36	0,44	1,02	1,01	1,54	2,27	1,11
		30	0,43	0,61	1,03	1,24	1,49	2,17	1,16
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							1,16
			$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>						1,17
	PAT	CA1	5	0,41	0,69	1,25	1,28	2,52	2,59
10			0,42	0,54	1,53	1,67	1,79	2,35	1,39
30			0,46	0,71	0,85	1,19	2,27	2,77	1,38
$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>									1,41
CA2		5	0,52	0,67	0,87	1,69	1,63	2,96	1,39
		10	0,40	0,39	1,08	1,45	1,43	2,64	1,23
		30	0,37	0,67	0,88	1,45	1,76	2,26	1,23
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							1,28
			$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>						1,36
LAV		CA1	5	0,13	0,29	0,71	0,83	1,16	1,90
	10		0,11	0,27	0,56	0,83	1,09	1,18	0,67
	30		0,06	0,11	0,33	0,53	0,96	0,87	0,48
	$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>								0,66
	CA2	5	0,19	0,39	0,62	1,18	1,79	1,93	1,02
		10	0,09	0,46	0,67	1,11	1,40	2,02	0,96
		30	0,08	0,21	0,45	0,65	1,14	1,36	0,65
		$\bar{Y}$ <sup>6/</sup>							0,88
			$\bar{Y}$ <sup>7/</sup>						0,77

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Nível 1 de Zn corresponde a dose 5 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP e PAT e 3 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV. <sup>5/</sup> Média de doses de Zn dentro localização de P e cada corretivo nos diferentes solos. <sup>6/</sup> Média de corretivo dentro de cada solo. <sup>7/</sup> Média por solo.



Nas localizações de P nos menores volumes de solo (5 e 10 %) foram observados menores teores de Zn nas folhas das plantas, em todos os solos, quando comparados a localização em 30 % (Quadros 28 e 30). Isto se deve à maior produção de matéria seca com a aplicação de P mais localizada (Quadro 22), que levaria a uma diluição do Zn no tecido vegetal. Como o teor de Zn (Quadro 28) e a produção de matéria seca (Quadro 22) apresentaram comportamentos opostos diante das localizações, o conteúdo de Zn não foi alterado (Quadro 29).

A deficiência de Zn aumenta a permeabilidade do plasmalema das células das raízes ao P (PINTON et al. 1993). Assim, uma maior absorção de P em plantas deficientes em Zn pode, em parte, ser expressão de uma maior permeabilidade das células das raízes ou de uma desregulação do controle de carga para o xilema. Neste trabalho, no entanto, o teor de Zn observado nas folhas no solo SSP, quando corrigido com mistura de carbonatos, na maior localização de P e na dose zero de Zn, não diferiu sensivelmente daqueles determinados para outros tratamentos. Já o P está excepcionalmente elevado, tendendo à toxidez, tendo sido observados sintomas de deficiência de Zn induzida por P (CAKMAK e MARSCHNER, 1986). Esses autores verificaram que com o aumento dos teores de P na parte aérea, os sintomas de deficiência de Zn tornaram-se mais severos, apesar de o teor de Zn não decrescer. Entretanto, a disponibilidade fisiológica de Zn decrescia, visto que os altos teores de P na parte aérea poderiam diminuir a solubilidade e a mobilidade do Zn, aumentando a exigência fisiológica desse elemento no tecido vegetal. Assim, ocorreriam sintomas de deficiência de Zn, mesmo quando as concentrações desse nutriente, naqueles tecidos, fossem adequadas.

No solo LAV, por apresentar maior teor de Zn (Quadro 1), foi possível observar uma maior absorção desse nutriente pela planta, na dose zero do elemento. Nesses tratamentos não se observou teores elevados de P nas folhas das plantas.

Quadro 30 – Análise de variância do teor de Zn das folhas das plantas de café (TZn) e do conteúdo de Zn da parte aérea das plantas de café (CZn), considerando os solos, os corretivos da acidez, as localizações de P (LP) e as doses de Zn (DZn).

FV <sup>1/</sup>	GL	Quadrado Médio	
		TZn	CZn
Blocos	2	13,60**	0,12*
Solos	(2)		
SSP+PAT vs LAV	1	1079,84**	42,11**
SSP vs PAT	1	4602,25**	1,61**
CA <sup>2/</sup> d/SSP	1	84,19**	87,59**
CAd/PAT	1	8,18**	1,23**
CAd/LAV	1	2378,27**	0,40*
LPd/SSPCA1 <sup>3/</sup>	(2)		
LP5+LP10 vs LP30	1	136,91**	0,11*
LP5 vs LP10	1	34,42**	0,06
LPd/SSPCA2	(2)		
LP5+LP10 vs LP30	1	11,93**	0,00
LP5 vs LP10	1	52,21**	0,11*
LPd/PATCA1	(2)		
LP5+LP10 vs LP30	1	97,81**	0,02
LP5 vs LP10	1	255,32**	0,05
LPd/PATCA2	(2)		
LP5+LP10 vs LP30	1	227,42**	0,08
LP5 vs LP10	1	114,92**	0,21*
LPd/LAVCA1	(2)		
LP5+LP10 vs LP30	1	68,26**	0,94*
LP5 vs LP10	1	10,39**	0,24
LPd/LAVCA2	(2)		
LP5+LP10 vs LP30	1	4,06**	1,38*
LP5 vs LP10	1	52,06**	0,03
DZnd/LP <sub>i</sub> CA <sub>i</sub> Si <sup>4/</sup>	90	1941,26**	
Resíduo	214	5,07	0,02
CV (%)		6,48	11,52

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras. <sup>1/</sup> FV: Fonte de Variação. <sup>2/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>3/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>4/</sup> Valores dos graus de liberdade e do quadrado médio considerando doses de Zn dentro da localização de P e de cada corretivo nos diferentes solos estudados.

\*, \*\*: Significativo a 5 e 1 %.

Apesar do solo SSP não demonstrar efeito da localização de P em 5 e 10 % sobre a produção de matéria seca da parte aérea (Quadro 22) no teor de Zn, nas folhas das plantas a localização de P foi significativa (Quadros 28 e 30). Esta diferença nos teores de Zn nas folhas poderia ser explicada pelo fato do íon fosfato poder estar interagindo com os colóides de carga variável do solo, aumentando-lhes as cargas negativas de superfície (TAGWIRA et al. 1993), provocando a adsorção do  $Zn^{2+}$  no complexo trocável do solo, pela formação do composto  $ZnH_2PO_4^+$  (LINDSAY, 1979), o que diminuiria a atividade das formas de Zn livres na solução do solo, diminuindo, conseqüentemente, a difusão para as raízes.

Quadro 31 – Equações de regressão do teor de Zn nas folhas das plantas de café (mg/kg) em função de doses de Zn (mg/dm<sup>3</sup>), considerando a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/2</sup>	LP %	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>
SSP	CA1 <sup>2/3</sup>	5	$\hat{Y}=8,12 - 3,44 Zn^{0,5} + 2,501^{**} Zn - 0,16739^{**} Zn^{1,5}$	0,992
		10	$\hat{Y}=5,68 + 1,67^{**} Zn - 0,036^{**} Zn^2 + 0,000389^{**} Zn^3$	0,994
		30	$\hat{Y}=9,85 + 1,14^{**} Zn - 0,00515^{**} Zn^2$	0,988
	CA2	5	$\hat{Y}=9,09 - 6,49^{**} Zn^{0,5} + 3,84^* Zn - 0,274356^* Zn^{1,5}$	0,999
		10	$\hat{Y}=9,37 + 0,6590^{**} Zn$	0,987
		30	$\hat{Y}=8,58 + 1,62^{**} Zn - 0,0328^{**} Zn^2 + 0,000254^* Zn^3$	0,996
PAT	CA1	5	$\hat{Y}=9,27 - 5,933^{**} Zn^{0,5} + 4,075^{**} Zn - 0,2026^* Zn^{1,5}$	0,969
		10	$\hat{Y}=9,86 + 2,830^{**} Zn - 0,0711^* Zn^2 + 0,00059^{**} Zn^3$	0,975
		30	$\hat{Y}=13,86 + 0,467 Zn + 0,0397^{**} Zn^2 - 0,00043^{**} Zn^3$	0,995
	CA2	5	$\hat{Y}=9,61 + 2,499^{**} Zn - 0,0598^* Zn^2 + 0,000507^* Zn^3$	0,974
		10	$\hat{Y}=8,19 + 1,871^{**} Zn - 0,0367^* Zn^2 + 0,000315^* Zn^3$	0,981
		30	$\hat{Y}=11,07 + 1,651^{**} Zn - 0,008793^{**} Zn^2$	0,984
LAV	CA1	5	$\hat{Y}=10,28 + 1,355^{**} Zn$	0,987
		10	$\hat{Y}=7,56 - 8,145^* Zn^{0,5} + 0,673^{**} Zn - 0,6219^{**} Zn^{1,5}$	0,983
		30	$\hat{Y}=7,67 - 10,11^{**} Zn^{0,5} + 8,262^{**} Zn - 0,798^{**} Zn^{1,5}$	0,981
	CA2	5	$\hat{Y}=8,86 - 5,374 Zn^{0,5} + 7,089^{**} Zn - 0,7119^{**} Zn^{1,5}$	0,998
		10	$\hat{Y}=6,93 + 4,823^{**} Zn - 0,1444^{**} Zn^2 + 0,001669 Zn^3$	0,997
		30	$\hat{Y}=7,39 + 3,421^{**} Zn - 0,0352^{**} Zn^2$	0,992

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P.

#, \*, \*\*: Significativo a 10, 5 e 1 %.

O teor de Zn nas folhas das plantas de café apresentou resposta linear e curvilínea às doses de Zn adicionadas ao solo (Quadro 31). No entanto, o aumento do teor de Zn nas folhas foi acompanhado por incrementos crescentes na produção de matéria seca (Quadro 22). COUTO (1985) obteve resultados semelhantes, ou seja, um aumento na concentração de Zn nas plantas, com a aplicação de doses crescentes de Zn.

Com relação à localização de P, foi observado que a localização em 5 % leva a um maior conteúdo de Zn na parte aérea das plantas, excetuando-se a localização em 10 % quando se utilizou mistura de carbonatos no solo SSP (Quadros 29 e 30). O conteúdo de Zn na parte aérea das plantas também apresentou resposta linear e curvilínea às doses de Zn adicionadas ao solo (Quadro 32). Nos solos SSP e PAT esse incremento deveu-se tanto ao aumento no teor de Zn como à maior produção de matéria seca. No solo LAV, foi devido somente ao aumento no teor de Zn.

Quadro 32 – Equações de Regressão do conteúdo de Zn da parte aérea das plantas de café (mg/vaso) em função de doses de Zn (mg/dm<sup>3</sup>), e a taxa de recuperação de Zn pela planta, considerando a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup>	Equação de Regressão	R <sup>2</sup>	Tx Rec. <sup>4/</sup>
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	$\hat{Y} = 0,30 + 0,054^{**}Zn - 0,0003623^{**}Zn^2$	0,984	0,0095
		10	$\hat{Y} = 0,23 + 0,082^{**}Zn - 0,0018^{**}Zn^2 + 0,000015^{*}Zn^3$	0,994	0,0089
		30	$\hat{Y} = 0,28 + 0,008^{**}Zn - 0,0019^{**}Zn^2 + 0,000014^{**}Zn^3$	0,972	0,0018
	CA2	5	$\hat{Y} = 0,39 - 0,190 Zn^{0,5} + 0,1326^{**}Zn - 0,00982^{**}Zn^{1,5}$	0,997	0,0106
		10	$\hat{Y} = 0,32 + 0,1208^{*}Zn^{0,5} + 0,011 Zn$	0,964	0,0081
		30	$\hat{Y} = 0,62 + 0,042^{**}Zn$	0,959	0,0084
PAT	CA1	5	$\hat{Y} = 0,39 + 0,0706^{**}Zn - 0,000536^{**}Zn^2$	0,960	0,0132
		10	$\hat{Y} = 0,31 + 0,124^{**}Zn - 0,0031^{**}Zn^2 + 0,000024^{**}Zn^3$	0,934	0,0173
		30	$\hat{Y} = 0,38 + 0,0564^{**}Zn - 0,000327^{**}Zn^2$	0,983	0,0105
	CA2	5	$\hat{Y} = 0,38 + 0,087^{**}Zn - 0,0020^{**}Zn^2 + 0,000016^{**}Zn^3$	0,967	0,0108
		10	$\hat{Y} = 0,25 + 0,097^{**}Zn - 0,0025^{**}Zn^2 + 0,000020^{**}Zn^3$	0,966	0,0112
		30	$\hat{Y} = 0,43 + 0,049^{**}Zn - 0,000339^{**}Zn^2$	0,983	0,0084
LAV	CA1	5	$\hat{Y} = 0,30 + 0,0346^{**}Zn$	0,949	0,0069
		10	$\hat{Y} = 0,14 + 0,0063^{**}Zn - 0,00087^{**}Zn^2$	0,983	0,0038
		30	$\hat{Y} = 0,06 - 0,177 Zn^{0,5} + 0,1459^{*}Zn - 0,014939^{*}Zn^{1,5}$	0,993	0,0093
	CA2	5	$\hat{Y} = 0,19 - 0,203 Zn^{0,5} + 0,2117^{**}Zn - 0,211377^{**}Zn^{1,5}$	0,999	0,1587

10	$\hat{Y} = 0,20 + 0,7346^{**}Zn - 0,000753^{**}Zn^2$	0,978	0,1443
30	$\hat{Y} = 0,07 + 0,0607^{**}Zn - 0,000704^{**}Zn^2$	0,996	0,0096

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras.<sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Taxa de recuperação pela planta do Zn adicionado, correspondente a região da dose recomendável (mg/dm<sup>3</sup> / mg/dm<sup>3</sup>).

<sup>#</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>: Significativo a 10, 5 e 1 %.

Os valores de produção de matéria seca e do conteúdo de Zn da parte aérea das plantas e os teores de Zn e P das folhas das plantas sugerem que existe uma relação Zn/P ideal para o crescimento das plantas. Valores inferiores a 50 mg/kg / dag/kg prejudicariam sensivelmente a produção de matéria seca. Esse foi o menor valor achado para o quociente, neste trabalho, em plantas normais, crescidas na dose zero de Zn. Comparando, nessa dose de Zn, os tratamentos que receberam adição da mistura de carbonatos na localização em (LP5 + LP10 vs LP30 ), foi observado uma tendência de maior produção nas plantas crescidas nos tratamentos com maior localização (5 e 10 %). O maior teor de P nas folhas diminui a relação Zn/P, favorecendo o crescimento das plantas.

Quando foram comparados os tratamentos de adição de mistura de carbonatos e carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio e as localizações de P do solo SSP com o solo de LAV, na dose zero de Zn, era esperado maior efeito da localização de P em plantas cultivadas no solo LAV, em virtude da maior disponibilidade de P. RUIZ et al. (1988) indicam que solos menos argilosos possibilitam melhor aproveitamento do P disponível, quando a água não é um fator limitante à produção. No entanto, no solo SSP, os teores médios de Zn, tanto no solo quanto na planta, foram maiores que no solo LAV, proporcionando um melhor equilíbrio na relação Zn/P, favorecendo o crescimento das plantas. Isto também ocorreu no solo PAT, reforçando a importância do papel do Zn na seletividade de absorção de P (PINTON et al. 1993).

A taxa de recuperação do Zn pela planta calculado na dose recomendável apresentou diferença entre solos, forma de aplicação do corretivo e localização de P (Quadro 32). Observou-se que as plantas absorveram maiores quantidades de Zn

quando o corretivo utilizado foi mistura de carbonatos e sais neutros no solo SSP. Nos solos PAT e LAV, o efeito foi contrário, com maior recuperação de Zn pela planta quando o corretivo utilizado foi mistura de carbonatos.

Observou-se que a localização de P em 5 % levou a maiores taxas de recuperação de Zn pela planta, independente do corretivo utilizado nos solos SSP e LAV. No solo PAT, a maior absorção de Zn ocorreu na localização de P em 10 % do volume total de solo (Quadro 32).

A correlação das declividades das equações ajustadas para os teores e os conteúdos de Zn na planta, em função das doses de Zn adicionadas, com os teores de Zn disponível no solo antes e após o cultivo, mostram que a absorção de Zn pelas plantas de café são apenas sensíveis para os teores obtidos com o extrator DTPA antes do cultivo e com os extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 nas amostras de solo após o cultivo (Quadro 33).

Quadro 33 – Correlações de Pearson entre teores de Zn obtidos pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA entre si, e entre as declividades das equações ajustadas para a produção de matéria seca, os teores e conteúdos de Zn na planta em função das doses de Zn adicionadas, para condição de aplicação da dose zero de Zn, nas amostras de solo coletadas antes (AC) e após (DC) o cultivo de café.

	Antes do cultivo			Após o cultivo		
	M1	M3	DTPA	M1	M3	DTPA
Zn M1 AC		0,629**	0,377			
Zn M3 AC	0,629**		0,602*			
Zn DTPA AC	0,377	0,602*				
Zn M1 DC					0,731**	0,081
Zn M3 DC				0,731**		0,002
Zn DTPA DC				0,081	0,002	
□ CZn PA <sup>1/</sup>	0,336	0,135	0,714*	0,558**	0,599**	0,057
□ TZn PA <sup>2/</sup>	- 0,253	- 0,358	- 0,332	0,712**	0,558**	0,180
□ MS PA <sup>3/</sup>	- 0,129	- 0,445*	- 0,782**	0,300	0,482*	0,071

<sup>1/</sup> Declividade das equações ajustadas para o conteúdo de Zn na parte aérea das plantas de café em função das doses de Zn adicionadas. <sup>2/</sup> Declividade das equações ajustadas para o teor de Zinco nas folhas das plantas de café em função das doses de Zn adicionadas. <sup>3/</sup> Declividade das equações ajustadas para a massa da matéria seca da parte aérea das plantas de café em função das doses de Zn adicionadas.

Quando se correlacionam os teores de Zn extraídos pelos diferentes métodos, observou-se nas amostras de solo, que o extrator Mehlich-3 obteve as melhores correlações na condição de aplicação da dose zero de Zn (Quadro 33). Não foi observado correlações significativas entre os teores de Zn obtidos pelo extrator Mehlich-1 e os teores obtidos com o extrator DTPA. A maior correlação obtida entre os teores de Zn obtidos com Mehlich-1 e Mehlich-3, podem ser explicados com base nos diferentes mecanismos de extração, resultantes da composição química dos extratores. Assim, o Mehlich-1, constituído por dois ácidos fortes diluídos e com pH em torno de 1,2, extrai por dissolução ácida, possuindo maior capacidade de solubilização de formas precipitadas de Zn do que o Mehlich-3, menos ácido (pH 2,5) e que extrai o Zn por complexação, devido à presença do EDTA, e por troca com íons  $\text{NH}_4^+$  (TRAN e SIMARD, 1993). ZHU e ALVA (1993) avaliando as correlações entre as formas de Zn no solo e os teores obtidos pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3, verificaram que esses extratores extraem não somente as formas realmente solúveis, como também as ligadas à matéria orgânica e precipitadas, bem como a forma residual; verificaram ainda que o Mehlich-1 apresenta maior capacidade de extração de todas essas formas que o Mehlich-3.

Na condição de aplicação de todas as doses de Zn (Quadro 34), observou-se que as declividades das equações ajustadas para os teores e os conteúdos de Zn na planta em função das doses de Zn adicionadas, com os teores de Zn disponível no solo são altos e significativos. Observou-se que os teores de Zn obtidos com o extrator Mehlich-1 obtidos antes e após o cultivo correlacionaram-se melhor com a declividade das equações ajustadas para os conteúdos de Zn da parte aérea das plantas em função das doses adicionadas (Quadro 34). Observou-se, também, que os teores de Zn obtidos com o extrator DTPA, correlacionaram-se melhor com as declividades das equações dos teores de Zn das folhas das plantas de café em função das doses de Zn adicionadas.

Observou-se que os coeficientes de regressão linear simples dos teores do Zn disponível no solo entre extratores, na condição de aplicação de todas doses de Zn

(Quadro 34) são altos e significativos, sugerindo uma capacidade preditiva semelhante com relação ao Zn disponível. Isto sugere que, apesar das diferenças na capacidade de extração por cada um destes extratores, eles podem ter capacidade preditiva semelhante em relação à disponibilidade de Zn, o que pode ser comprovado pela alta correlação com os teores e conteúdos na planta, considerado o método padrão de extração (Quadro 34).

Quadro 34 – Correlações de Pearson entre teores de Zn obtidos pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA entre si, e entre as declividades das equações ajustadas para a produção de matéria seca, os teores e conteúdos de Zn na planta em função das doses de Zn adicionadas, para condição de aplicação da dose zero de Zn, nas amostras de solo coletadas antes (AC) e após (DC) o cultivo de café.

	Antes do cultivo			Após o cultivo		
	M1	M3	DTPA	M1	M3	DTPA
Zn M1 AC	1,000	0,858**	0,997**			
Zn M3 AC	0,858**		0,853**			
Zn DTPA AC	0,997**	0,853**				
Zn M1 DC					0,960**	0,894**
Zn M3 DC				0,960**		0,943**
Zn DTPA DC				0,894**	0,943**	
□ CZn PA <sup>1/</sup>	0,875**	0,699**	0,861**	0,736**	0,689**	0,729**
□ TZn PA <sup>2/</sup>	0,836**	0,768**	0,876**	0,737**	0,758**	0,872**
□ MS PA <sup>3/</sup>	0,132	0,013	0,050	0,199	0,037	0,062

<sup>1/</sup> Declividade das equações ajustadas para o conteúdo de Zn na parte aérea das plantas de café em função das doses de Zn adicionadas. <sup>2/</sup> Declividade das equações ajustadas para o teor de Zinco nas folhas das plantas de café em função das doses de Zn adicionadas. <sup>3/</sup> Declividade das equações ajustadas para a massa da matéria seca da parte aérea das plantas de café em função das doses de Zn adicionadas.



### 3.4. Níveis críticos de Zn

Os níveis críticos de Zn foram estimados com base nas equações de regressão selecionadas para a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de café em função das doses de Zn aplicadas (Quadro 27). Foram calculadas as doses necessárias para atingir a produção máxima e as doses recomendáveis (90 % desse valor). Pela substituição das doses recomendáveis nas equações que relacionam os teores de Zn do solo recuperados pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA com o Zn aplicado, (Quadro 20), estimaram-se os níveis críticos do nutriente no solo (Quadro 35). Substituindo-se as doses recomendáveis nas equações que relacionam o teor de Zn nas folhas das plantas de café de acordo com as doses adicionadas (Quadro 31), determinaram-se os níveis críticos nas folhas das plantas de café. Esses valores são apresentados no Quadro 36. Foi calculada também a eficiência de utilização de Zn, que é a quantidade de matéria seca produzida por unidade de nutriente acumulado nas folhas das plantas de café (Quadro 36) para o uso da dose recomendável, ou seja, do nível crítico. Os níveis críticos de Zn no solo quando se utilizou como corretivo a mistura de carbonatos pelos diferentes extratores foram de 1,75 a 5,12 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP, 0,92 a 4,92 mg/dm<sup>3</sup> para o solo PAT e 5,62 a 9,85 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV e de 0,35 a 2,05 mg/dm<sup>3</sup> para o solo SSP, 1,92 a 4,92 mg/dm<sup>3</sup> para o solo PAT e 4,29 a 7,05 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV quando utilizado como corretivo a mistura de carbonatos e sais neutros (Quadro 35). Em todos os tratamentos, maior nível crítico nas folhas foi observado quando se utilizou a

localização de P em 10 % do volume total de solo. Isto pode ser explicado porque, no tratamento de maior localização (5 %), haveria um estímulo ao crescimento radicular na parte fertilizada com P concentrando raízes nesta região. Por outro lado,

Quadro 35 – Níveis Críticos de Zn no solo pelos extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA-TEA (DTPA) após o cultivo, considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup> %	-----mg/dm <sup>3</sup> -----			
			M1	M3	DTPA	
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	5,12	3,24	2,34	
		10	4,84	3,73	3,17	
		30	2,52	2,59	1,75	
		$\bar{Y}^{4/}$	4,16	3,19	2,42	
		CA2	5	0,99	0,42	0,29
			10	2,05	1,23	0,98
	30		0,82	0,37	0,35	
		$\bar{Y}^{4/}$	1,29	0,67	0,54	
		$\bar{Y}^{5/}$	2,72	1,93	1,48	
	PAT	CA1	5	1,64	2,77	0,92
			10	3,30	2,34	1,88
			30	2,45	2,98	1,23
$\bar{Y}^{4/}$			2,46	2,70	1,34	
CA2			5	3,36	3,30	1,92
			10	3,33	3,69	2,38
		30	3,78	4,92	2,09	
		$\bar{Y}^{4/}$	3,49	3,97	2,13	
		$\bar{Y}^{5/}$	2,98	3,33	1,74	
LAV		CA1	5	8,96	10,93	8,31
			10	9,85	10,69	8,08
			30	7,04	6,94	5,62
	$\bar{Y}^{4/}$		8,62	9,52	7,34	
	CA2		5	5,52	7,05	5,10
			10	5,10	6,08	4,29
		30	5,59	6,53	4,61	
		$\bar{Y}^{4/}$	5,40	6,55	4,67	
		$\bar{Y}^{5/}$	7,01	8,04	6,00	

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras. <sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Média dos níveis críticos considerando as diferentes localizações de P dentro das formas de correção da acidez nos diferentes solos. <sup>5/</sup> Média dos níveis críticos por solo.

na localização a 30 %, as raízes ocupariam de forma mais homogênea o volume de solo do vaso. Desta forma, como o Zn foi distribuído na totalidade da amostra do solo e sendo um nutriente transportado por difusão, uma maior distribuição do

Quadro 36 – Níveis críticos de Zn nas folhas das plantas de café e coeficiente de utilização biológica (CUB) nos níveis críticos (CUB), considerando as doses de Zn, a localização de P e os corretivos da acidez, nos solos estudados.

Solo	CA <sup>1/</sup>	LP <sup>3/</sup> %	Nível Crítico		
			-----mg/kg-----	-----kg/kg-----	
SSP	CA1 <sup>2/</sup>	5	16,53	60.496	
		10	19,79	50.530	
		30	14,80	67.567	
		$\bar{Y}^{4/}$	17,04	58.685	
		CA2	5	7,41	134.952
			10	12,16	82.236
			30	11,62	86.058
			$\bar{Y}^{4/}$	10,39	96.246
			$\bar{Y}^{5/}$	13,72	72.886
		PAT	CA1	5	12,00
10	26,06			38.372	
30	17,63			56.721	
$\bar{Y}^{4/}$	18,56			53.879	
CA2	5			26,51	37.721
			10	24,06	41.562
			30	26,26	38.080
			$\bar{Y}^{4/}$	25,61	39.047
			$\bar{Y}^{5/}$	22,09	45.269
	LAV		CA1	5	28,18
10		37,97		26.336	
30		33,66		29.708	
$\bar{Y}^{4/}$		33,27		30.057	
CA2		5		38,86	25.733
			10	39,01	25.634
			30	35,88	27.870
			$\bar{Y}^{4/}$	37,92	26.371
			$\bar{Y}^{5/}$	35,59	28.098

SSP: Solo de São Sebastião do Paraíso. PAT: Solo de Patrocínio. LAV: Solo de Lavras. <sup>1/</sup> CA: Corretivo da acidez. <sup>2/</sup> CA1: Mistura de carbonatos de cálcio e magnésio. CA2: Mistura de carbonatos e sais neutros de cálcio e magnésio. <sup>3/</sup> Localização de P. <sup>4/</sup> Média dos níveis críticos considerando as diferentes localizações de P dentro das formas de correção da acidez nos diferentes solos. <sup>5/</sup> Média dos níveis críticos por solo.

sistema radicular no vaso, levaria a uma concentração de Zn menor no nível crítico. O maior acúmulo de Zn na planta e eficiência de utilização de Zn na planta, aumentou com a mistura de carbonatos e quando o P foi localizado em 10 %, excetuando-se o tratamento de

localização em 5 % quando foi corrigido com mistura de carbonatos para o solo PAT (Quadro 36). A maior localização de P, estimulando maior concentração de raízes em um menor volume de solo, resultou em um maior nível crítico de Zn, o que indica uma menor eficiência de utilização de Zn. Percebe-se, que a localização de P não alterou muito a eficiência de utilização, porque a concentração de P levou a uma maior produção de matéria seca. Observou-se também que à medida que se aumentavam as doses de Zn, a eficiência de utilização caiu, e o conteúdo de Zn na parte aérea aumentou (Quadros 36 e 29). Considerando a localização de P no solo, observou-se que o conteúdo de Zn não é alterado e o conteúdo de P diminuiu com a menor localização de P no solo. BOAWN e BROWN (1968) sugerem que o P aumenta o requerimento de Zn na planta. Estes autores afirmam que na planta, existe uma interação fisiológica entre o P e o Zn. Por exemplo, com o aumento do teor de P na matéria seca da parte aérea de planta os sintomas de deficiência de Zn tornaram-se mais severos, embora o teor de Zn não tenha decrescido (MARSCHNER, 1995). Entretanto, a disponibilidade fisiológica de Zn é diminuída como indicado pela menor proporção de Zn solúvel em água (MARSCHNER, 1993). Portanto, altos conteúdos de P na parte aérea deve decrescer a solubilidade e a mobilidade de Zn dentro da célula e no transporte a longa distância para o ápice da parte aérea (MARSCHNER, 1995). CAKMAK e MARSCHNER (1986) mostraram que a deficiência de Zn promove mudança na razão de absorção cátion:ânion, favorecendo a absorção dos cátions, além de aumentar a exsudação de ácidos orgânicos das células da raiz para a rizosfera. Como consequência da maior absorção de cátions, o pH interno da célula aumenta (DWIVEDI et al. 1975), havendo um retardamento na produção de ácidos orgânicos, que prejudicam o balanceamento do pH interno e isto, provavelmente seja a causa da menor translocação de Zn (complexo organo-Zn) para a parte aérea.

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de avaliar a resposta do café (*Coffea arabica* L.) à adição de Zn no solo e determinar os níveis críticos no solo e na planta, em relação à diferentes corretivos da acidez e à localização de P, em amostras de três solos de Minas Gerais, realizou-se um ensaio em casa de vegetação, cultivando-se duas plantas de café por unidade experimental.

Foram utilizadas amostras de um Latossolo Vermelho textura argilosa procedente do município de São Sebastião do Paraíso (SSP) e de dois Latossolos Vermelho Amarelo, um procedente do município de Patrocínio (PAT) de textura média e um do município de Lavras (LAV) de textura franco arenosa. O ensaio consistiu em um fatorial (3 x 2 x 3 x 6), correspondendo a três solos (SSP, PAT, LAV); dois corretivos da acidez, sendo um deles a mistura de carbonatos de cálcio e magnésio e o outro preparado, misturando-se 50 % de carbonatos e 50 % de sais neutros (sulfatos, nitratos e cloretos), de cálcio e de magnésio; três formas de localização de P (5, 10 e 30 % do volume total do solo na dose de 200 mg/dm<sup>3</sup>); e seis doses de Zn (0, 5, 10, 20, 40 e 80 mg/dm<sup>3</sup> para os solos SSP e PAT e 0, 3, 6, 12, 24 e 48 mg/dm<sup>3</sup> para o solo LAV). O café foi cultivado durante 14 meses, efetuando-se amostragem do solo antes e após o cultivo. Determinou-se a produção de matéria seca da parte aérea e os teores de zinco e outros nutrientes nas folhas das plantas de café.

Os corretivos influenciaram a disponibilidade de Zn no solo, sendo que para o Mehlich-1 obtiveram-se maiores valores de Zn do que para Mehlich-3 e DTPA.

Houve tendência para maior nível crítico no solo, quando a correção foi feita com mistura de carbonatos em comparação à mistura de carbonatos e sais neutros.

Para os solos PAT e LAV, as folhas apresentaram maior teor de Zn do que as plantas cultivadas no solo SSP. Os corretivos de acidez influenciaram a concentração de Zn nas plantas nos solos SSP e LAV. A maior localização de P no solo levou a menores teores de Zn nas folhas em todos os solos. Considerando a localização de P no solo, observou-se que a localização em menor volume de solo, levou a um maior conteúdo de Zn na parte aérea das plantas. O conteúdo de Zn na parte aérea das plantas apresentou resposta linear e curvilínea às doses de Zn adicionadas ao solo.

Observou-se que a localização de P alterou os níveis críticos no solo. No solo SSP, os maiores níveis críticos foram obtidos na localização de P em 10 % do volume de solo. No PAT, a localização em 30 % promoveu maiores níveis críticos no solo. No solo LAV, os maiores níveis críticos foram observados na localização de P em 5 % do volume de solo. O Mehlich-1 apresentou maior variabilidade entre solos quanto à extração de Zn. As correlações entre as declividades das equações do Zn recuperado em função das doses de Zn adicionadas ao solo deste extrator com características que representam a capacidade tampão do solo para a condição de não aplicação de Zn foram significativas, mas menores que as obtidas com o extrator Mehlich-3.

O conteúdo de Zn na parte aérea das plantas apresentou alta correlação com os teores obtidos com os extratores utilizados. Isto não se verificou para o teor de Zn e a produção de matéria seca da parte aérea das plantas. Observou-se que os coeficientes de correlação linear simples entre os teores obtidos pelos extratores são altos e significativos, sugerindo uma capacidade preditiva semelhante com relação ao Zn disponível.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGBENIN, J.O. Phosphate-induced zinc retention in a tropical semi-arid soil. *European J. of Soil Sci.*, 49:693-700, 1998.
- AHUMADA, T.I.; BUSTAMANTE, A. & SCHALSCHA, E.N. Zinc speciation in phosphate-affected soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 28:989-995, 1997.
- ALVAREZ V., V.H. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois Latossolos de Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1974. 125 p. (Tese de Mestrado)
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *Bol. Inf. SBCS*, 25:27-34, 2000.
- ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5º Aproximação. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 43-60.
- BAHIA, F.G.F.T.C. Absorção de zinco em relação à adubação fosfatada e à calagem em dois solos de Minas Gerais. Viçosa, UFV, 1982. 38p. (Tese de Mestrado)
- BAR-YOSEF, B. pH-dependent zinc adsorption by soils. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 43:1095-1099, 1979.
- BATAGLIA, O.C. & RAIJ, B. van. Soluções extratoras na avaliação da fitodisponibilidade do zinco em solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 18: 457-461, 1994.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *R. Ceres*, 21: 73-85, 1974.
- BOAWN, L.C. & BROWN, J.C. Further evidence for a P-Zn imbalance in plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32:94-97, 1968.
- CAKMAK, I. & MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. I. Zinc deficiency-enhanced uptake rate of phosphorus. *Physiol. Plant.*, 68: 483-490, 1987.
- CAKMAK, I. & MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. *Physiol. Plant.*, 70: 13-20, 1987.
- CAMARGO, O.A. Micronutrientes na Agricultura. Piracicaba, POTAFOS, 1991. 244p.
- CASTILHOS, D.D. & ANGHINONI, I. Eficiência na absorção e disponibilidade de fósforo pelo milho em relação ao método de aplicação do fertilizante ao solo. *Agron. Sulriogr.*, 19: 43-55, 1983.
- COUTO, C. Resposta do eucalipto e do milho à aplicação de zinco em amostras de solos de cerrado. Viçosa, UFV, 1985. 70 p. (Tese de Mestrado)
- COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; TEIXEIRA, J.L.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de zinco no solo e na planta para o crescimento de milho em amostras de solos com diferentes valores do fator capacidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 16: 79-88, 1992.

- CUNHA, R.C.A. Retenção e movimento de zinco em solos do estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ, 1989. 115p. (Tese de Mestrado)
- DWIVEDI, R.S.; RANDHAWA, N.S. & BANSAL, R.L. Phosphorus-zinc interaction. I: Sites of immobilization of zinc in maize at a high level of phosphorus. *Pl. Soil*, 43:639-48, 1975.
- ELGABALY, M.M. Mechanism of zinc adsorption by colloidal clays and related minerals. *Soil Sci.*, 69: 167-173, 1950.
- ELLIS, B.G. & KNEZEK, B.D. Adsorption reactions of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J., GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. *Micronutrients in Agriculture*. Soil Sci. Soc. Amer., 1972. p. 59-78.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de Métodos de análises de solos. Rio de Janeiro. 1997. 212p.
- FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P., eds. *Micronutrientes na agricultura*. POTAFOS/CNPq, 1991. 734 p. (Anais do I Simpósio sobre Micronutrientes na Agricultura).
- GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B.; LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D. & MONTEIRO, A.V.C. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5º Aproximação*. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.
- HALDAR, M. & MANDAL, L.N. Effect of phosphorus and zinc on the growth and phosphorus, zinc, copper, iron and manganese nutrition of rice. *Pl. Soil*, 59: 415-425, 1981.
- HAMILTON, M.A.; WESTERMANN, D.T. & JAMES, D.W. Factors affecting zinc uptake in cropping system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:1310-1315, 1993.
- IYENGAR, S.S.; MARTENS, D.C. & MILLER, W.P. Distribution and plant availability of soil zinc fraction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45: 735-739, 1981.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis*. New Jersey, Prentice-Hall, 1958. 498p.
- KALBASI, M.; RACZ, G.J. & LOEWEN RUDGERES, L.A. Mechanisms of zinc adsorption by iron and aluminum oxides. *Soil Sci.*, 125: 146-150, 1978.
- KUMARI, K.; SINGH, R.P. & SAXENA, S.K. Effect of different factors on the movement of copper and zinc in soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 36: 346-348, 1988.
- LINDSAY, W.L. & NORVELL, W.A. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:421-428, 1978.
- LINDSAY, W.L. *Chemical equilibria in soils*. New York, John Wiley Sons, 1979. 449 p.
- LINDSAY, W.L. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J., COX, F.R.; SHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., eds. *Micronutrients in agriculture*. Soil Sci. Soc. Am., 1991. p. 94-112.
- LONERAGAN, J.F.; GROVE, T.S.; ROBSON, A.D. & SNOWBALL, K. Phosphorus toxicity is a factor in zinc-phosphorus interaction in plants. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 43: 966-972, 1979.



- LONERAGAN, J.F. & WEBB, M.J. Interactions between zinc and other nutrients affecting the growth of plants. In: ROBSON, A.D., ed. Zinc in soils and plants. Kluwe Academic Publishers, 1993. p. 119-134.
- MAGUIRE, M.; SLAVECK, J.; VIMPANY, I.; HIGGINSON, F.R. & PICKERING, W.F. Influence of pH on copper and zinc uptake by soil clays. *Austr. J. Soil Res.*, 19: 217-229, 1981.
- MANDAL, L.N. & MANDAL, B. Transformation of zinc fractions in rice soils. *Soil Sci.*, 143: 205-212, 1986.
- MARSCNER, H. Zinc uptake from soils. In: ROBSON, A.D., ed. Proceedings of the international Symposium on "Zinc in Soils and Plants". Perth, Austrália, 1993. p. 59-61.
- MARCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. London, Academic Press, 1995. 889 p.
- MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractants. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.*, 15: 1409-1416, 1984.
- MORAGHAN, T.J. & MASCAGNI, H.J.R. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J.J., COX, F.R., XHUMAN, L.M. & WELCH, R.M., ed. Micronutrients in agriculture. 2. ed. Soil Sci. Soc. Amer., 1991. p. 371 – 427.
- MUNER, L.H. de; Disponibilidade de zinco para milho em resposta à correção da acidez e à localização de fósforo no solo. Viçosa, UFV, 1996. 102p. (Tese de Mestrado).
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa-MG: UFV, DPS, 1999. 399p.
- OKASAKI, K.R.; TAKAMIDOH, K. & YAMANE, I. Adsorption of heavy metal cations on hydrated oxides and oxides of iron and aluminium with different crystallinities. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 32: 523-533, 1986.
- OLIVEIRA, M.F.G.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; ALVES, V.M.C. & VASCONCELLOS, C.A. Fluxo difusivo de Zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:609-615, 1999.
- OLIVEIRA, M.F.G.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; ALVES, V.M.C. & VASCONCELLOS, C.A. Relação entre o Zinco disponível por diferentes extratores e, as frações de zinco em amostras de solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:827-836, 1999.
- PINTON, R.; ÇAKMAK, I. & MARSCHNER, H. Effect of zinc deficiency on proton fluxes in plasma membrane-enriched vesicles isolated from bean roots. *J. Exp. Bot.* 44: 623-630, 1993.
- POMBO, L.C.A. & KLAMT, E. Adsorção de zinco e cobre de dois solos do estado do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 10:191-194, 1986.
- PRENZEL, J. Mass flow to the root system and mineral uptake of a beech stand calculated from 3-year field data. *Pl. Soil*, 51: 39-49, 1979.

- RUIZ, H.A. Efeito do pH do solo em relação à disponibilidade de micronutrientes para as plantas. R. Cult., 14: 91-98, 1989.
- RUIZ, H.A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & FERREIRA, P.A. Efeito do conteúdo de água sobre os níveis críticos de fósforo em dois latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 12: 43-48, 1988.
- SHARMA, K.N. & DEB, D.L. Calibration for zinc requirements of wheat based on diffusive flux equations. J. Nuclear Agric. Biol., 16: 55-64, 1987.
- SHARMA, K.N. & DEB, D.L. Diffusion of zinc as affected by graded levels of zinc addition in soils of varying texture. J. Indian Soc. Soil Sci., 36: 30-34, 1988.
- SHARMA, K.N. & DEB, D.L. Effect of organic manuring on zinc diffusion in soils of varying texture. J. Indian Soc. Soil Sci., 36: 219-224, 1988.
- SHARMA, K.N. & DEB, D.L. Effect of soil moisture tension and soil compaction on self diffusion coefficient of zinc in soils of varying texture. J. Nuclear Agric. Biol., 13: 118-120, 1984.
- SHUMAN, L.M. Effect of ionic strength and anions on zinc adsorption by two soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 50: 1434-1442, 1986.
- SIMS, J.T. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper and zinc. Soil Sci. Soc. Am. J., 50:367-373, 1986.
- STREBEL, O. & DUYNISVIELD, W.H.M. Nitrogen supply to cereals and sugar beet by mass flow and diffusion on silty loam soil. Z. Pflanzenernähr, 152: 135-141, 1989.
- TAGWIRA, F.; PIHA, H. & MUGWIRA, L. Zinc studies in Zimbabwean soil: effects of pH and phosphorus on Zn absorption by two Zimbabwean soils. Commun. Soil Sci. Plant. Anal., 24: 701-716, 1993.
- TAM, K.H. Principles of soil chemistry. New York: Marcel Dekker, 1992. 362 p.
- TISLADE, S.L.; NELSON, W.L. & BEATON, J.D. Soil fertility and fertilizers. New York: MacMillan, 1985. 754 p.
- TRAN, T.S. & SIMARD, R.R. Mehlich III – Extractable elements. In: CARTER, M.R., ed. Soil Sampling and methods of analysis. Can. Soc. of Soil Sci., 1993. p. 43-47.
- VIDIGAL FILHO, P.S. Efeito de *Glomus etunicatum* Bercker & Gerdemann, calagem, superfosfato triplo e níveis de zinco em mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). Viçosa, UFV, 1994. 95p. (Tese de Doutorado)
- WAGAR, B.I.; STEWART, J.W.B. & HENRY, J.L. Comparison of single large broadcast and small annual seed-placed phosphorus treatments on yield and phosphorus and zinc contents of wheat on chernozemic soils. Can. J. Soil. Sci., 66:237-248, 1986.
- WEAR, J.I. Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. Soil Sci., 81:311-315, 1956.
- WEBB, M.J. & LONERAGAN, J.F. Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration, and phosphorus toxicity of wheat plants. Soil Sci. Soc. Amer. J., 52: 1676-1680. 1988.

- WELCH, R.M.; WEBB, M.J. & LONERAGAN, J.F. Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity. In: SACIFE, A. (ed). Proceedings of the mints international plant nutrition colloquium. Farnham Royal: Commonwealth Bureaux, 1982. p. 710-715.
- WU, X.; ASSEN, I. & SELMER-OLSEN, A.R. A study of extraction methods for assessing soil zinc availability: I. Soil zinc extractability and soil zinc buffering capacity in relation to soil properties. *Nor. J. Agric. Sci.*, 5:89-107, 1991.
- ZHU, B. & ALVA, A.K. The chemical forms of Zn and Cu extractable by Mehlich-1, Mehlich-3, and ammonium bicarbonate – DTPA-TEA extractors. *Soil Sci.*, 156:251-258, 1993.