

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFICIÊNCIA DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO BIOLÓGICO DO
BRANQUEAMENTO DE ARGILA COMO QUELATIZANTE DE ZINCO
NA ADUBAÇÃO FOLIAR DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.)**

ROSANA CAVALCANTE DOS SANTOS
Eng^a. Agrônoma - Ms

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia - Área de
Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Junho– 2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFICIENCIA DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO BIOLÓGICO DE
BRANQUEAMENTO DE ARGILA COMO QUELATIZANTE DE ZINCO
NA ADUBAÇÃO FOLIAR DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.)**

ROSANA CAVALCANTE DOS SANTOS
Eng^a. Agrônoma - Ms.

Orientador: Prof. Dr. Ademércio Antonio Paccola

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia – Área de
Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Junho– 2003

BIOGRAFIA DO AUTOR

ROSANA CAVALCANTE DOS SANTOS, filha de Romeu Graça dos Santos e Iêda Cavalcante dos Santos, nasceu em Rio Branco, Estado do Acre, no dia 04 de abril de 1972.

Em 1990, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Acre – UFAC, concluindo-o em 1995.

Em junho de 1995, ingressou na Secretaria de Desenvolvimento Agrário, do Estado do Acre.

Em 1996, atuou no Instituto de Meio Ambiente do Acre (IMAC), órgão ligado a Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Estado do Acre, junto aos departamentos de Impacto Ambiental e Educação Ambiental.

De fevereiro a dezembro de 1997 participou do Curso de Especialização “*strictu sensu*”, na área de Engenharia em Saúde Pública e Ambiental, oferecido pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo -USP.

Em 1998, iniciou o curso de pós-graduação (Mestrado) em Agronomia, Área de concentração Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrária, Universidade Estadual Paulista – UNESP, concluindo-o em 2000, em fevereiro do mesmo ano, iniciou o Curso de pós-graduação (Doutorado), Área de concentração Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrária, Universidade Estadual Paulista – UNESP, concluindo-o em 2003.

Atualmente desenvolve suas atividades na Secretaria de Produção do Estado do Acre.

A DEUS

Que sempre esteve comigo, que me amparou, protegeu e me inspirou nesta luta que hoje se torna conquista.

AGRADEÇO

Aos meus amores Maria Clara, André e Amauri.

À minha mãe Iêda Cavalcante dos Santos.

DEDICO

A querida amiga Edinei Viana Costa Leite, anjo bom, que cuidou carinhosamente dos meus filhos, como se fossem seus.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Ao meu amigo e orientador professor Doutor Ademércio Antônio Paccola pelos ensinamentos durante o desenvolvimento deste trabalho, mais principalmente pela amizade que o tempo afirmou.

Aos Prof. Dr. Sérgio Hugo Benêz e Cleber Pereira Lanças pelo apoio e crédito na minha pessoa.

Ao Professor Dr. Antenor Pasqual pela amizade e atenção dispensada.

Ao Professor Edson Luiz Furtado pela amizade, conversas e sugestões mediante a este e outros trabalhos.

Ao Professor Dr. Silas Macedo da Silva pelo companherismo, sugestões e estímulos dados durante a execução desta pesquisa.

Ao professor José Raimundo de Souza Passos da Bioestatística pelo desprendimento e imprescindível ajuda na análise estatística.

Aos funcionários e professores do Departamento de Ciência Ambientais em nome do Prof. Dr. Francisco João Escobedo, Isaura Pessoa, Silvia Regina Garcia, Selma Miranda, Aparecido Pires de Campos e Valdomiro Rossi.

Aos professores e colegas do Departamento de Recursos Naturais pela amizade e disponibilidade.

Aos funcionários da Fazenda Lageado pelo auxílio indispensável. Em especial ao Mário, Marcos e Divino.

Aos professores e colegas do curso de pós graduação pela convivência e amizade.

Aos funcionários do Laboratório de Análises de Solos e Plantas pelo auxílio na execução das análises químicas sempre gentis e prestativos.

Aos funcionários da biblioteca e da seção de Pós-Graduação por toda a assistência.

As estagiárias Nancy de Souza Miura e Beatriz Maria Ferrari pela disponibilidade e auxílio na fase final dos experimentos.

Aos amigos que fiz e que jamais esquecerei, tornando destes os melhores anos da minha vida: Daniela, Ana, Ariane e Gilberto, Alessandra, Giseli e CD, Magali, Ilka, Fernando Colen e Keila, Ana Lia, Keila, Luiz Fernando e tantos outros que tornaram tão agradável a minha estada em Botucatu.

À Paula, Fernanda, Adriana e Fabiana pela ajuda na coleta dos experimentos e pelas vezes que cuidaram carinhosamente do André e da Maria Clara como “baby sitter”.

Aos cunhados e cunhadas pela acolhida e grande apoio nas horas difíceis.

À UNESP – LAGEADO através do Departamento de Recursos Naturais pela Oportunidade e crédito no meu trabalho.

Ao Estado do Acre pela liberação para estudo e suporte financeiro, em nome da Secretaria de Estado de Produção.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente, meu muito obrigado.

SUMÁRIO

	página
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	5
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1. Aproveitamento de resíduos na agricultura.....	7
4.2. Importância do zinco na adubação do cafeeiro.....	9
4.3. Disponibilização do zinco.....	12
4.3.1 Zinco no solo.....	12
4.3.2 Zinco na Planta.....	13
4.3.3 Fornecimento de zinco.....	16
4.4. Zinco quelatizado (complexado).....	18
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
5.1. Obtenção do resíduo biológico quelatizante.....	23
5.2. Produção Quelato Biológico (Bio).....	25
5.3. Experimento em casa de vegetação.....	26
5.3.1. Instalação do experimento.....	26
5.3.2. Tratamentos e delineamento experimental	27
5.3.3. Aplicação dos tratamentos e condução do experimento.....	29
5.3.4. Coleta de dados e avaliações.....	30
5.3.4.1. Biometria	31
5.3.4.2. Análise foliar.....	31
5.3.5. Análise estatística.....	32
5.4. Experimento de campo.....	33
5.4.1. Caracterização da área experimental.....	33
5.4.2. Tratamentos e Delineamento experimental.....	35
5.4.3. Aplicação dos tratamentos e condução do experimento.....	36
5.4.4. Coleta de dados e avaliações.....	37
5.4.5. Análise estatística.....	39

6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1.	Experimento em casa de vegetação.....	40
6.1.1.	Análise foliar.....	40
6.1.2.	Análise biométrica.....	45
6.2.	Experimento de campo.....	49
6.2.1.	Análise foliar	49
6.2.2.	Análise de solos.....	62
6.2.3.	Produtividade.....	63
7.	CONCLUSÕES.....	68
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
9.	APÊNDICE.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela	página
1. Concentrações de Fe, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg, Na, Cr, Pb, Hg , Mo, S, Al, Sn, V, Ni, Si, Cd, P, K, B, Co no resíduo biológico em mg L ⁻¹ determinados por Espectrometria de Emissão em Plasma de Argônio Induzido- ICP-AES.....	25
2. Análise químicas de folhas de cafeeiro para o experimento em casa de vegetação, antes da aplicação dos tratamentos.....	26
3. Características químicas de amostras de solo do experimento em casa de vegetação, antes da calagem.....	27
4. Tratamentos utilizados no experimento em casa de vegetação.....	28
5. Determinações analíticas do produto comercial Fertamim-café produzido pela Indústria Química Iharabras S.A.....	29
6. Determinações analíticas do produto comercial Dacafé produzido pela Indústria Química Stoller S. A.....	29
7. Análise químicas de folhas do cafeeiro, para o experimento de campo, antes da aplicação dos tratamentos.....	34
8. Características químicas de amostras de solo coletadas nas camadas de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento de campo.	34
9. Tratamentos utilizados no experimento em campo.....	36
10. Médias de teores foliares de macro e micronutrientes 30 dias, após a terceira aplicação dos tratamentos.....	41
11. Teor de zinco nas folhas do cafeeiro em mg Kg ⁻¹ coletadas 120 dias após a última aplicação dos tratamentos.....	43
12. Teor de cobre nas folhas do cafeeiro mg Kg ⁻¹ coletadas 120 dias após a última aplicação dos tratamentos.....	44
13. Teor de cálcio, boro, cobre, ferro e zinco nos grãos de café, em função da aplicação dos tratamentos.....	58
14. Teor de potássio, enxofre, boro, cobre, manganês e zinco em casca de grãos de café, em função da aplicação dos tratamentos.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura	página
1. Esquema de quelatização do zinco.....	19
2. Início do branqueamento biológico do caulim.....	24
3. Término do branqueamento biológico do caulim.....	24
4. Vista parcial do experimento em casa de vegetação.....	28
5. Vista parcial do experimento de campo.....	35
6. Comprimento de ramos, comprimento e largura de folhas aos 6 e 12 meses da aplicação dos tratamentos.....	46
7. Número de folhas e ramos de plantas de cafeeiro aos 6 e 12 meses da aplicação dos tratamentos.....	47
8. Área foliar de plantas de cafeeiro aos 6 e 12 meses da aplicação dos tratamentos.....	48
9. Análise do teor de nitrogênio, potássio e fósforo nas folhas de cafeeiro em $g\ Kg^{-1}$	50
10. Análise do teor de enxofre, magnésio e cálcio nas folhas de cafeeiro em $g\ Kg^{-1}$	52
11. Análise do teor de manganês, ferro, cobre e boro nas folhas de cafeeiro em $mg\ Kg^{-1}$	54
12. Análise do teor de zinco nas folhas de cafeeiro em $mg\ Kg^{-1}$	56
13. Comportamento de macro e micronutrientes no solo após a aplicação dos tratamentos.....	62
14. Produtividade média dos anos agrícolas 2000/2001 (antes da aplicação dos tratamentos) e 2001/2002 (após a aplicação dos tratamentos) em saca hectare.....	63
15. Traslocação de zinco para os fruto em função da produção por hectare....	66

1. RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do resíduo obtido a partir do processo de branqueamento biológico do caulim, utilizado como quelatizante de zinco, na adubação foliar do cafeeiro (*Coffea arabica* L. variedade “Catuaí Vermelho”). Para que fossem alcançados os objetivos propostos foram realizados 2 experimentos: um em casa de vegetação com mudas de cafeeiro e outro, no campo, com cafeeiros em produção.

O experimento em casa de vegetação foi desenvolvido no Departamento de Recursos Naturais na Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP) em Botucatu - SP no período de janeiro de 2001 a agosto de 2002. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 10 tratamentos e 5 repetições, constituídas por 2 plantas/vaso, totalizando 100 plantas. Os tratamentos constaram da aplicação do resíduo biológico quelatizante (Bio) em 4 concentrações crescente de zinco com nível constante de boro, manganês, cobre e molibdênio, comparados com resíduo biológico quelatizante mais sulfato de zinco sem a adição dos demais micronutrientes; resíduo biológico quelatizante puro; sulfato de zinco em água, sem micronutrientes; dois produtos comerciais (Fertamim e Dacafé) e testemunha (água). Os dados utilizados para as análises estatísticas foram: a) biometria das plantas (tamanho dos ramos, número de folhas, número de ramos, área foliar, comprimento e largura de folhas e altura das plantas) e b) análise química das folhas (macro e micronutrientes).

O experimento de campo foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado, pertencente a Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP. Conduzido, durante 2 anos, em uma lavoura cafeeira (*Coffea arabica* L. var. Catuaí Vermelho) com 10 anos de idade em espaçamento de $4,0 \times 1,5$ m. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados com 11 tratamentos e 4 repetições, sendo a parcela constituída de 10 plantas na mesma linha de plantio. Os tratamentos constaram da aplicação do resíduo biológico quelatizante (Bio) em 6 concentrações crescente de zinco com nível constante de boro, manganês, cobre e molibdênio, comparados com resíduo biológico quelatizante mais sulfato de zinco sem a adição dos demais micronutrientes; sulfato de zinco em água, sem micronutrientes; dois produtos comerciais (Fertamim e Dacafé) e testemunha (água). As pulverizações em três aplicações foram realizadas nos meses de outubro, dezembro e fevereiro. Os dados utilizados para as análises estatísticas foram: análise química das folhas, solo, grãos, cascas e resultado de produtividade.

As variáveis estudadas, em uma única época, foram submetidas ao teste de comparações múltiplas (Tukey 5% de probabilidade). Para variáveis determinadas em diferentes épocas, utilizou-se o modelo estatístico de parcelas subdivididas no tempo ("Split-Plot in time").

As pulverizações foliares do quelatizante biológico nas concentrações de zinco estudadas, resultaram em teores crescentes de zinco, nas folhas do cafeeiro, apresentando maior estabilidade até 120 dias para o experimento em casa de vegetação e 60 dias para o experimento de campo. A adição de micronutrientes balanceados (Zn, B, Cu, Fe e Mn) ao quelatizante biológico, além melhorar o equilíbrio nutricional das plantas proporcionou efeito sinérgico, diminuindo a incompatibilidade de absorção para alguns nutrientes com reflexos na produtividade e maior translocação de zinco para os frutos. Não foi verificado efeito fitotóxico do quelato biológico em qualquer das concentrações propostas.

EFFICIENCY OF THE BIOLOGICAL RESIDUE OF THE CLAY BLEACHING AS CHELATED OF ZINC IN THE MANURING TO FOLIATE OF THE CAFFEE PLANTS (*Coffea arabica* L.). Botucatu, 2003. 84f. Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ROSANA CAVALCANTE DOS SANTOS

Adviser: ADEMÉRCIO ANTONIO PACCOLA

2. SUMMARY

The present work had the objective evaluates to efficiency of the residue obtained starting from the process of biological bleaching of the kaolin used as chelate of zinc in the manuring to foliate of the coffee plants (*Coffea Arabica* L. variety " Red Catuaí). Two experiments were accomplished: one with coffee plants seedlings green house, and another one, with coffee plants in yield

The greenhouse experiment was developed in the Department of Natural Resources in University of Agronomic Sciences of the From São Paulo State University (FCA/UNESP) in Botucatu - SP in the period of January of 2001 to August of 2002. The experimental delineament was casualized entirely, with 10 treatments and 5 repetitions, constituted by with 2 plants in each vase, totaling 100 plants. The treatments consisted of the application of the residue biological quelatizante (Bio) in 4 concentrations growing of zinc with constant level of boron, manganese, copper and molybdenum, compared to chelated biological residue zinc sulfate and without the addition of the other micronutrientes; pure chelated biological residue; zinc sulfate without micronutrientes in water; two commercial products (Fertamim and Dacafé) and testifies (water). The data used for the statistical analyses were: a) biometry of the plants (branches size, number of leaves, number of branches, foliate area, length and width of leaves and height of the plants); b) chemical analysis of the leaves (macro and micronutrientes).

The yield experiment was realized in Experimental Finance Lageado, belongs Agronomic Science Faculty/UNESP - Botucatu for 2 years, in a coffee cafeeira

farming (*Coffea arabica* L. var. Red Catuaí) with 10 years old spaced 4,0 x 1,5 m. the experimental delineament was casualized blocks with 11 treatments and 4 repetitions. The constituted portion was 10 plants in the same planting line. The treatments consisted of the application of the residue biological quelatizante (Bio) in 6 zinc growing concentrations with boron, manganese, copper and molybdenum constant level, compared with chelated biological residue added of zinc sulfate, and without the other micronutrientes; zinc sulfate without others micronutrientes; two commercial products (Fertamim and Dacafé) and a testifies (water) The foliar sprays were done in three applications were accomplished in October, December and February. The data used for the statistical analyses they were: chemical analysis of the leaves, soil, grains, peels and productivity result.

The studied variables, in an only time, they were submitted to the test of multiple comparisons (Tukey 5% of probability). For certain variables in different times, the statistical model of portions was used subdivided in the time (" Split-Plot in time ").

The foliar sprays with biological chelated with growing concentrations of zinc, resulted in a proportional increase in the tenor of zinc in the coffee leaves. They present larger stability of the tenors foliate zinc to 120 days for the greenhouse experiment and 60 days for the yield experiment. The addition of balanced micronutrientes (Zn, B, Cu, Fe, Mn and Mo) to the biological chelate, beyond to improve the balance nutricional of the plants. They decreased the absorption incompatibility of some nutrients and conduct to a larger production and translocation of zinc for the grains. Toxicant effect of the biological chelate was not verified in any of the proposed concentrations.

Keywords: Zinc chelate, biological residue, *Coffea arabica*.

3. INTRODUÇÃO

Desde o início de nossa civilização o ar, o solo e os cursos d'água foram usados como forma natural de descarte dos resíduos gerados pela atividade humana. A preocupação atual com o volume e destino desses resíduos tem origem na conscientização de que não se pode continuar considerando a natureza como fonte inesgotável de recursos que o homem necessita para viver, como sítio para descarte indiscriminado de seus resíduos e sobretudo da conscientização de que o nosso meio tem uma capacidade específica, limitada para a depuração do que lhe é adicionado. Existem, atualmente, vários métodos de descartes de resíduos, porém estes não são considerados suficientes para acomodar uma crescente quantidade de resíduos produzidos, e o uso, as vezes indiscriminado, dessas soluções ou complicações de seu mecanismo, podem levar à situações críticas de deterioração do ambiente, trazendo conseqüências indesejáveis, como a poluição das reservas hídricas e do solo, comprometendo o seu uso futuro.

Uma forma de minimizar o problema do descarte de resíduo é a sua reciclagem, mediante uma análise abrangente de suas características, potencial de uso e conseqüência desse uso, e nesse aspecto surge como alternativa a reciclagem do resíduo através de seu uso agrônômico.

Neste contexto é importante salientar que o aproveitamento de resíduos deve ser conduzido no sentido de não só eliminar a sua nocividade, mas também tornar útil o seu uso, quer como fonte de nutrientes para as culturas, ou como condicionador

do solo. Nesses casos é possível que o resíduo se torne um subproduto, passando a ter um valor comercial.

A produtividade agrícola, entre outros fatores, está diretamente relacionada com a fertilidade do solo e esta, por sua vez, depende de vários fatores tais como: capacidade de troca catiônica, matéria orgânica, disponibilidade de fósforo entre outras. A quantidade e qualidade dos nutrientes necessários ao bom desenvolvimento das plantas quer pela ação natural quer pela ação do homem, nem sempre estão disponíveis para a planta, sendo necessária a utilização de corretivos e fertilizantes.

Recentemente os adubos quelatizados vêm se destacando no mercado de fertilizantes por apresentarem um alto índice de eficiência de absorção e produtividade agrícola especialmente em relação aos micronutrientes. É importante salientar que o Brasil é um país de enorme potencial agrícola e com baixa produção interna de fertilizantes e depende da importação de grande quantidade de insumos.

O resíduo do branqueamento de argilas obtido, via ação microbiológica pode se tornar um quelatizante com grande potencial de uso agrícola. Na obtenção do resíduo biológico quelatizante foram utilizados processos químicos não poluentes que demandam instalações e sistemas de controle ambiental eficientes e pouco dispendiosos. Trata-se de uma tecnologia branda, não poluente, não impactante e extremamente barata (SANTOS et al., 2000a, SILVA et al., 2002a).

O café é um dos principais produtos na pauta das exportações brasileiras, sendo grande fornecedor de receitas cambiais e gerador de empregos o que lhe imprime importante função social. Esta cultura ao longo de sua vida útil apresenta alta sensibilidade a desequilíbrios nutricionais (macro e micronutrientes) que dificultam a obtenção de produtividades economicamente viáveis. Dentre os principais micronutrientes indispensáveis a cultura do cafeeiro destaca-se o zinco (Zn) importante ativador enzimático, precursor hormonal e envolvido na síntese de aminoácidos.

Sendo assim o presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade e a eficiência da aplicação do resíduo obtido a partir do branqueamento biológico do caulim, como alternativa quelatizante de zinco para a adubação foliar do cafeeiro (*Coffea arabica* L.).

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Aproveitamento de resíduos na agricultura

Todo processo industrial visa transformar uma ou várias matérias primas em produtos. Entretanto, além dos produtos de geração intencional, outros subprodutos são normalmente gerados: alguns com valor comercial variável podem ressarcir os custos de sua manipulação e transportes, outros, entretanto, sem qualquer valor comercial imediato, não podem ser indefinidamente acumulados no local e sua remoção passa a constituir um ônus à indústria. Portanto, a esses resíduos industriais de natureza sólida, líquida ou gasosa ou alguma outra forma é necessário dar-se um destino. A solução mais cômoda e de menor custo, é descartá-lo irresponsavelmente no ambiente (solo, rios, mar e ar), ocasionando a poluição ambiental. O problema agrava-se porque as indústrias em função da mão-de-obra localizam-se em regiões de elevada densidade demográfica, já sobrecarregadas por despejos de esgoto sanitário e lixo urbano (EIRA, 1999).

Os impactos da poluição ambiental dependem da carga do poluente, isto é, da quantidade e tipos de resíduos, e da capacidade de autodepuração do ambiente em que são descartados. Neste particular, os resíduos podem ser de natureza biodegradável ou não. Quando tóxicos, além dos impactos mais alarmantes, que levam à mudanças da fauna, flora e microbiota, outros efeitos impactantes, embora não evidenciados de imediato, podem ocorrer pela transferência de metais pesados às cadeias tróficas. Esta transferência pode causar danos aos ciclos reprodutivos de espécies, quebra de ligações ou interações na cadeia trófica,

mutações, além de atingir o homem no topo dessa cadeia e causar desequilíbrios biológicos de conseqüências imprevisíveis (BLAZEJ & PRIVAROVA, 1991).

Segundo Matiazzo-Prezotto (1992), para minimizar os efeitos das cargas poluidoras, podem ser empregados vários processos que podem ser: recuperação ou utilização dos resíduos no processo industrial, modificação do processo industrial para diminuir ou eliminar os resíduos, transporte e armazenagem para locais “adequados” (lançamento submarino, injeção em poços profundos, aterros etc.) e, tratamento dos resíduos.

De acordo com Glória (1992), a utilização agrônômica de resíduos pressupõe um número bem diverso de aplicações entre os quais: alimentação animal, substrato para fermentações, fabricação de fertilizantes orgânicos ou organo-minerais entre outras. O uso de resíduos agroindustriais atuando como fonte de nutrientes para as culturas e como condicionador do solo, vem sendo uma prática cada vez mais constante na agricultura brasileira. Neste contexto, os resíduos são tidos atualmente como potencial energético e passíveis de uso em muitos processos agrícolas e agro-industriais (ABAG, 1993).

Inúmeros são os exemplos bem sucedidos da utilização de resíduos na agricultura, é o caso dos resíduos produzidos pela agroindústria sucro-alcooleira. Demattê (1992), relatou que as unidades produtoras de açúcar e álcool geram uma série de subprodutos entre eles a vinhaça, a torta de filtro, o bagaço, as cinzas de caldeira e a fuligem, sendo que alguns podem voltar para a lavoura na forma de fertilizantes e se, adequadamente usados no solo, tenderão a melhorá-lo com aumento da produtividade.

Santos & Akiba (1996), trabalhando com adubo foliar orgânico, obtido a partir da fermentação de esterco bovino, comprovaram a importância deste biofertilizante na melhoria da qualidade e fertilidade do solo, podendo ser considerado uma boa fonte recuperadora de solos fracos e depauperados, com considerável concentração de macro e micronutrientes. Os autores ressaltaram também, a importância do biofertilizante quanto a estimulação da proteossíntese, com conseqüente aumento da resistência às fitomoléstias, inclusive as de causa virótica, bem como efeito inibidor no desenvolvimento de fitopatógenos.

Com o objetivo de inserir práticas naturais no processo produtivo de pomares, cafezais, hortas, floricultura e pastagens, vem sendo desenvolvidos vários fertilizantes orgânicos no intuito de oferecer sustentabilidade ao agricultor, realizando o processo cíclico de nutrição e proteção vegetal. Como exemplo a isto pode-se citar Santos &

Pacolla (2000b), que trabalhando com um biofertilizante obtido a partir do resíduo biológico do branqueamento de argilas, provou ser este um quelatizante orgânico de alta eficiência na absorção de macro e micronutrientes para nutrição de plantas de feijoeiro.

Do exposto, é importante considerar que a utilização dos resíduos, a par de seus eventuais benefícios, deve ser cuidadosamente examinado, face a variabilidade da sua composição química e de seus efeitos, aliado a uma série de cuidados quanto aos preceitos legais e aspectos sociais que geralmente envolvem o seu uso.

4.2 Importância do zinco na adubação do cafeeiro

A cafeicultura, ainda ocupa um espaço essencial no mercado internacional, sendo que, a produção de alguns países serve de suporte para o abastecimento mundial. O Brasil é o maior produtor de café do mundo e o segundo maior consumidor, constituindo a atividade cafeeira uma importante atividade agrícola geradora de emprego, renda e fixadora de mão-de-obra no meio rural. O café representa mais da metade da receita cambial para 30% dos países exportadores, para os 70% restantes, o produto contribui com 25% do valor total das exportações (CAIXETA, 1997).

Para atender ao mercado internacional, o Brasil exporta em média 18 milhões de sacas beneficiadas por ano e o consumo interno corresponde a aproximadamente 10 milhões de sacas beneficiadas por ano (saca de 60 Kg). A produtividade média do país é de 10 sacas beneficiadas por hectare (Anuário..., 2001), que é influenciado, segundo Matiello, (1986) por fatores econômico conjunturais, climáticos e manejo da cultura, como: condições físicas e químicas do solo, sistema de cultivo, cultivares, espaçamento, manejo, ventos, irrigação, controle de pragas e doenças e principalmente adubação e calagem.

De acordo com Malta (2000), os cafezais brasileiros, até fins da década de 1960, eram implantados em áreas recém desmatadas, com solos de média à alta fertilidade. Com restrições à utilização de muitas dessas áreas, além do cultivo destas com outras culturas, como a soja, cana-de-açúcar etc., e a necessidade de melhores topografias para a mecanização, o cultivo cafeeiro se expandiu para solos menos férteis, o que contribuiu para o surgimento de deficiências nutricionais.

O emprego de micronutrientes na agricultura é relativamente recente porque as deficiências dos mesmos nas culturas foram negligenciadas por muito tempo. Silveira (1975) enumerou três fatores que podem explicar o baixo emprego de micronutrientes no Brasil: as pequenas quantidades de micronutrientes que as plantas necessitam; a presença geralmente em teores suficientes nos solos e o fato dos fertilizantes comumente usados conterem vários micronutrientes na sua formulação, embora as vezes em baixos teores.

De acordo com Lopes (1984), no Brasil, alguns aspectos justificam a preocupação atual no que diz respeito a problemas com micronutrientes: o advento de tecnologia moderna e intensificação de produções nos solos de alta fertilidade natural, levando à exaustão progressiva; a incorporação de solos com fertilidade marginal, no processo produtivo especialmente aqueles sob vegetação de cerrado, onde deficiências de micronutrientes (notadamente zinco) ocorrem já nos primeiros anos de cultivo; aumentos de produtividades nas culturas de exportação pelo cultivo de variedades com altos potenciais de produção e alta demanda de macronutrientes, levando conseqüentemente, a uma maior retirada de micronutrientes; o aumento da produção e uso de fertilizantes de alta concentração que contém menores quantidades de micronutrientes como impurezas e a modernização dos laboratórios de análise de solos e plantas, com utilização de equipamentos com maior sensibilidade na determinação de micronutrientes; uso crescente de calcário e adubos fosfatados, que contribuem para a insolubilização de vários micronutrientes.

O zinco é um dos micronutrientes mais importantes para a nutrição do cafeeiro. Este nutriente nas plantas está relacionado à estrutura e função de diversos processos enzimáticos como redução do nitrato, síntese de ácido indol acético (AIA), síntese de RNAses e proteínas (MALAVOLTA et al, 1997). Muitas das desordens fisiológicas atribuídas as deficiências de zinco estão associadas com alguma disfunção na atividade enzimática.

Rodrigues (1990) relatou que a participação mais importante do zinco nos processos metabólicos das plantas é ser componente de várias enzimas tais como desidrogenases, proteinases, peptidases, fosfohidrolases e carboxilases. Há também, o adendo da participação do zinco como componente da RNA-polimerase bem como constituinte dos ribossomos, sendo que para estes, o nutriente passa a ser essencial à sua integridade.

Quanto à sintomatologia de carência de zinco, a literatura pertinente é rica em detalhes. Em sua revisão, Silva (1979) relatou que a falta de zinco afeta diretamente o

crescimento do cafeeiro, inibe o alongamento dos entre-nós, resultando uma planta raquítica e pequena, nos casos graves o crescimento anual não passa de poucos centímetros. Os sintomas aparecem primeiro nas partes em crescimento, as folhas se deformam apresentando-se encarquilhadas, lanceoladas e muito pequenas. O tamanho reduzido das folhas e o seu agrupamento dão um aspecto típico denominado “roseta”. Estas folhas ficam coriáceas, quebradiças e pouco suculentas. O parênquima perde sua coloração, permanecendo as nervuras verdes formando uma rede sobre um fundo amarelado, em alguns casos permanece uma área verde em forma de cunha ao longo da nervura central. Em geral, devido ao pequeno desenvolvimento do parênquima, as nervuras ficam salientes sobre a lâmina foliar e as folhas um pouco deformadas e ásperas ao tato. Esta característica serve muito bem para distinguir a deficiência inicial de zinco daquela induzida por ferro.

Quando o cafeeiro continua crescendo com deficiência de zinco ocorre morte descendente de ramos (“die back”), formando um anelamento nos ramos e a sua morte em casos extremos. A influência também no vingamento floral, que é baixo, bem como no tamanho dos frutos que são pequenos e podem cair antes do amadurecimento. As partes do cafeeiro mais expostas à iluminação apresentam os sintomas de deficiência, com mais intensidade que as sombreadas. Há também relatos de diminuição na produção de matéria seca, queda de flores, atraso e diminuição na produção de frutos e sementes, e atraso na maturação de ambos (SACRAMENTO, 1998).

A deficiência de zinco na histologia e histoquímica de plantas, é revelada por colapso de vasos em folhas, compactação de parênquima lacunar, arranjo irregular de células apicais radiculares, diminuição das quantidades de clorofila e proteínas, além do aumento de amidas, aminoácidos, celulose, hemicelulose, cutina e lignina (RODRIGUES, 1990).

A concentração ótima de Zn, de acordo com as espécies, varia de 30 a 120 mg Kg⁻¹ na matéria seca das plantas. A deficiência deste nutriente está associada a teores menores que 20 mg Kg⁻¹ e a toxidez aos teores acima de 400 mg Kg⁻¹ (MALAVOLTA, 1980). É importante considerar que os sintomas de toxicidade são decorrentes de alterações em processos metabólicos vitais, mas não são comuns em condições de campo. No entanto podem ocorrer em áreas com grande disponibilidade de Zn, em plantas não tolerantes ao metal causando diminuição do sistema radicular e do tamanho das folhas, podendo quando em altos níveis, diminuir a absorção de fósforo e ferro (ADRIANO et al., 1971)

De acordo com Malavolta (1989), como regra geral, a intensidade dos sintomas diminui com a idade da planta, visto que os micronutrientes apresentam baixa mobilidade no floema. Ao contrário, a toxicidade acentua-se com a idade da folha o que, em parte, é provocada pela falta de mobilidade e acumulação nas partes das folhas em que a transpiração é mais acentuada.

4.3 Disponibilização do zinco

4.3.1 Zinco no solo

Dentre todos os micronutrientes o zinco é o mais estudado no Brasil. Conforme Dechen (1991a) a deficiência de zinco é muito comum nos solos brasileiros. Vários fatores determinam a sua carência. O primeiro fator é a pobreza natural de Zn no material de origem, o problema se agrava com os processos de formação dos solos, com elevação do pH, adubação fosfatada excessiva e remoção do nutriente pelas culturas (SACRAMENTO, 1998).

Franco (1982) esclareceu que a deficiência de Zn em cafeeiros não é devido apenas a sua falta no solo. Em solos argilosos, a indisponibilidade do mineral está relacionada também a adsorção pela argila ou complexos de outra natureza (orgânica e/ou mineral) impedindo assim, o cafeeiro de absorvê-lo. Em razão da forte fixação pela fração coloidal, a aplicação de zinco para correção de teores insatisfatórios no solo seria mais adequada no caso de solos arenosos.

No solo, o Zn pode ocorrer distribuído quimicamente de várias maneiras: na forma de íon ou complexo solúvel na solução do solo; como íon prontamente trocável e adsorvido às cargas negativas de origem orgânica ou inorgânica; e na forma de quelato como ligante orgânico ou organomineraes, ocluso em óxidos de ferro ou de alumínio e ligado à rede cristalina de minerais silicatados primários e secundários (SOUZA & FERREIRA, 1988).

O zinco não é muito abundante na natureza, sendo que seus teores totais nos solos variam entre 10 e 300 mg Kg⁻¹. Este elemento encontra-se nos solos, principalmente como óxidos, silicatos e carbonatos, numa quantidade total, na camada arável, de 220 kg/ha, sendo apenas 0,01 % solúvel, o que significa 22 g ha⁻¹ do elemento disponível

para as plantas (SOUZA & FERREIRA, 1988).

Segundo Oliveira et al., (1999) o fluxo difusivo (difusão) é a forma mais importante de movimento do Zn no solo, devido à baixa concentração deste nutriente na solução do solo. O coeficiente de difusão em solos calcários é ao redor de 50 vezes menor do que em solos ácidos. Contudo, quando solos ácido recebem calagem para elevar o pH a 7,0, o coeficiente de difusão é similar em todos os solos.

Raij (1991) comentou que em condições de pH elevado (pH = 6,0 a 11,0) o hidróxido de zinco insolúvel precipita em solução. Lopes & Carvalho (1988) salientaram que alguns solos quando recebem doses de corretivos para elevar o pH acima de 6,0 podem desenvolver sérias deficiências de zinco principalmente em solos arenosos. Forbes et al., (1976) verificaram que à valores de pH iguais a 5,9 apenas 11% do zinco adicionado era adsorvido, contra 61% quando o pH era elevado a 7,2. Para Shuman (1986), esta maior adsorção está relacionada às cargas elétricas dependentes do pH. Sposito (1982), explicou que, com a elevação do pH, o zinco é complexado por OH⁻ (zincatos) e mesmo a valores de pH menores que sua constante de estabilidade, metade da concentração de ZnOH⁺ é adsorvida.

Dechen (1991a) relatou uma interação positiva entre B-Zn no solo e comenta que quanto maior a saturação em potássio no solo, menor o efeito depressivo da relação P-Zn na planta, ou seja, o potássio elimina o efeito depressivo causado pelo aumento no teor de fósforo.

4.3.2 Zinco na Planta

A forma em que o zinco é absorvido pelas plantas não é bem conhecida, existindo entretanto, uma concordância de que a forma iônica Zn⁺⁺ é a predominante, podendo ocorrer também como íon quelato (DECHEN, 1991b).

Melo (1997) em sua revisão comentou que a velocidade de absorção foliar do Zn, considerando uma absorção de 50% do total, varia de 1 a 2 dias de acordo com a habilidade de absorção da planta estudada. Segundo Blanco (1970), a presença do cobre (Cu) ou do boro (B) reduzem em 50% a absorção de Zn aplicado às folhas do cafeeiro, sendo no caso do Cu um tipo de inibição competitiva e no caso do B, não competitiva.

Quando se utiliza zinco, via foliar em plantas, a fim de prevenir a deficiência em um estágio crítico do crescimento da planta, a sua absorção depende de processos de penetração do nutriente através da cutícula, da absorção pelas células foliares e do transporte via floema para drenos preferenciais. Em função disto, a absorção de Zn pelas folhas estará relacionado a vários fatores, como: características das folhas, particularmente das cutículas que as recobrem, as técnicas de pulverização, as condições climáticas, as características químicas da solução aplicada e, ainda do estado iônico interno da planta (RAMANI & KANNAN, 1985).

A cutícula pode afetar a absorção foliar não só do Zn, como também de outros nutrientes, pois apresenta a capacidade de reter, diferentemente, essas formas, fazendo com que o nutriente seja considerado absorvido, quando, na realidade, encontra-se retido na cutícula. Nesse sentido, Brune et al. (1994), estudando a compartimentalização de Zn em folhas primárias de cevada, verificaram que a adsorção de Zn na cutícula foi 100 vezes mais rápida que a absorção de Zn propriamente dita.

Alguns autores, no intuito de aumentar a absorção de Zn através da barreira de natureza lipídica da cutícula, sugerem a utilização, além de agentes adesivos, de outras substâncias como a uréia e o cloreto de potássio (BOARETO, 2002).

Malavolta (1980) afirma que a adição de KCl na mesma concentração que o sulfato de zinco proporcionou aumentos na absorção de Zn em cerca de cinco vezes, inclusive na presença de boro. Já Fávoro (1992), estudando os efeitos da adição da uréia e do cloreto de potássio na absorção do Zn pelas folhas do cafeeiro, verificou que o cloreto de potássio, ao contrário da uréia, aumentou a absorção foliar pelo cafeeiro, parecendo atuar tanto na penetração cuticular como na absorção celular propriamente dita. Em contrapartida, Rena et al. (1990), demonstraram que a uréia aplicada juntamente com o sulfato de zinco não influenciou de maneira efetiva o teor foliar e a translocação do zinco para as folhas mais velhas adjacentes. Cordeiro et al. (1990), concluíram que o efeito sinérgico do íon cloreto na absorção de Zn pelas folhas podem diminuir o antagonismo entre zinco e o cobre.

O transporte do Zn é um processo ainda muito discutido e vários autores citam o Zn como parcialmente móvel ou pouco móvel, fazendo com que os seus sintomas de carência apareçam nos órgãos mais novos (RODRIGUES et al., 1997). Fávoro et al. (1990) relataram que no campo, pulverizações com $ZnSO_4$ provocaram aumentos nos

teores foliares que estavam no terceiro par na época da pulverização, entretanto, o par foliar que nasceu após esta pulverização já apresentava teor de zinco deficiente em todos os tratamentos, confirmando a baixa mobilidade deste nutriente nas folhas do cafeeiro, associados ao acentuado efeito diluição do Zn nas folhas em expansão, as folhas do primeiro par, aos três dias após as pulverizações, apresentaram elevados teores de Zn, e esses teores com o crescimento das folhas e na ausência da retranslocação de Zn, caíram acentuadamente, atingindo aos 30 dias, teores deficientes. Estes autores comentaram ainda, que a pouca mobilidade do zinco aplicado às folhas de cafeeiro devem estar relacionadas ao pequeno transporte desse elemento no floema ou a forma na qual ele se encontra no tecido vegetal.

Pereira et al. (1963), estudaram a absorção e a transformação de moléculas orgânicas e elementos minerais no cafeeiro, utilizando material radioativo e concluíram que o zinco move-se no cafeeiro em menor proporção que em outras plantas.

Segundo Rodrigues et al. (1997), a atividade iônica livre no floema, de todos os micronutrientes metálicos catiônicos incluindo o Zn, deve ser excessivamente baixa, devido ao alto pH (>8) e ao alto teor de fósforo (cerca de 14mM). Sendo assim, esses nutrientes seriam precipitados como óxidos, hidróxidos e fosfatos, devendo, desta forma, apresentarem-se como complexo de metais na seiva do floema para se moverem livremente.

As diferentes espécies respondem diferentemente à translocação de Zn em relação ao seu estado nutricional. Franco (1997) constatou que o feijoeiro apresentou maior translocação de Zn em condições de nutrição inadequada indicando ser o aspecto nutricional um fator importante na maior ou menor translocação de Zn em feijoeiros, o que não ocorreu quando este mesmo autor aplicou Zn em folhas de cafeeiro.

Longnecker & Robson (1993), concluíram que em condições de baixo suprimento de zinco, pode ocorrer a remobilização de zinco das folhas velhas ou a acumulação de zinco é ativamente controlada, havendo acúmulo preferencial em tecidos em crescimento. Entretanto, com alto suprimento, o zinco nas folhas velhas é sempre maior do que nos pontos de crescimento. Huerta (1963), citou que na época da produção, os teores de nutrientes na folha do cafeeiro foram mais baixos devido à redistribuição das reservas das folhas até os frutos em crescimento.

A pesquisa limitada não permite uma conclusão clara sobre a remobilização de zinco. Sob condições de suprimento normal de zinco, apenas uma pequena

porção desse elemento pode ser retranslocada no floema. O mecanismo de remobilização limitada pode ser atribuído à alta capacidade de ligação dos tecidos da folha com zinco (ZHANG & BROWN, 1999). Entretanto, em algumas espécies, significativa remobilização pode ocorrer durante o crescimento reprodutivo. O que sugere que o zinco seja prontamente móvel durante o crescimento das plântulas.

Existem grandes diferenças na acumulação de Zn tanto entre espécies quanto entre variedades, determinando a susceptibilidade da cultura à sua deficiência (LINDSAY, 1972). Conforme Moysés (1988), estas diferenças também ocorrem durante o ano, fato este que foi verificado através de um levantamento de cafezais no Estado de São Paulo, pela análise foliar, onde foram encontrados teores médios de Zn no verão de $13,9 \text{ mg Kg}^{-1}$; no outono de $10,2 \text{ mg Kg}^{-1}$ e na primavera de $16,2 \text{ mg Kg}^{-1}$, ressaltando a importância da época de amostragem e considerou o teor de 10 mg Kg^{-1} de Zn, na folha do cafeeiro, como o mais próximo do teor crítico. Ananth et al. (1965), afirmaram que a espécie arábica é mais susceptível que a robusta à deficiência de Zn

4.3.3 Fornecimento de zinco

No 2º Simpósio Brasileiro de Adubação foliar, realizado em Botucatu – SP em 1987, foram discutidos os mais diferentes aspectos sobre a adubação foliar e concluiu-se que a adubação foliar com micronutrientes era um recurso efetivo e econômico no controle de deficiências em cafeeiro, podendo ser recomendada em programas de adubação, desde que houvesse controle das necessidades das plantas e se utilizassem produtos específicos (FERREIRA et al., 2001).

O fato de muitas recomendações oficiais de adubação, em várias regiões do Brasil, incluírem a adubação foliar para as diversas culturas, é evidência de que sob certas condições específicas, essa forma de aplicação de micronutrientes é de comprovada eficiência. Desta forma, tem sido sugerido, alternativamente e com superioridade, o fornecimento de zinco via foliar, devido as limitações da adubação deste nutriente via solo (FÁVARO, 1992; RODRIGUES et al, 1997; MELO, 1997).

A seguir serão citados alguns exemplos de sucesso da aplicação de zinco via foliar. Silva (1979) corrigindo a deficiência de zinco através da aplicação de sulfato de zinco via foliar, aumentou a produção de uma lavoura cafeeira em 82%. Arzolla et al. (1962), em trabalhos com solução nutritiva, envolvendo o cafeeiro, constataram que a absorção foliar de Zn foi 8 vezes mais intensa que a absorção radicular. Malavolta (1976), também verificou superioridade na eficiência de absorção deste nutriente, quando aplicado via foliar, sendo que a absorção de rádio-Zn (Zn^{65}) pelas folhas do cafeeiro foi de 2,8 a 4 vezes maior que a absorção pelas raízes.

Arzolla (1955) relatou que a absorção do radiozinco aplicado diretamente nas folhas do cafeeiro chegou a ser oito vezes mais intensa que o fornecimento radicular em solução nutritiva, afirmou também que a aplicação na página inferior da folha foi mais eficiente, absorvendo-se 40% do Zn aplicado e verificou que a absorção de Zn por cafeeiros não foi afetada pela variação na concentração de ferro (Fe) na solução nutritiva no intervalo de 0 a 10 mg dm⁻³, mas foi aproximadamente a metade, devido ao aumento na concentração de manganês (Mn) de 0,5 para 5,0 mg dm⁻³ e a absorção de Zn aumentou quando o cobre (Cu) foi omitido. Corroborando com esta afirmação McNall (1967) verificou que quando comparada com a aplicação via solo, a aplicação foliar pode ser até 12 vezes mais eficiente.

Segundo Rosolem (1986), os nutrientes com baixa mobilidade no solo são mais eficientemente absorvidos pelas folhas do que pelas raízes das plantas. Santo (1985), trabalhando com café, demonstrou um aumento no teor de nutrientes nas folhas e também aumento na produtividade quando pela aplicação de nutrientes via foliar.

Uma nutrição balanceada do cafeeiro não pode ser realizada sem o conhecimento das interações entre os vários nutrientes, através de estudos do sistema solo-planta e da manutenção de uma boa fertilidade do solo para o cafeeiro. A obtenção de qualidade e altos rendimentos dependem de um eficiente ajuste dos seus métodos de aplicação e das doses dos nutrientes.

Muitas são as controvérsias com relação à dose ideal de Zn a ser aplicada por via foliar em cafeeiros em produção. Muller (1959) recomendou aplicações de solução de 0,2 a 1,0% de sulfato de zinco em duas a quatro pulverizações ao ano como melhor forma de fornecer Zn ao cafeeiro. Silva (1979) conseguiu um aumento de 82% da produção

utilizando $6,0 \text{ g cova}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (6 kg ha^{-1}) de sulfato de zinco em duas aplicações e quando utilizou $8,0 \text{ g cova}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a produção caiu para 39%. Segundo Abrahão et al. (1990), as aplicações de doses crescentes de sulfato de zinco, via foliar, bem como o número de aplicações, provocaram um aumento linear no teor foliar de Zn. Os melhores resultados foram obtidos com teor foliar de Zn na faixa de $9,5$ a $21,6 \text{ mg Kg}^{-1}$; abaixo de 10 mg Kg^{-1} e acima de 25 mg Kg^{-1} de Zn na folha houve queda na produção.

Santinato et al., (1993) afirmaram que o Zn deve ser aplicado em 3 a 4 aplicações foliares ao ano em solos argilosos totalizando $1,5$ a $2,0 \text{ Kg de Zn ha}^{-1}$ ($7,5$ a 10 Kg ha^{-1} de sulfato de zinco). Afirmaram ainda, que quantidades maiores podem reduzir a produção. Já Melo (1997) testando quantidades e número de aplicações de sulfato de zinco sobre a produção do cafeeiro, conseguiu máxima produção quando se fizeram quatro aplicações de sulfato de zinco ($12,6 \text{ Kg ha}^{-1}$ por ano ou $10,1 \text{ g cova}^{-1}$ por ano) a uma concentração próxima de 0,5% deste sal. Corroborando com estas informações, Guimarães et al. (1983) testando aplicações foliares de sulfato de zinco, concluíram que a eficiência não está somente em controlar a carência de Zn, mas também em garantir aumentos na colheita no mesmo ano em que a aplicação é feita. Os mesmos autores, estudando o modo de aplicação, constataram ser mais vantajoso parcelar a quantidade a ser aplicada.

4.3.4. Zinco quelatizado (complexado)

De acordo com Mortvedt (1991), a palavra “quelato” vem do grego e significa “pinça”, que quimicamente refere-se a uma configuração em anel que resulta quando um íon metálico combina-se com dois ou mais grupos doadores de elétrons existentes numa única molécula, de maneira que se formam uma ou mais estruturas cíclicas. O composto resultante desta união é chamado de “quelato” ou “quelato de metal” e a substância doadora de elétrons é denominada “agente quelante”, ligante polidentado (Figura 01). Os íons metálicos coordenados a ligantes polidentados perdem suas características catiônicas pelo bloqueio dos sítios de reações destes íons, sendo menos sujeitos à reações de precipitação ou insolubilização, característica que é fundamental em um fertilizante quelatizado para o uso agrícola como fornecedor de nutrientes para as plantas impedindo a inativação do nutriente e

mantendo a sua disponibilidade para planta. O termo “quelato”, foi utilizado pela primeira vez por Jacobson (1950), na forma do ácido etilenodiamino tetracético (EDTA), com o intuito de fornecer ferro as plantas cultivadas em solução nutritiva.



FIGURA 01- Esquema de quelatização do zinco.

É importante considerar também o conceito de complexos, uma vez que complexos e quelatos pertencem a um grupo de substâncias denominadas “compostos de coordenação” e que se caracterizam por uma série de propriedades, das quais uma das mais importantes é a dissimulação ou mascaramento das reações das características dos íons ou grupamentos que os integram. Desta forma complexo, segundo Martell & Calvin (1952), formam-se quando um íon metálico ou uma substância qualquer se combinam com somente um grupo doador de um par de elétrons. Assim pode-se dizer que todos os quelatos são complexos mais a recíproca não é verdadeira, resultando que muitas propriedades são iguais para as duas classes de substâncias, porém, outras propriedades são fundamentalmente diferentes e daí a necessidade da separação dos complexos e quelatos em duas classes distintas de substâncias.

Uma das características mais importantes desses produtos, do ponto de vista da nutrição de plantas, é a estabilidade relativa do complexo formado com o metal que é conhecido como constante de estabilidade ($\log K$). A partir dos valores de $\log K$ pode-se estimar a capacidade que um metal possui para competir com outro pelo mesmo agente quelante. Cada quelato tem uma constante de estabilidade diferente e se comporta diferente de acordo com cátion que o acompanha (ALVAREZ, 1987).

A estrutura química de um quelato sintético é bem definida podendo a constante de estabilidade para os metais nesses produtos ser determinada com precisão. Veja-se o exemplo de STOLLER (1982) para o ácido etilenodiamino - tetra acético- EDTA ($\log K$

para Fe^{+3} 25,1; Fe^{+2} 14,3; Cu^{+2} 10,6; Mn^{+2} 14,0 e Zn^{+2} 16,5). Em contra partida Ferreira *et al.* (2001) relatou que a estrutura química dos agentes quelantes ou complexantes orgânicos não são bem definidas porque dependem da natureza dos produtos orgânicos e dos seus processos de fabricação. O tipo de ligação química do metal aos acompanhantes orgânicos não é bem caracterizada, apesar de algumas dessas ligações poderem ser semelhantes àsquelas dos quelatos sintéticos.

Laurie & Marthey (1994) levantaram a importância da constante de equilíbrio na estabilidade do complexo íon-quelato e concluíram que um quelato eficiente é aquele em que a taxa de substituição do micronutriente quelatizado por outros cátions é relativamente baixa, e, como consequência, o micronutriente aplicado mantém-se na forma de quelato por tempo suficiente para ser absorvido pelas plantas.

Os principais agentes quelatizantes utilizados na produção de adubos com micronutrientes são: ácido etilenodiamino tetracético (EDTA)- o mais comum; ácido N hidroxietil etilenodiamino triacético (HEDTA); ácido dietilenotriamino pentacético (DTPA); ácido etilenodiamino (o-hidroxifenilacético) (EDDHA); ácido nitrilo triacético (NTA); etilenodiamino (ED); ácido glucoheptônico; ácido cítrico (usado especialmente para zinco); ácido láctico; ácido tartárico e poliflavonóides (quelatos naturais). Vários quelatos são comercializados na forma líquida porque os custos de produção por unidade de micronutrientes são menores que aqueles na forma de pó que requerem secagem e são utilizados para misturas com fertilizantes fluídos. Os quelatos secos são incorporados em alguns casos a fertilizantes NPK granulados, porém, seu uso é restrito a culturas de alto valor comercial (MORTVEDT, 1985, 1991; FERREIRA *et al.*, 2001).

A técnica de adubação foliar com quelatos reúne uma série de características que permite melhorar o aproveitamento de macro e micronutrientes. Alvarez (1987) relatou as principais funções do quelato na adubação foliar: proteção do nutriente, mantendo o mesmo na situação de solubilidade; disponibilidade à planta facilitando a absorção e permitindo um aproveitamento até 10 vezes mais eficiente do nutriente em comparação com fontes salinas.

A modificação do pH da solução é uma característica diferencial dos quelatos. Quando são capazes de acidificar a solução os quelatos promovem absorção dos nutrientes mais facilmente, diminuindo a possibilidade de acarretar reações químicas

secundárias com outros produtos químicos e aumenta a capacidade de translocação dentro da planta.

Segundo Jonnes (1979), as características desejáveis para um agente quelante, quando aplicado via foliar são: facilidade de absorção pela planta, facilidade de translocação e decomposição dentro planta e que não seja fitotóxica.

A forma química pela qual o zinco é fornecido afeta não só a sua absorção, como também a sua mobilidade dentro da planta, desta forma, para correção da sua deficiência tem-se utilizado além de sais, pulverizações com quelatos de Zn.

O uso de agentes quelantes em adubações com micronutrientes, impede a ocorrência de reações químicas indesejáveis, quer estas ocorram na solução do solo, em soluções para uso hidropônico ou em soluções de aplicação foliar (SACRAMENTO, 1998).

Isto já era previsto por Medcalf & Lott (1956), no Cerrado de Matão – SP em que os quelatos (EDTA) de cobre, ferro, manganês e zinco e suas misturas multiplicaram por 4,3 as produções, além de terem os quelatos reduzido a toxicidade de manganês.

De acordo com Lopes & Carvalho (1988) a eficiência agrônômica relativa do Zn-EDTA é 5 vezes a do ZnSO₄. Ferrandon & Chamel (1988) mostraram menor retenção na cutícula e maior translocação de Zn e Mn quelatizados com EDTA. No entanto, verificaram que o Fe-EDTA foi retido com mais intensidade na cutícula da folha, sendo absorvido em menor quantidade. Ferrandon & Chamel (1989) encontraram resultados semelhantes para o sulfato de ferro, quelatizado ou não. A maior retenção cuticular para Zn e Mn ocorreu quando estes estavam associados com EDDHA e DTPA. Por isso, concluíram que a retenção depende do elemento considerado e ocasionalmente do agente quelante.

Em estudos utilizando Zn-EDTA, Ferrandon & Chamel (1988) constataram maior mobilidade do zinco nessa forma, em comparação a forma de sulfato, sugerindo que o EDTA funciona como carregador natural, como o citrato para o ferro. Entretanto, a absorção foliar do zinco foi menor com EDTA que quando aplicado na forma de sulfato, sendo ainda relatado pelos autores que a menor absorção de Zn-EDTA pode estar ligada a sua menor adsorção cuticular e que a maior absorção de ZnSO₄ encontrada pode estar incluindo, em alta proporção, o elemento ainda retido na cutícula, justificando esse fato a alta afinidade que o Zn⁺⁺ liberado do Zn SO₄ tem pelas cargas existentes na parede celular, o que

não acontece com o Zn do ZnEDTA o qual apresenta-se quelatizado, portanto sem cargas livres. Observações semelhantes também foram feitas por Ramani & Kannan (1985), em feijoeiro, e por Malavolta et al. (1996), no cafeeiro, quando compararam a absorção foliar do $ZnCl_2$ com Zn-EDTA, sendo que a distinção entre o que é retido na cutícula não foi feita por esses autores.

Para Rosolem (2002), considerando o processo de absorção, a eficiência relativa do Zn-EDTA é 1,4 vezes menos eficiente que a do sulfato. Na translocação o quelato parece ser 1,5 vezes mais eficiente, o que resulta numa eficiência global do quelato em relação ao sulfato igual a 1,0.

Garcia & Salgado (1981), empregando soluções de $ZnSO_4$ na forma iônica e quelatizado sobre folhas de cafeeiro, verificaram que o sulfato de zinco e o Zn-EDTA comportaram-se de maneira semelhante. Segundo os estudos de absorção foliar, Malavolta et al. (1995) sugerem que houve menor retenção cuticular ou na parede celular de folhas de cafeeiro quando o zinco foi aplicado quelatizado com lignossulfonado.

Parducci & Camargo (1990), demonstraram que o quelato comercial AGER-Zn foi mais eficiente em aumentar o teor de Zn em folhas de cafeeiro que o sulfato, mostrando a eficiência próxima a da mistura de sulfato de zinco com cloreto de potássio.

Também Costa (1992), testando a eficiência do adubo foliar quelatizado Fertamin-café (marca registrada) a 50% conseguiu resultados satisfatórios, pois mesmo com a dose efetiva de zinco ($36g\ 100L^{-1}$ de calda) que representa apenas 30% da dose efetiva fornecida pelo tratamento com sais ($120g\ 100L^{-1}$ de calda) foi capaz de manter níveis foliares semelhantes ao deste.

Trabalhando com feijoeiro em casa de vegetação, Santos (2000b), provou que o resíduo biológico do branqueamento de argilas foi tão eficiente quanto o EDTA (ácido etilenodiamino tetra acético), na quelatização de micronutrientes atuando diretamente na absorção e translocação de macro e micronutrientes, com reflexo positivo na produção de grãos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Para que fossem alcançados os objetivos propostos nesta pesquisa foram realizados 2 experimentos, um em casa de vegetação com mudas de cafeeiro e outro, no campo, com cafeeiros em produção. No experimento em casa de vegetação, desenvolvido no Departamento de Recursos Naturais na Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP) em Botucatu – SP, foram testadas 4 concentrações crescentes de zinco enquanto que no experimento de campo realizado na Fazenda Experimental Lageado, pertencente a Faculdade de Ciências Agrônomicas / UNESP Botucatu – SP foram testadas 6 concentrações crescentes de zinco.

5.1. Obtenção do resíduo biológico quelatizante

No processo de obtenção do resíduo biológico quelatizante foram utilizados como componentes: água não destilada, substrato caulim (3:1) e sacarose comercial 4,5% (p/p), em relação à massa do substrato, adicionando-se um “pé de cuba” de bactérias ferro-redutoras mantidos a temperatura de 30°C. Com o intuito de acelerar o processo de branqueamento, utilizou-se respectivamente sacarose - $C_{12}H_{22}O_{11}$, cloreto de amônia - NH_4Cl e diamônio fosfato - DAP - $[(NH_4)_2HPO_4]$, como fontes de carbono, nitrogênio e fósforo

(C:N:P - 250:1:0,2), descrito conforme Santos (2000) e Silva (2002) e visualizados nas Figuras 2 e 3.

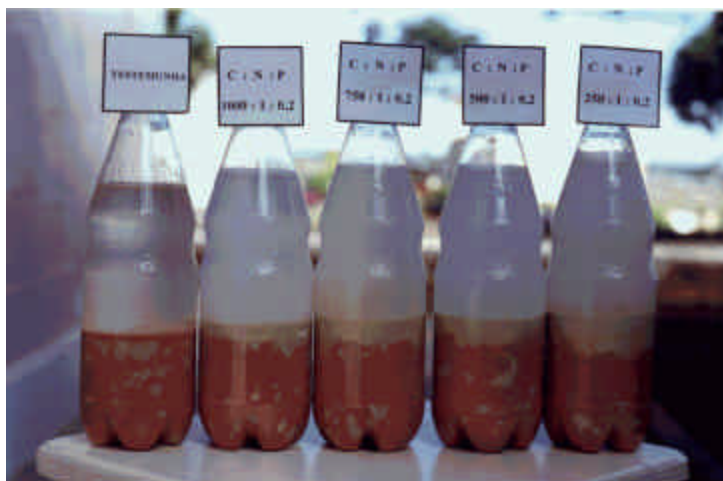


FIGURA 2 – Início do branqueamento biológico do caulim.



FIGURA 3 – Término do branqueamento biológico do caulim

No resíduo líquido foram detectados ácidos orgânicos (ácido butírico, acético, isobutírico, propiônico, valérico, isovalérico e caprótico) e açúcares redutores ($6,5 \text{ ng mL}^{-1}$) determinados através de testes qualitativos obtidos por cromatografia gasosa, e determinação das concentrações de íons metálicos através de Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma de Argônio Induzido – ICP-AES não apresentando metais pesados tóxicos, como pode ser visto na Tabela 1. O pH inicial foi de 3,5 chegando até pH 8,85 sem ocorrer precipitação do Fe, obtidos por análise titulométrica (SANTOS, 2000).

TABELA 1 - Concentrações de Fe, Cu, Mn, Zn, Ca, Mg, Na, Cr, Pb, Hg, Mo, S, Al, Sn, V, Ni, Si, Cd, P, K, B, Co no resíduo biológico em mg L⁻¹ determinados por Espectrometria de Emissão em Plasma de Argônio Induzido- ICP-AES¹.

Fe	Cu	Mn	Zn	Ca	Mg	Na	Cr	Pb	Hg	Mo
0,002*	0,002*	0,001*	0,002*	0,01*	0,02*	0,01*	0,004*	0,025*	0,02*	0,008*
980,0	0,0	5,5	0,6	270,0	264,0	22,3	0,4	0,0	0,0	0,1
S	Al	Sn	V	Ni	Si	Cd	P	K	B	Co
0,03*	0,02*	0,03*	0,004*	0,005*	0,01*	0,002*	0,02*	0,1*	0,002*	0,003*
10,7	0,89	0,2	2,6	1,2	1,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2

¹Análise efetuada no Laboratório Produção vegetal – Área de Agricultura/FCA/UNESP – Botucatu/SP.

*Limite de detecção

5.2. Produção do quelato biológico (Bio).

A partir dos teores máximos dos micronutrientes ferro, manganês, zinco, cobre, boro e molibdênio admitidos pela diagnose foliar do cafeeiro (MALAVOLTA, 1981), procedeu-se o balanceamento destes elementos através de cálculos estequiométricos para determinar-se a concentração ideal de cada micronutriente, considerando seu respectivo sal a ser adicionado (1,98 g L⁻¹ de MnSO₄, 0,26g L⁻¹ de CuSO₄, 3,37 g L⁻¹ de H₃BO₃ e 0,02 g L⁻¹ de (NH₄)₆Mo₇O₂₄, o Fe estava contido no resíduo biológico 10 g L⁻¹).

Em seguida os sais dos metais já devidamente equilibrados foram adicionados ao resíduo biológico quelatizante (Bio). Utilizou-se a concentração do ferro como valor de ajuste, por ser este o metal encontrado em maior quantidade no Bio. O pH da solução foi ajustado em 5,5, pois segundo Primavesi (1981) citada por Rosolem (2002), no caso de formulações multinutrientes soluções muito ácidas ou alcalinas podem levar a ocorrência de fitotoxidez. O micronutriente zinco foi adicionado em ordem crescente de concentração para o experimento em casa de vegetação (200, 400, 600, 800 mg de Zn dm⁻³) e no campo (200, 400, 600, 800, 1000 e 1200 mg de Zn dm⁻³).

Os sais dos metais envolvidos na produção do quelato biológico foram: Mn SO₄ . 4H₂O - Manganês (II), Sulfato Tetrahidratado (M = 222,99 g mol⁻¹ p.a) ; Zn SO₄ . 7H₂O - Zinco (II), Sulfato heptahidratado (M = 287,44 g mol⁻¹ p.a); Cu SO₄ .5H₂O - cobre(II), Sulfato pentahidratado (M = 249,68 g mol⁻¹ p.a); H₃BO₃ - ácido bórico (M = 61,83 g mol⁻¹

p.a) e $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Molibdato de Amônio Tetra hidratado ($M = 1.235,78 \text{ g mol}^{-1}$ p.a).

5.3. Experimento em casa de vegetação

5.3.1. Instalação do experimento

O experimento em casa de vegetação foi conduzido no período de janeiro de 2001 a agosto de 2002. Foram utilizadas mudas de cafeeiro, variedade “Catuaí Vermelho, transplantadas, quando apresentavam oito pares de folhas formadas, para vasos de PVC com 20L de capacidade, sendo que cada vaso recebeu duas mudas. A Tabela 2 apresenta a composição química (macro e micronutrientes) das folhas de café, coletadas antes da aplicação dos tratamentos, conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997) seguindo a rotina do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu/SP.

O solo utilizado pertence a descrição de perfis da Unidade Patrulha, conforme Carvalho et al. (1983), correspondendo a um Latossolo Vermelho Escuro Álico, textura média, atualmente denominado LATOSSOLO VERMELHO (Embrapa,1999), apresentando suas características químicas na Tabela 3, de acordo com a metodologia descrita por Raij & Quaggio (1983), seguindo a rotina do Laboratório de Fertilidade do solo do Departamento Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu/SP.

TABELA 2 – Análise químicas de folhas de cafeeiro para o experimento em casa de vegetação, antes da aplicação dos tratamentos ¹.

N	P	K	Ca	Mg	S
-----g Kg ⁻¹ -----					
38	0,9	9	19	6	2
Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco	
-----mg Kg ⁻¹ .-----					
147	3	424	114	9	

¹Análise efetuada no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Depto. Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu/SP.

TABELA 3 - Características químicas de amostras de solo do experimento em casa de vegetação, antes da calagem ¹.

PH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V %
4,0	14	1	14	38	0,3	5	1	6	44	13

Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
0,10	0,9	41	0,8	0,3

¹Análise efetuada no Laboratório de Fertilidade do solo do Depto. Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu/SP.

Em função dos resultados da análise química do solo a saturação por bases foi elevada a 70% (Raij & Quaggio, 1983) através da aplicação de 22 g/vaso de calcário dolomítico (CaCO₃ e MgO p.a na relação 4:1 de Ca/Mg e PRNT de 90%) com antecedência de 30 dias da instalação do experimento. As adubações seguiram as recomendações propostas por Raij et al., (1996). As fontes dos adubos, foram: uréia (45% N) – cinco aplicações de 2,5g/vaso aplicado em cobertura a cada 21 dias (a partir da data do transplantio); Superfosfato simples (18% P₂O₅) - 26g/vaso aplicados no dia do transplantio; Cloreto de potássio (60% K₂O) – 2g/vaso aplicados no dia do transplantio. Todos os adubos foram muito bem misturados com a terra, para evitar que ocorresse morte do sistema radicular. Após 01 ano da instalação do experimento repetiu-se a mesma adubação.

5.3.2. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 10 tratamentos e 5 repetições, constituídas por 2 plantas/vaso, prevendo a variabilidade genética da espécie, totalizando 100 plantas (Figura 3). Os tratamentos constaram da aplicação foliar do quelato biológico (Bio) em 4 concentrações crescentes de zinco com teores constantes de boro, manganês, cobre e molibdênio, comparados com o quelato biológico mais sulfato de zinco sem a adição dos demais micronutrientes; quelato biológico puro; sulfato de zinco sem micronutrientes; dois produtos comerciais (Fertamim e Dacafé) e testemunha (água) descritos na Tabela 4.



FIGURA 4- Vista parcial do experimento em casa de vegetação.

TABELA 4. Tratamentos utilizados no experimento em casa de vegetação.

Tratamentos	Dosagem (mg Zn ²⁺ dm ⁻³)
1. BIO 1 ^{1*}	200
2. BIO 2 ^{1*}	400
3. BIO 3 ^{1*}	600
4. BIO 4 ^{1*}	800
5. Fertamim ²	400
6. Dacafé-Stoller ³	400
7. Sulfato de zinco ^{4#}	1200
8. Quelato de Zn [#]	600
9. Testemunha (água) ⁵	0
10. Quelato puro [#]	0, 6

OBS:

1. Concentrações de sulfato de zinco no quelato biológico: Bio 1 - 0,89g L⁻¹; Bio 2 - 1,78g L⁻¹; Bio 3 - 2,67g L⁻¹ e Bio 4 - 3,56g L⁻¹.

2. Fertamim-café (2L ha⁻¹ dosagem fornecida pelo fabricante) - 3,3 ml L⁻¹. Característica apresentadas na Tabela 5.

3. Dacafé (2L ha⁻¹ dosagem fornecida pelo fabricante) - 2,86 ml L⁻¹. Características apresentadas no Tabela 6.

4. Dose convencional - 6g L⁻¹ de sulfato de zinco (20% de Zn)

5. A testemunha continha apenas água

* Com a adição de micronutrientes(Mn, Cu, B, e Mo).

Sem a adição de micronutrientes (Mn, Cu, B, e Mo).

TABELA 5. Determinações analíticas do produto comercial Fertamim-café produzido pela Indústria Química Iharabras S.A.¹

Ca	Mg	S	Na	Zn	Mn	Cu	B	Fe
-----g 100 mL ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----					
0,05	0,02	0,60	178	80.000	116	86	50	178

¹Análise efetuada no Laboratório de Análise de Fertilizantes e corretivos do Depto. Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu.

Obs:

Densidade = 1,21 g mL⁻¹

M.O. a base de aminoácidos

Quelato natural (7% de zinco quelatizado)

TABELA 6. Determinações analíticas do produto comercial Dacafé produzido pela Indústria Química Stoller S. A.¹

Ca	Mg	S	Na	Zn	Mn	Cu	Fe
-----g 100mL ⁻¹ -----			-----mg L ⁻¹ -----				
0,09	0,02	4,00	16.800	81.500	304	8	3.400

¹Análise efetuada no Laboratório de Fertilidade do Solo do Depto. Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu.

Obs :

Densidade = 1,25g/mL

Quelato sintético (7% de zinco quelatizado)

5.3.3. Aplicação dos tratamentos e condução do experimento

A aplicação, via foliar, foi realizada com auxílio de um microasporador pressurizado (pistola para pintura modelo 5 - tipo gravidade da marca “Arprex”), com reservatório de 50 mL de capacidade, pulverizado sempre no início da manhã ou final da tarde, para evitar queima das folhas (Malavolta, 1980). O volume da calda aplicado foi determinado em função do tamanho das plantas nos vasos e estimativa de área foliar (5 mL vaso⁻¹ a cada pulverização nas três primeiras aplicações e 15 ml vaso⁻¹ a cada pulverização nas três últimas) conforme Paranhos et al (1998).

Foram adicionadas em todos os tratamentos a exceção dos tratamentos 5 (Fertamim) e 6 (Dacafé) espalhante adesivo do grupo químico dos alquifenoletoxilados a 0,03% para assegurar a aderência das gotas, pois segundo Kannan (1990) e Malavolta (1980) é importante lembrar que no cafeeiro, embora a cutícula contenha pouca cera é difícil de se molhar a folha. Utilizou-se também uréia (45% de N) a 5% e cloreto de potássio (60% de K₂O) a 1,5% com o propósito de melhorar a absorção (CORDEIRO et al., 1990).

As aplicações dos tratamentos iniciaram-se cinco meses após o transplântio das mudas para os vasos, quando as plantas de cafeeiro estavam com 11 meses nas, seguintes épocas: 1^a pulverização 13/08/2001; 2^a pulverização 05/09/2001; 3^a pulverização 06/10/2001; 4^a pulverização 05/11/2001; 5^a pulverização 05/01/2002 e 6^a 26/02/2002.

As plantas foram irrigadas nos primeiros 5 meses com 1L de água/vaso a cada dois dias, a partir daí foram adicionados 2L de água/vaso em dias alternados até o final do experimento.

O controle fitossanitário foi efetuado aplicando inseticida granulado sistêmico Aldicarb à base de 2,5 Kg de p.a. por hectare (1g vaso⁻¹), de maneira preventiva. Durante o transcorrer do experimento não foram observados ataque de patógenos ou insetos que prejudicassem os resultados obtidos. Teve-se o cuidado de não ser ministrado nenhum defensivo que contivessem micronutrientes (zinco, manganês, cobre, ferro, boro e molibdênio).

5.3.4. Coleta de dados e avaliações

Os dados utilizados para as análises estatísticas foram referentes a biometria das plantas e análise química das folhas, considerando as duas plantas por vaso, correspondente a cada tratamento, detalhados a seguir.

5.3.4.1. Biometria

Para a análise biométrica, foram consideradas as médias das duas plantas por vaso, aos seis e doze meses da primeira aplicação, para as variáveis:

- a) Altura das plantas – A medida foi obtida do colo ao ápice da planta, com o uso de régua graduada;
- b) Quantidade de ramos – Todos os ramos das plantas foram contados;
- c) Comprimento dos ramos – A medida foi obtida da base do ramo até a sua extremidade, com o uso de régua graduada;
- d) Quantidade de folhas nos ramos – Foram contadas todas as folhas que apresentavam mais de 2,0 cm de comprimento, em cada ramo;
- e) Comprimento e Largura das folhas – As medidas foram obtidas dos ramos do quinto (primeira amostragem) e sexto nó (segunda amostragem) e nestes a terceira folha a partir da gema apical, sendo que a primeira folha deveria ter no mínimo 2cm de comprimento.
- f) Área foliar – Foi obtida a partir do produto das medidas de largura de folhas, comprimento de folhas, número de folhas e número de ramos (PARANHOS, 1998).

5.3.4.2. Análise foliar

A coleta das folhas para a análise química foi feita 30 dias após a terceira aplicação (04/11/2001) e 120 dias após a última pulverização (04/07/2002). Para primeira amostragem coletou-se 1 folha dos ramos do quinto nó contados a partir do ápice e nesse, a terceira folha completamente aberta (a primeira folha deveria ter no mínimo 2cm de comprimento), formando uma amostra composta pelas 4 repetições de cada tratamento. Para segunda amostragem foi coletada 1 folha dos ramos do sexto nó contados a partir do ápice, e nesse, a terceira folha (a primeira folha deveria ter no mínimo 2cm de comprimento), sendo separadas pelos tratamentos.

As folhas colhidas foram lavadas em água destilada (Pavan et al. 1984), e acondicionadas em saco de papel para secagem em estufa com circulação forçada de

ar a 70°C, até obtenção de massa constante. As folhas secas foram moídas em moinho tipo Willey e armazenadas em saco de papel até o momento das determinações químicas.

A análise química das folhas foi feita conforme Malavolta (1997) seguindo a rotina do Laboratório de Nutrição Mineral de plantas do Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu/SP. O teor de nitrogênio total das amostras foi determinado pelo método micro Kjeldahl; o fósforo por colorimetria meta vanadato de amônio; cálcio, magnésio, potássio e os micronutrientes zinco, manganês, ferro e cobre, determinados por espectrofotometria de absorção atômica; enxofre total, por turbidimetria de sulfato de bário e o boro determinado por colorimetria azometina H.

5.3.5. Análise estatística

O estudo estatístico das variáveis determinadas, foram processadas pelo programa estatístico SAS (Statistical Analysis System, 1997), com nível de significância a 5% e constou de:

1.0 - Análise de variância para cada elemento: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), considerando os efeitos (ou fatores) estudados em uma única época;

1.1 - Teste de comparações múltiplas (Tukey) para cada efeito significativo na análise de variância (em que houve efeito de interações);

1.2 - Havendo efeito de interações procedeu-se análise, estudando os níveis de um fator dentro de outro;

2.0 - Procedeu-se análise de variância considerando-se cada combinação dos fatores como tratamento e levando-se em consideração a testemunha;

2.1 - Teste de comparações múltiplas (Tukey) para cada efeito significativo na análise de variância (em que não houve efeitos de interações).

Utilizou-se também o modelo estatístico de parcelas subdivididas no tempo ("Split-Plot in time") para as variáveis determinadas em diferentes épocas (altura das

plantas, número de ramos, comprimento dos ramos, número de folhas nos ramos, comprimento e largura de folhas, área foliar). O modelo utilizado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + e_{ijk},$$

em que:

Y_{ijk} representa a j-ésima observação no i-ésimo tratamento α e da k-ésima época γ ;

μ é a média geral;

α_i é o efeito devido ao i-ésimo tratamento α ;

γ_k é o efeito devido da k-ésima época γ ;

$(\alpha\gamma)_{ik}$ é o efeito devido a interação devido ao i-ésimo tratamento α e da k-ésima época γ ;

e_{ijk} é o erro relativo à subparcela.

Para comparação entre médias dos tratamentos foi utilizado o teste de Tukey-Kramer a 5% de probabilidade.

5.4. Experimento de campo

5.4.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido, durante 2 anos, em uma lavoura cafeeira (*Coffea arabica*, var. Catuaí Vermelho) com aproximadamente 10 anos de idade em espaçamento de $4,0 \times 1,5$ m, com 2 plantas/cova, perfazendo um total de 1666 covas há^{-1} . A Tabela 7 apresenta a composição química (macro e micronutrientes) das folhas do cafeeiro amostradas antes da aplicação dos tratamentos à lavoura, conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997) seguindo a rotina do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu/SP.

A área de relevo ondulado está situada a uma altitude de 786 m, à latitude $22^{\circ}51'S$ e longitude $48^{\circ}26'W$, apresentando precipitação média anual de 1500 mm de chuva e o clima classificado segundo Köppen, como Cwa (clima temperado quente – mesotérmico - com chuvas no verão e seca no inverno, e a temperatura média do mês mais quente superior a $22^{\circ}C$) de acordo com Cunha, et al (1999). O solo da área experimental foi

classificado conforme Carvalho et al. (1983) como Terra Roxa Estruturada, atualmente classificado como NITOSOLO VERMELHO (EMBRAPA, 1999) com as características químicas apresentadas na Tabela 8, de acordo com a metodologia descrita por Raij e Quaggio (1983), seguindo a rotina do Laboratório de Fertilidade do solo do Departamento Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu/SP.

TABELA 7 – Análise químicas de folhas do cafeeiro, para o experimento de campo, antes da aplicação dos tratamentos ¹.

N	P	K	Ca	Mg	S
-----g Kg ⁻¹ -----					
21	1	20	9	2,4	2,4

Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
-----mg Kg ⁻¹ -----				
38	13	205	256	9

¹Análise efetuada no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Depto. Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu/SP.

TABELA 8 - Características químicas de amostras de solo coletadas nas camadas de 0-20 cm de profundidade, antes da instalação do experimento de campo¹.

pH	MO	P _{resina}	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmolc dm ⁻³ -----			-----				
										%
4,4	19	10	-	46	2,8	13	6,5	23	69	34

Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
-----mg dm ⁻³ -----				
0,1	2,1	35	7,6	0,5

¹Análise efetuada no Laboratório de Fertilidade do solo do Depto. Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu/SP.

Em função dos resultados da análise química do solo, a saturação de bases foi elevada a 50% (RAIJ et al 1996) através da aplicação de 250g/cova de calcário dolomítico (CaCO₃ e MgO p.a na relação 4:1 de Ca/Mg e PRNT de 90%) em agosto de 2000. As adubações seguiram a rotina de condução de uma lavoura comercial, que receberam 400g da

formulação de N-P₂O₅-K₂O (20-5-20) com três parcelamentos em novembro de 2000, janeiro e março de 2001.

Por ocasião da instalação do experimento, o teor de zinco no solo, foi considerado baixo (RAIJ & QUAGGIO, 1983) e o teor nas folhas crítico (MALAVOLTA et al. 1997), entretanto, as plantas não apresentavam sintomas visuais de deficiências.

5.4.2. Tratamentos e Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizado com 11 tratamentos e 4 repetições, sendo a parcela constituída de 10 plantas (5 covas com 2 plantas cada) na mesma linha de plantio. Entre os blocos não foi deixado uma linha de plantas e entre as parcelas foram deixadas 2 plantas em cada extremidade, restando portanto 6 plantas na parcela útil (3 covas com 2 plantas cada). O número total de plantas do experimento foi de 440, sendo 264 úteis e 176 em bordadura (Figura 5).

Os tratamentos constaram da aplicação do quelato biológico (Bio) em 6 concentrações crescentes de zinco com teores constantes de boro, manganês, cobre e molibdênio, comparados com o quelato biológico mais sulfato de zinco sem a adição dos demais micronutrientes; sulfato de zinco em água, sem demais micronutrientes; dois produtos comerciais (Fertamim e Dacafé) e testemunha (água) descritos na Tabela 9.



FIGURA 5 – Vista parcial do experimento de campo.

TABELA 9. Tratamentos utilizados no experimento em campo.

Tratamentos	Dosagem (mg Zn ²⁺ / dm ³)
1. BIO 1 ^{1*}	200
2. BIO 2 ^{1*}	400
3. BIO 3 ^{1*}	600
4. BIO 4 ^{1*}	800
5. BIO 5 ^{1*}	1000
6. BIO 6 ^{1*}	1200
7. Fertamim ²	400
8. Dacafé-Stoller ³	400
9. Sulfato de zinco ^{4#}	1200
10. Quelato de Zn [#]	600
11. Testemunha (água) ⁵	0

Obs :

1. Concentrações de sulfato de zinco no quelato biológico: Bio 1 - 0,89g L⁻¹; Bio 2 - 1,78g L⁻¹; Bio 3 - 2,67g L⁻¹; Bio 4 - 3,56g L⁻¹; Bio 5 - 4,45g L⁻¹; Bio 6 - 5,34g L⁻¹

2. Fertamim-café - 3,3 ml L⁻¹.

3. Dacafé - 2,86 ml L⁻¹

4. Dose convencional - 6g L⁻¹ de sulfato de zinco (20% de Zn)

5. A testemunha continha apenas água

* Com a adição de micronutrientes(Mn, Cu, B, e Mo)

Sem a adição dos micronutrientes (Mn, Cu, B e Mo).

5.4.3. Aplicação dos tratamentos e condução do experimento

As pulverizações foliares foram realizadas utilizando-se o volume de calda de 1,5L por planta a cada aplicação, com um pulverizador manual costal com capacidade de 20L. Foram realizadas três aplicações por ano agrícola nas seguintes datas: 1ª pulverização - 16/10/2001; 2ª pulverização - 15/12/2001 e 3ª pulverização - 28/02/2002. A pulverização de outubro, mês que correspondeu ao final do período seco e aumento da temperatura, tinha por objetivo suprir o início de novas brotações e florescimento; a aplicação em dezembro tinha o objetivo de suprir o período da vegetação mais intensa da planta; e a pulverização no final de fevereiro, teve como finalidade proteger as plantas contra o período seco, da baixa disponibilidade de nutrientes.

Foram adicionadas em todos os tratamentos a exceção dos tratamentos 7 (Fertamim) e 8 (Dacafé) espalhante adesivo do grupo químico dos alquifenoletoxicados a 0,03% além de uréia (45% de N) a 5% e cloreto de potássio (60% de K₂O) a 1,5%. Procurou-se obter em cada pulverização, uma cobertura uniforme em toda a planta.

Os tratamentos culturais e controle fitossanitários, foram os mesmos utilizados pela Fazenda da Faculdade de Ciências Agrônômica/UNESP – Botucatu, tais como:

- a) Capinas – Foram realizadas 2 capinas manuais, nos meses de fevereiro e maio, nas linhas das plantas de café e 3 capinas mecânicas, feitas com o auxílio de roçadeira, nos meses de dezembro, janeiro e maio nas entrelinhas, deixando-se a biomassa das plantas daninhas como cobertura morta.
- b) Aplicação de defensivos - Ocasionalmente, quando havia infestação, eram feitas aplicações com Endossulfan utilizando-se 0,70 L de p.a. ha⁻¹ para controlar respectivamente o Bicho Mineiro (*Perileucoptera coffeella*-) (*Lepidoptera-Lyonetidae*) e a Broca do Café (*Hypothenemus hapei*) (*Coleoptera-Scolytidae*). Teve-se o cuidado de não ser ministrado nenhum defensivo que contivessem micronutrientes (zinco, manganês, cobre, ferro, boro e molibdênio).

Não foram feitas aplicações de oxiclreto de cobre, devido a baixa ocorrência de ferrugem, além de também estar sendo desenvolvido paralelo a esta pesquisa, um outro trabalho, avaliando a eficiência do quelato biológico no controle da “ferrugem do cafeeiro” (*Hemileia vastatrix*).

5.4.4. Coleta de dados e avaliações

Os parâmetros utilizados para as análises estatísticas foram: Análise química das folhas, solo, grãos, cascas e resultado de produtividade, detalhados a seguir.

As coletas das folhas, foram realizadas 30 e 60 dias após a primeira aplicação dos tratamentos. Em cada planta retirava-se o 3º (terceiro) par de folhas a partir da extremidade dos ramos medianos, produtivos, coletando-se 4 pares de folhas por planta (8 folhas/planta) nos quatro pontos cardeais, perfazendo um total de 48 folhas por parcela útil,

conforme Malavolta (1993). O procedimento para as determinações químicas das folhas seguiram os mesmos procedimentos do experimento em casa de vegetação (ítem 5.3.4.2).

A amostragem para coleta do solo foi realizada na projeção da copa e nas entrelinhas de cada parcela, após a colheita, na profundidade de 0-20 cm. Após a coleta, o solo foi seco ao ar e peneirado (malha 2 mm) para as seguintes determinações: pH, matéria orgânica, acidez potencial (H+Al), fósforo, potássio, cálcio, magnésio, capacidade de troca de cátions, saturação por bases, boro, cobre, ferro, manganês e zinco. As análises químicas para fins de fertilidade foram realizadas de acordo com metodologias descritas por Raij & Quaggio (1983), seguindo a rotina do Laboratório de Fertilidade do solo do Depto. Recursos Naturais – Área de Ciências do Solo/FCA/UNESP – Botucatu/SP.

Utilizou-se as soluções de DTPA para extração dos micronutrientes Fe, Mg, Cu e Zn, de cloreto de bário em microondas para extração de B, solução sulfocrômica para oxidação da matéria orgânica e resina trocadora de íons para extração dos macronutrientes Ca, Mg, P e K

As produções dos anos agrícolas 2000/2001 (antes da aplicação dos tratamentos) e 2001/2002 (depois da aplicação dos tratamentos) foram colhidas sempre em julho quando os frutos apresentavam mais de 90% no estágio “cereja”. A colheita foi realizada no pano, determinando-se a massa total dos frutos colhidos das seis plantas úteis, onde retirava-se uma amostra com massa de 1 Kg que foi seca até cerca de 11% de umidade em estufa a 60°. Desta amostra, após o beneficiamento, feito em moinho manual, utilizado comumente para amostragem do estágio de secagem de café, pesava-se a quantidade de grãos e transformava-se a produção colhida em sacas de café beneficiado por hectare (sacas de 60 Kg).

Após estes procedimentos, grãos e cascas de café foram separados e moídos, depois encaminhados para análises químicas, seguindo a mesma metodologia adotada para análise de folhas.

5.4.5. Análise estatística

O estudo estatístico das variáveis determinadas, foram processadas pelo programa estatístico SAS (1996) com nível de significância a 5% e constou de teste de comparações múltiplas (Tukey) para cada efeito significativo na análise de variância (em que houve efeito de interações), considerando os efeitos (ou fatores) estudados em uma única época de amostragem e o modelo de parcelas subdivididas no tempo ("Split-Plot in time") a 5% de probabilidade, para as variáveis determinadas em diferentes épocas de amostragem.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Experimento em casa de vegetação

Serão apresentados e discutidos, a seguir, os resultados obtidos no experimento em casa de vegetação referentes a análise química de folhas e análise biométrica das plantas do cafeeiro.

6.1.1. Análise foliar

Os dados da análise química das folhas do cafeeiro (macro e micronutrientes) coletados aos 30 dias após a terceira aplicação dos tratamentos estão apresentados na forma de médias dos dados originais (média aritmética), para cada tratamento, dispostos na Tabela 10, enquanto que os dados referentes a análise foliar coletadas aos 120 dias da última aplicação dos tratamentos, foram submetidas ao teste de comparações múltiplas (Tukey a 5% de probabilidade) da análise de variância onde houve efeito significativo apenas para os micronutrientes Zn (zinco) e Cu (cobre) apresentados nas Tabelas 11 e 12.

TABELA 10 – Médias dos teores foliares de macro e micronutrientes 30 dias, após a terceira aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----g Kg ⁻¹ -----						-----mg Kg ⁻¹ -----				
1 – Bio 1	42	0,7	9	18	6,5	1,6	150	6	121	166	15
2 – Bio 2	40	0,6	8	19	7,0	1,6	135	5	142	138	24
3 – Bio 3	38	0,7	9	19	6,9	1,7	187	5	126	144	27
4 – Bio 4	41	0,7	10	17	6,7	1,9	132	5	120	138	25
5 – Fertamin	40	0,6	11	15	5,5	1,9	128	4	94	95	177
6 – Dacafé	39	0,7	9	19	6,8	1,9	133	4	98	143	23
7. Sulfato de Zn	39	0,6	8	17	7,1	1,6	152	3	87	118	116
8. Quelato de Zn	36	0,7	6	20	7,8	1,3	191	5	140	129	35
9. Testemunha	41	0,7	7	19	7,5	1,3	165	3	123	188	6
10. Quelato puro	42	0,7	9	16	6,7	1,4	120	5	160	141	8

Conforme Boaretto (2002), as alterações na nutrição mineral são refletidas nas concentrações dos nutrientes nas folhas, que são consideradas o foco das atividades fisiológicas das plantas. A utilização da análise foliar como critério diagnóstico baseia-se na premissa de existir relação entre o suprimento de nutrientes e os níveis dos elementos nas folhas. O teor do nutriente dentro da planta é um valor integral de todos os fatores que interagiram para afetá-la. Serão utilizados aqui os termos “concentração” e “teor” como sinônimos, pois referem-se a massa do elemento por unidade de massa da folha como sugeriu Büll & Rosolem (1989).

Desta forma, comparando os dados da análise foliar para macro e micronutrientes antes (Tabela 2) e após 30 dias (Tabela 10) da terceira aplicação dos tratamentos, constata-se que a exceção do zinco todos os outros elementos não tiveram alterações significativas em seus teores foliares, o que era de se esperar uma vez que apenas o zinco foi adicionado em concentrações crescentes nos tratamentos.

Vale ressaltar que os teores de ferro antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 2), encontravam-se bastante elevados (424 mg Kg⁻¹), após a aplicação dos tratamentos (Tabela 10), constata-se que houve diminuição no teor de ferro e aumento do teor de

manganês, que segundo Olsen (1972) é justificada pela interação negativa entre Fe-Mn, onde a menor absorção e transporte de ferro está associada ao aumento do teor de manganês. Nos tratamentos com quelato biológico, obteve-se o melhor equilíbrio nutricional, mesmo na presença de diferentes concentrações de zinco, devido aos micronutrientes adicionados (B, Cu, Fe, Mn e Zn) encontrarem-se quelatizados.

O teor de zinco nos tratamentos 9 (testemunha) e 10 (quelato puro) apresentaram os menores teores, respectivamente 6 e 8 mg Kg⁻¹ considerados críticos e os tratamentos 5 (400 mg Zn²⁺ dm⁻³) e 7 (1200 mg Zn²⁺ dm⁻³) proporcionaram as maiores concentrações de zinco, respectivamente 177 e 116 mg Kg⁻¹, sendo considerados tóxicos. Os tratamentos 1, 2, 3, 4, 6 e 8 apresentaram teores adequados de zinco, conforme Malavolta (1993). É importante considerar que a concentração de zinco nas folhas, antes da aplicação dos tratamentos estava abaixo do adequado (9 mg Kg⁻¹) entretanto, as plantas não apresentavam sintomas visuais de deficiências.

De acordo com Blanco (1970) a presença de cobre (Cu) ou de boro (B) reduzem em 50% a absorção de Zn aplicado às folhas do cafeeiro, isso explica porque nos tratamentos 1, 2, 3 e 4, em que houve adição desses micronutrientes, os teores de zinco, apesar de serem considerados adequados, foram inferiores ao tratamento 8 (600 mg Zn²⁺ dm⁻³), onde não houve a adição de micronutrientes.

E quando comparado o tratamento 6 (Dacafé) com o tratamento 2 (Bio 2) por conterem a mesma concentração de zinco (400 mg Zn²⁺ dm⁻³), constatou-se que não houve diferença entre os teores de zinco nas folhas, demonstrando a eficiência do quelato biológico quando comparado com o produto comercial.

A partir dos resultados obtidos através da análise foliar do cafeeiro coletadas 30 dias após a terceira aplicação dos tratamentos, concluiu-se que o resíduo biológico quelatizante foi eficiente em fornecer zinco via foliar nas quatro concentrações estudadas.

TABELA 11 – Teor de zinco nas folhas do cafeeiro em mg Kg^{-1} coletadas 120 dias após a última aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Média	
1 - Bio 1	4,4	AB
2 - Bio 2	5,6	AB
3 - Bio 3	4,8	AB
4 - Bio 4	8,2	A
5 – Fertamim	4,6	AB
6 – Dacafé	4,0	AB
7 - Sulfato de Zn	6,8	AB
8 – Quelato de Zn	4,8	AB
9 – Testemunha	4,4	AB
10- Quelato puro	3,3	AB

D.M.S. – diferença mínima significativa do Teste TuKey ($\alpha = 5\%$) - 4,03

C. V. – coeficiente de variação, em porcentagem (%) - 35,61

Médias na vertical seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tuckey 5% de probabilidade.

De acordo com a análise da Tabela 11 verifica-se que só houve diferença significativa para o tratamento 4 ($800 \text{ mg Zn}^{2+} \text{ dm}^{-3}$), mesmo assim, sendo este teor de zinco considerado crítico ($8,2 \text{ mg Kg}^{-1}$), estes resultados devem estar relacionados a baixa mobilidade do zinco nas folhas do cafeeiro, associados ao acentuado efeito de diluição do zinco nas folhas em expansão reportado por Fávoro (1992).

Comparando os teores foliares de zinco coletados aos 30 dias após a terceira aplicação e 120 dias após a última aplicação dos tratamentos, verifica-se que os tratamentos 1, 2, 3 e 4 mantiveram melhor estabilidade do que os tratamentos 5 e 7, os quais na primeira amostragem, apresentaram níveis tóxicos caindo de 177 e 116 mg Kg^{-1} para 4,6 e 6,8 mg Kg^{-1} respectivamente, entretanto, isto não pode ser conclusivo, uma vez que o tempo decorrido da última aplicação até a amostragem das folhas foi muito longo e com o crescimento das folhas e na ausência da retranslocação do zinco esses teores caíram acentuadamente, atingindo aos 120 dias, níveis críticos.

Neste experimento a época de amostragem, levando em consideração o intervalo de aplicação, influenciou diretamente a avaliação dos tratamentos, uma vez que o efeito da aplicação foliar é de curta duração. Em geral, aplicação foliar de nutrientes pouco móveis, como é o caso do zinco, oferecem apenas a correção a curto prazo (90 dias) de

deficiências, porque o fertilizante aplicado não pode ser transportado para os tecidos em crescimento (FERREIRA, 2001).

Outro ponto que deve ser considerado, é o fato do café arábica (*Coffea arabica* L.) levar dois anos para completar o ciclo fenológico de frutificação, ao contrário da maioria das plantas que completam o ciclo reprodutivo no mesmo ano fenológico (CAMARGO, 1998). Ocorreu que a amostragem das folhas foi realizada antes que se completasse o ciclo reprodutivo do cafeeiro, o que pode ter influenciado nos resultados. Com isto ficam em aberto mais algumas questões, dentre as tantas que envolvem respostas de experimentos em casa de vegetação. Portanto, os resultados aqui apresentados servem apenas como indicações e não podem ser conclusivos e nem extrapoladas para condições de campo.

TABELA 12 – Teor de cobre nas folhas do cafeeiro mg Kg⁻¹ coletadas 120 dias após a última aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Média	
1 - Bio 1	5,8	AB
2 - Bio 2	6,4	A
3 - Bio 3	6,0	AB
4 - Bio 4	4,0	AB
5 – Fertamim	4,8	AB
6 – Dacafé	4,0	AB
7 - Sulfato de Zn	4,6	AB
8 – Quelato de Zn	4,2	AB
9 – Testemunha	3,8	B
10- Quelato puro	4,0	AB

D.M.S. – diferença mínima significativa do Teste TuKey ($\alpha = 5\%$) - 2,50

C. V. – coeficiente de variação, em porcentagem (%) - 23,84

Médias na vertical seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tuckey 5% de probabilidade.

Confrontando os dados de análise foliar para o cobre antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 2), 30 dias após a terceira aplicação (Tabela 10) e 120 dias após a última aplicação dos tratamentos (Tabela 12), verifica-se que os teores para este elemento permaneceram praticamente inalterados, sendo considerados críticos, segundo Malavolta (1993). Em geral, em plantas deficientes em cobre, a concentração desse elemento nas folhas permanece constante com o tempo, mas diminui em plantas suficientemente

supridas, indicando que o nutriente seja imóvel no floema em condições de deficiência (FERREIRA, 2001).

O antagonismo entre zinco e cobre é conhecido, entretanto, nos tratamentos 1, 2, 3 e 4 apesar de conterem concentrações crescentes de zinco, apresentaram uma tendência a melhores resultados no que se refere ao teor de cobre nas folhas, sugerindo melhor eficiência de absorção de cobre nos quelatizantes biológicos. Isto pode ser explicado em parte, pelo fato dos tratamentos 1, 2, 3 e 4 terem recebido a adição de micronutrientes incluindo o cobre e também pela presença do íon cloreto, fornecido na forma de cloreto de potássio, que segundo Cordeiro et al. (1990) além de melhorar a absorção de zinco, também diminui o antagonismo entre este elemento e o cobre.

6.1.2. Análise biométrica

Os dados referentes a biometria das plantas do cafeeiro, constou da média das duas plantas cultivadas por vaso, utilizando o modelo estatístico de parcelas subdivididas no tempo ("Split-Plot in time") para as variáveis (altura das plantas, tamanho dos ramos, número de folhas nos ramos, comprimento e largura de folhas, número de ramos e área foliar) determinadas em diferentes épocas (6 e 12 meses), apresentadas nas Figuras 6, 7 e 8.

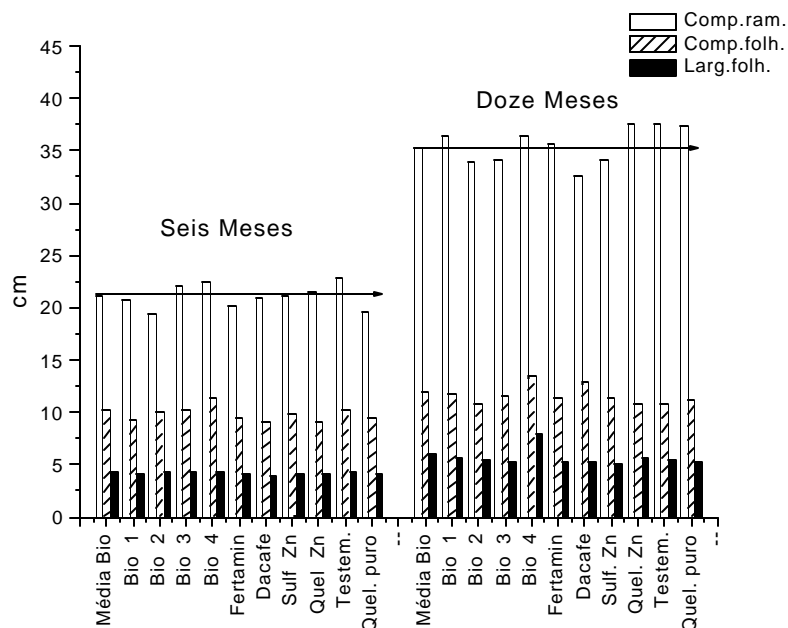


FIGURA 6 – Comprimento de ramos, comprimento e largura de folhas aos 6 e 12 meses da aplicação dos tratamentos.

Analisando a Figura 6 constata-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos (Apêndice 1A). A diferença estatística aparece somente quando comparamos as épocas (6 e 12 meses). Portanto, pode-se inferir que os altos teores de zinco nos tratamentos 5 (Fertamin) e 7 (Sulfato de zinco) e os teores deficientes dos tratamentos 9 (testemunha) e 10 (Quelato puro) apresentados na Tabela 10, não interferiram nas diferenças entre tratamentos para as variáveis comprimento de ramos, comprimento de folhas e largura de folhas.

Segundo Camargo (2002) o café arábica (*Coffea arabica*) é uma planta especial, constituída de seis fases distintas, envolvendo dois anos fenológicos, sendo três delas no primeiro ano fenológico (vegetativa) e as outras três no segundo (reprodutiva). Provavelmente o curto tempo de desenvolvimento do experimento (18 meses), interferiu nos resultados obtidos, uma vez que o teor de zinco nas folhas, tenham sido suficientes para manter o desenvolvimento normal das plantas de café, nas três primeiras fases, independente dos tratamentos aplicados.

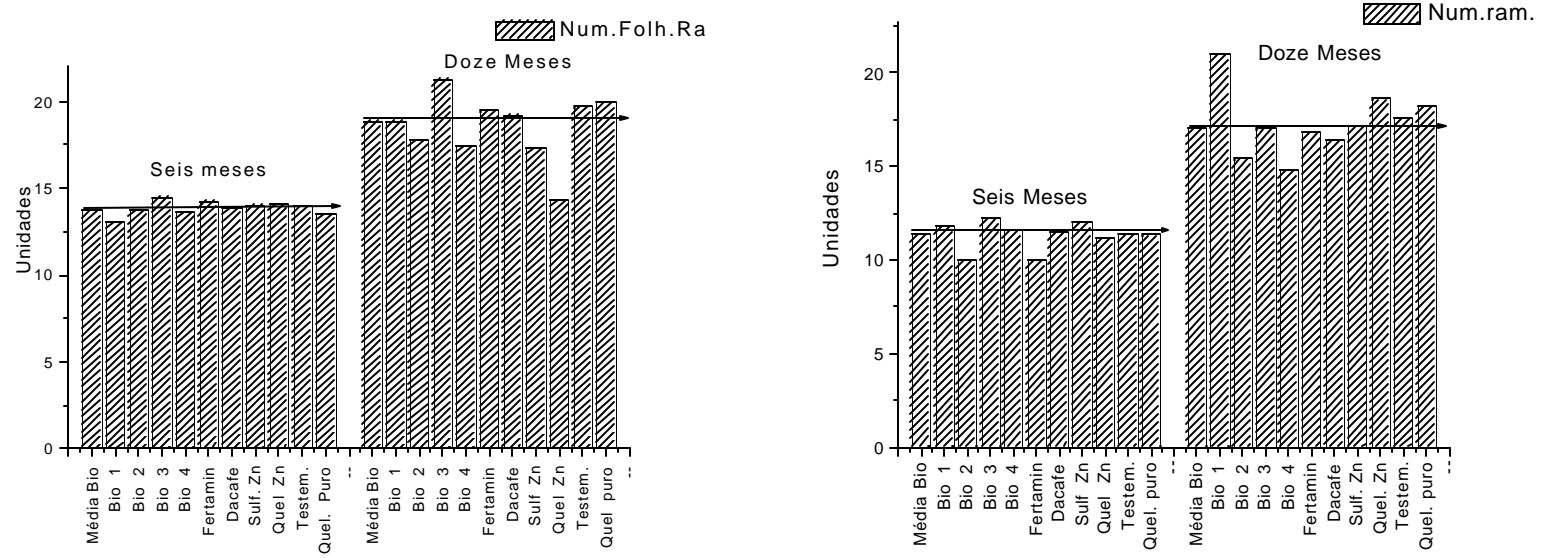


FIGURA 7 – Número de folhas e ramos de plantas de cafeeiro aos 6 e 12 meses após a última aplicação dos tratamentos.

Conforme Figura 7 a variável número de folhas nos ramos apresentou diferença significativa entre tratamentos e épocas (Apêndice 2A), evidenciando o tratamento 3 (Bio 3) aos 12 meses como o mais eficiente. Enquanto a variável número de ramos (Apêndice 2A) teve melhores resultados para o tratamento 1 também aos 12 meses. Estes resultados podem ser interpretados como efeitos aleatórios de plantas e não de tratamentos.

Em nenhum tratamento foi verificado sintomas visuais de deficiência de zinco, mesmo na testemunha, que apesar de apresentar baixos teores foliares de zinco, seu desenvolvimento não foi comprometido, justificado pelos mesmos argumentos das variáveis anteriores, diferente do que foi descrito por Silva (1979), o qual relatou que a ausência do zinco causou um impacto no crescimento vegetal mesmo em seu estágio inicial.

As variáveis altura das plantas e comprimento de ramos não apresentaram diferença significativa entre tratamentos, por isso não foram apresentados em Tabelas ou Figuras, deduz-se portanto que o desenvolvimento das plantas foram normais independente da deficiência ou suprimento de Zn, para o experimento em casa de vegetação.

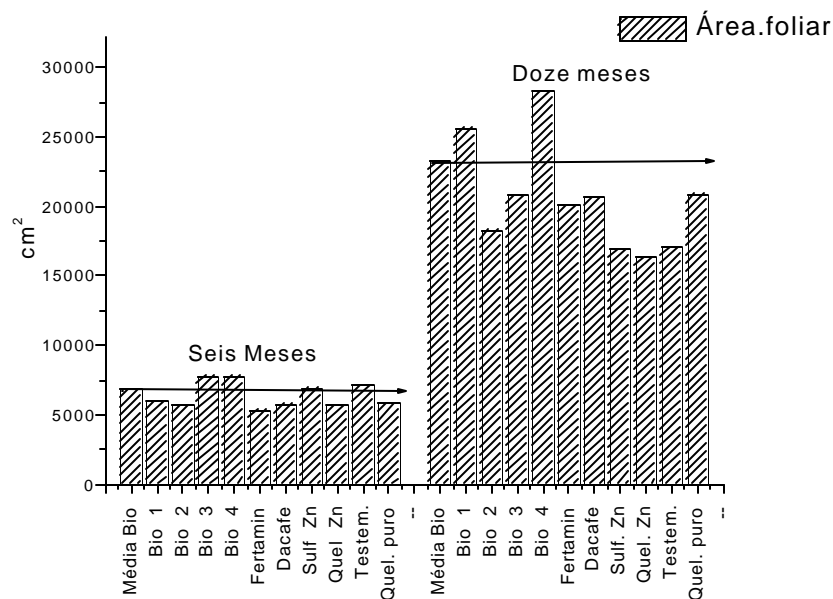


FIGURA 8 – Área foliar de plantas de cafeeiro aos 6 e 12 meses da aplicação dos tratamentos.

A importância da área foliar de uma cultura é amplamente conhecida por ser um parâmetro indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e a sua conversão em energia química (Pereira et al., 1997). Assim sendo, a superfície foliar de uma planta, pode ser considerada como a base do rendimento potencial de uma cultura.

Quando analisa-se a Figura 8 (Apêndice 3A) para a variável área foliar (largura de folhas x comprimento de folhas x número de folhas x número de ramos), observamos que nos tratamentos 1, 2, 3, e 4, onde foram adicionados micronutrientes balanceados, houve uma tendência a melhores resultados, devido ao efeito sinérgico do equilíbrio nutricional, o que provavelmente foi o diferencial entre os tratamentos, evidenciado no tratamento 4 (800 mg Zn dm⁻³) que apesar da concentração de zinco utilizada ser menor do que no tratamento 7 (1200 mg Zn dm⁻³) proporcionou melhor resposta.

6.2. Experimento de campo

Os dados utilizados para as análises estatísticas, no experimento de campo, foram obtidos através da análise química das folhas, grãos, casca, solos e resultados de produtividade, os quais serão apresentados e discutidos a seguir.

6.2.1. Análise foliar

Os dados da análise química das folhas do cafeeiro (macro e micronutrientes) coletados aos 30 e 60 dias da primeira aplicação dos tratamentos, foram submetidas ao modelo estatístico de parcelas subdivididas no tempo ("Split-Plot in time") dispostos nas Figuras 9, 10 e 11. Os dados referentes a análise química de cascas e grãos constou de teste de comparações múltiplas (Tukey a 5% de probabilidade) para cada efeito significativo na análise de variância (em que houve efeito de interações), considerando as variáveis estudadas em uma única época de amostragem apresentados nas Tabelas 13 e 14.

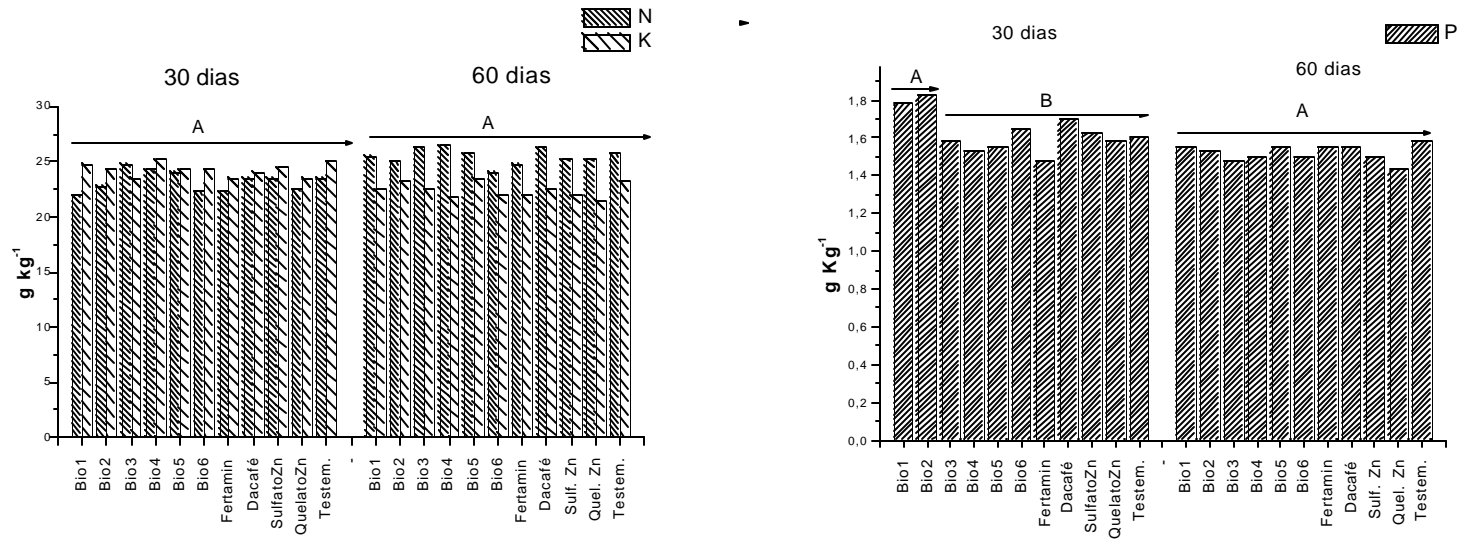


FIGURA 9 - Análise do teor de nitrogênio, potássio e fósforo nas folhas de cafeeiro em $g\ Kg^{-1}$

De acordo com a Figura 9 não houve diferença estatística significativa entre tratamentos, somente entre épocas para o nitrogênio e o potássio (Apêndice 4A) e mesmo comparando as duas épocas de amostragem as diferenças foram muito sutis.

A adição de uréia, com o intuito de melhorar a absorção do zinco, foi feita em todos os tratamentos na mesma concentração, não sendo suficiente para alterar os teores foliares de nitrogênio, o mesmo pode ser verificado em relação ao cloreto de potássio, que também foi adicionado em todos os tratamentos, com a mesma finalidade da uréia, não alterando os teores de potássio nas folhas. Conforme Malavolta, (1981), a análise foliar revelou uma elevada exigência em nitrogênio e potássio nas folhas e frutos do cafeeiro, sendo que o nitrogênio é exigido em maior proporção para o crescimento foliar, ao passo que o potássio aparece em maior concentração nos frutos.

Com relação ao fósforo constatou-se que houve diferença entre tratamentos e épocas (Apêndice 4A). Os tratamentos 1 e 2 apresentaram teores mais elevados para este elemento na primeira amostragem, o que não ocorreu na segunda, onde houve um ligeiro decréscimo dos teores de fósforo, justificado pela interação negativa entre fósforo e zinco, tendo o teor do primeiro nutriente diminuído com o aumento da concentração do segundo. Em termos quantitativos, o fósforo é o macronutriente menos exigido pelo cafeeiro, para o crescimento vegetativo e produção e tanto o fósforo quanto o potássio são extraídos com certa facilidade pelas raízes do cafeeiro (MALAVOLTA, 1981).

É importante considerar que os teores referentes ao nitrogênio, potássio e fósforo, antes da instalação do experimento, apresentados na Tabela 7, já se encontravam dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura do café, estando as plantas adequadamente nutridas conforme Malavolta, (1993).

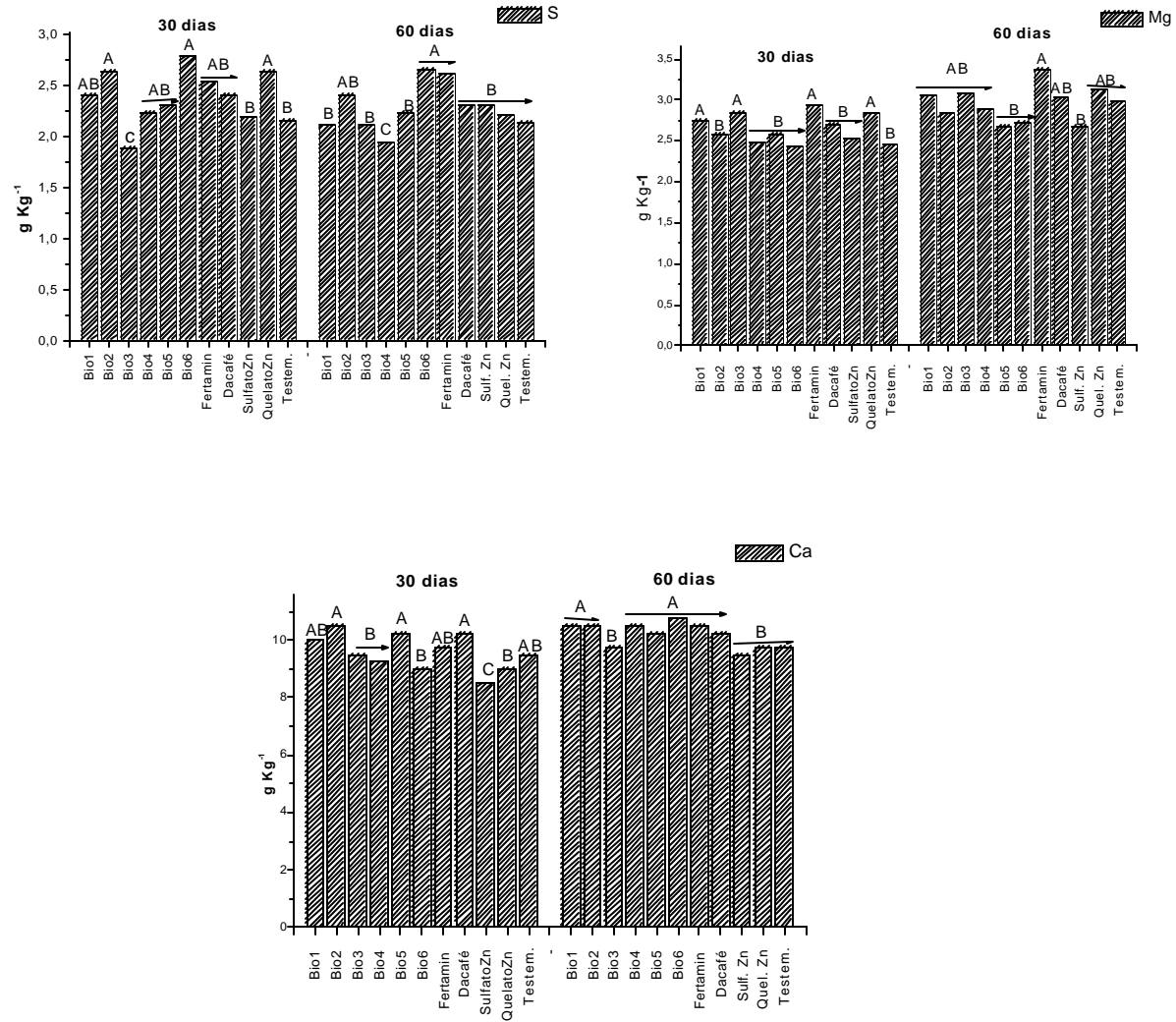


FIGURA 10 - Análise do teor de enxofre, magnésio e cálcio nas folhas de cafeeiro em g Kg⁻¹.

Analisando a figura 10 percebe-se que para o enxofre não houve diferença significativa entre épocas, somente entre tratamentos (Apêndice 5A), sendo os tratamentos 6 (Bio 6) e 7 (Fertamim) os que proporcionaram maiores teores de enxofre, os demais não apresentaram diferença significativa. O magnésio apresentou diferença entre tratamentos e entre épocas (Apêndice 5A), sendo o tratamento 7 (Fertamim), o que proporcionou os melhores resultados aos 30 e 60 dias após a aplicação dos tratamentos. O cálcio apresentou diferença entre tratamentos (Apêndice 5A), sendo os tratamentos 3, 9, 10 e 11 (sulfato de Zn) os que proporcionaram as menores respostas, os demais não apresentaram diferença significativa entre épocas ou tratamentos.

Pode-se constatar pelos resultados referentes ao enxofre, magnésio e cálcio (Tabela 7), antes da aplicação dos tratamentos, que as plantas de cafeeiro também já se encontravam suficientemente nutridas, não sendo percebidas alterações no teor destes nutrientes no decorrer do experimento.

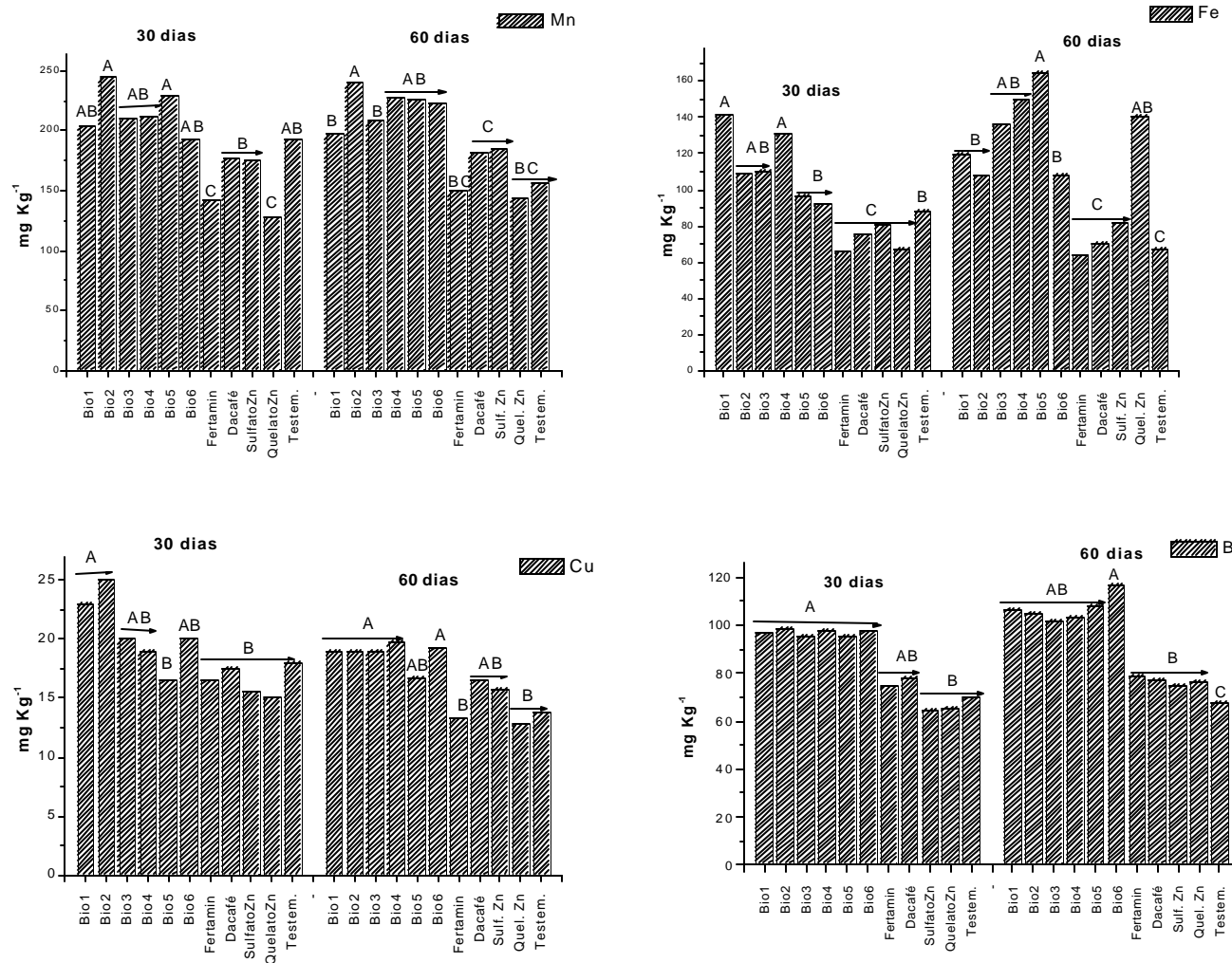


FIGURA 11 - Análise do teor de manganês, ferro, cobre e boro nas folhas de café em mg Kg⁻¹.

Avalia-se na Figura 11 que de uma maneira geral, os micronutrientes manganês, ferro, cobre e boro apresentaram as melhores respostas nos quelatizantes biológicos nas seis concentrações propostas, independente da época.

Para o manganês houve diferença entre tratamentos (Apêndice 6A), onde os maiores teores foram alcançados nos tratamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6 (Bio 1, 2, 3, 4, 5 e 6), sendo que o tratamento 2 proporcionou o maior teor e os tratamentos 7 (Fertamim) e 10 (quelato de Zn) os menores resultados.

O ferro apresentou diferença significativa entre tratamentos e na interação entre épocas e tratamento (Apêndice 6A). Assim como o micronutriente anterior, este também apresentou maior concentração nos tratamentos com quelatizante biológico nas 06 concentrações de Zn, tendo como menores resultados os tratamentos 7 (Fertamim) e 11 (testemunha), evidenciados aos 60 dias da aplicação dos tratamentos, justificado pelo alto teor de ferro encontrado no quelato biológico (Tabela 1).

Para o cobre houve diferença significativa entre tratamentos (Apêndice 6A), o qual apresentou a mesma tendência do manganês e do ferro, com melhores respostas para o quelatizante biológico nas 06 concentrações, e tendo nos tratamentos 7 e 10 as menores respostas.

O boro apresentou apenas efeito de tratamento (Apêndice 6A), mantendo a mesma resposta que os micronutrientes anteriores, o maior teor correspondeu ao tratamento 6 (Bio 6) e o menor teor ao tratamento 11 (testemunha).

Estes resultados podem ser justificados pelo fato dos micronutrientes manganês, ferro, cobre e boro terem sido adicionados aos tratamentos 1, 2, 3, 4, 5 e 6, entretanto um fato que merece ser considerado é que por se tratar de uma solução multinutrientes era de se esperar problemas de incompatibilidade, onde a presença de um nutriente na solução afetaria negativamente a absorção do outro, o que não foi verificado com o decorrer do tempo, onde o quelato biológico demonstrou uma tendência em manter a estabilidade do teor de cada micronutriente na folha, independente da concentração de zinco utilizada, constatado principalmente para manganês, cobre e boro. O que acarreta em inferir que a adição de micronutrientes (Zn, B, Cu, Fe e Mn) ao quelato biológico, além melhorar o equilíbrio

nutricional da planta, permitiu uma visão de conjunto de todos os micronutrientes não pontual do zinco.

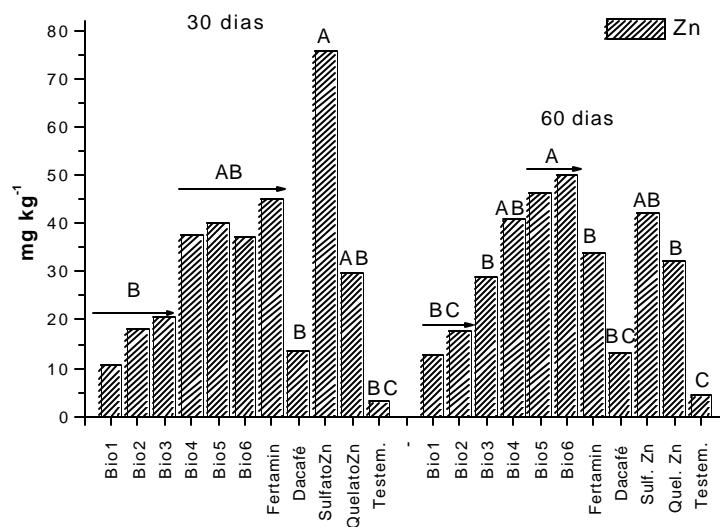


FIGURA 12 - Análise do teor de zinco nas folhas de cafeeiro em mg Kg⁻¹.

Através da Figura 12 constata-se que houve diferença significativa entre tratamentos (Apêndice 7A), onde pode-se ver claramente que as aplicações do quelatizante biológico nas concentrações crescentes de zinco, resultaram também em um aumento crescente no teor de zinco nas folhas, principalmente aos 60 dias após a primeira aplicação dos tratamentos.

Quando compara-se o comportamento de todos os tratamentos na primeira amostragem, destaca-se o tratamento 9 por ter proporcionado o maior teor de zinco nas folhas (75,75 mg Kg⁻¹) entretanto, quando analisa-se este tratamento aos 60 dias encontra-se um decréscimo acentuado do teor de zinco (42,25 mg Kg⁻¹), o que acarreta em concluir que este tratamento (1200 mg Zn dm⁻³) apresentou restrita capacidade em manter o teor foliar de zinco ao longo do tempo, confirmando as indicações do experimento em casa de vegetação.

Em contra partida quando compara-se o comportamento do quelatizante biológico nas 06 concentrações aos 30 e 60 dias da primeira aplicação dos tratamentos, percebe-se a capacidade que este tem em manter o teor foliar de zinco, com o

passar do tempo, onde aos 30 dias para as 06 concentrações de zinco temos respectivamente os teores foliares de 10,50; 18,00; 20,50; 37,50; 40,00 e 37,25 mg Kg⁻¹ e para 60 dias 12,75; 17,75; 29,00; 40,75; 46,25 e 50,00 mg Kg⁻¹, demonstrando a sua alta estabilidade, em função do zinco estar quelatizados. Para Lehman (1963), existem vários fatores que contribuem para a estabilidade dos quelatos tais como: número de anéis formados pela molécula do agente quelante com o íon metálico, o tamanho dos anéis, a natureza dos átomos doadores de elétrons, os efeitos de estabilização de ressonância e esterificação.

Os resultados demonstraram que aos 60 dias da aplicação dos tratamentos, o tratamento 6 (50,00 mg Kg⁻¹) proporcionou o maior teor de Zn absorvido. O tratamento 9 – Sulfato de Zn (42,25 mg Kg⁻¹) obteve teores foliares equivalentes ao tratamento 4 (40,75 mg Kg⁻¹). Os tratamentos 1 (12,75 mg Kg⁻¹) e 8 - Dacafé (13,25 mg Kg⁻¹) não diferiram e os tratamentos 7 – Fertamim (34,00 mg Kg⁻¹) e 10 – quelato de Zn (32,25 mg Kg⁻¹) demonstraram teores foliares similares. O tratamento 11 - testemunha (4,25 mg Kg⁻¹) apresentou o menor resultado.

Dado o fato dos diferentes autores não levarem em consideração na discussão de seus resultados, a idade da planta, o porte, o grau de enfolhamento e a produção (bienalidade), faz com que os níveis críticos sejam variáveis. Desta forma, a definição do nível crítico de um nutriente deve ser vista não como um valor abaixo do mesmo ou, acima do qual, a sua aplicação é economicamente inviável (MALAVOLTA et al., 1974). O nível crítico deve ser entendido como uma faixa de valores adequados que segundo Melo, (1997) corresponde a 10 e 25mg Kg⁻¹ variando segundo a produtividade.

TABELA 13 – Teor de cálcio, boro, cobre, ferro e zinco nos grãos de café, em função da aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Grãos Ca -----g Kg ⁻¹ ---	Grãos B -----mg Kg ⁻¹ -----	Grãos Cu -----mg Kg ⁻¹ -----	Grãos Fe -----mg Kg ⁻¹ -----	Grãos Zn -----mg Kg ⁻¹ -----
1 – Bio 1	1,10 AB	21,33 A	18,00 AB	28,66 ABC	6,667 ABC
2 – Bio 2	1,17 AB	17,00 ABCD	17,00 B	26,25 C	6,75 ABC
3 – Bio 3	1,15 AB	19,250 ABC	18,50 AB	26,50 BC	7,25 ABC
4 – Bio 4	1,20 AB	18,250 ABC	22,00 A	32,75 A	8,00 ABC
5 – Bio 5	1,27 AB	20,00 AB	20,75 AB	33,25 A	8,75 ABC
6 – Bio 6	1,40 A	18,75 ABC	20,00 AB	32,75 A	10,250 A
7 – Fertamim	1,23 AB	14,00 BCD	18,75 AB	32,50 AB	6,25 ABC
8 – Dacafé	1,13 AB	11,00 D	19,00 AB	29,00 ABC	5,66 BC
9 – Sulfato de Zn	1,05 B	11500 D	19,500 AB	33,50 A	10,250 A
10 - Quelato Zn	0,95 B	13,50 CD	18,00 AB	30,500 ABC	9,50 AB
11 – Testemunha	0,97 B	14,75 BCD	18,250 AB	28,25 ABC	4,75 C
C.V.	10,88	14,33	9,31	7,52	10,91
D.M.S.	0,33	6,24	4,72	6,05	4,36

C. V. – coeficiente de variação, em porcentagem (%)

D.M.S. – diferença mínima significativa do Teste TuKey (a = 5%)

Médias na vertical seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tuckey 5% de probabilidade.

De acordo com Malavolta (1981) os frutos têm participação aparentemente pequena de 1/10 a 1/20 do total dos nutrientes absorvidos, enquanto que as folhas apresentam entre 1/3 e 1/2 da quantidade de nutrientes encontrados na planta toda .

Analisando os dados referentes ao teor de nutrientes nos grãos verifica-se efeito de tratamentos apenas para o cálcio, boro, cobre, ferro e zinco apresentados na Tabela 13.

Para o teor de cálcio nos grãos concluí-se que este apresenta-se abaixo do teor considerado adequado, aproximadamente 2,7 g kg⁻¹, independente do tratamento aplicado. Um aspecto que não pode ser esquecido é que a velocidade de absorção não tem a ver com a taxa de translocação, uma vez que o Ca é rapidamente absorvido, mas não é translocado, fato este confirmado através da Figura 7, onde o teor de Ca nas folhas, encontrava-se na faixa adequada, entretanto nos grãos este nutriente encontra-se deficiente. A fonte de nutriente também tem efeito importante na relação entre absorção e translocação. Neste sentido percebe-se uma tendência a melhores resultados para os tratamentos com

quelatos, sendo o tratamento 6 (Bio 6) o que proporcionou maior translocação de Ca para os grãos.

Os resultados apresentados quanto ao teor de B nos grãos, estão dentro dos padrões adequados, aproximadamente 16 mg Kg^{-1} e apresentaram uma tendência de melhores respostas quando se utilizou o quelato biológico nas 06 concentrações de zinco, justificado pelo fato destes tratamentos terem recebido a adição de micronutrientes, incluindo o boro. De acordo com Leite (2002) os frutos necessitam de um suprimento contínuo de boro, sendo o teor do nutriente independente do suprimento, demonstrando a prioridade de dreno dos frutos em relação ao crescimento vegetativo, o que demonstra que há um fornecimento constante de boro para o fruto à medida que a planta é suprida adequadamente, concordando com as respostas encontradas neste trabalho.

O cobre também apresentou teor adequado nos grãos, aproximadamente 15 mg Kg^{-1} , demonstrando que a translocação ocorreu independente do tratamento utilizado. Para o Ferro encontra-se valores abaixo do adequado, aproximadamente 60 mg Kg^{-1} , os maiores teores foram para os tratamento 4, 5, 6 (Bio 4, 5 e 6) e 9 (convencional – Sulfato de Zn), concordando com Rosolem (2002), que relatou que mesmo utilizando fontes que proporcionam melhor translocação para o Fe a quantidade que realmente sai da folha, é muito pequena.

Vale ressaltar também, que segundo dados de Catani et al, (1967), a acumulação de micronutrientes nos frutos é contínua, o que sugere transporte a longa distância, isto é, fornecimento via raiz.

Com relação ao teor de zinco nos grãos estes foram crescentes, de acordo com o aumento da concentração de zinco nos tratamentos. O tratamento 6 e o 9 foram equivalentes e apresentaram os maiores valores, o tratamento 11 (testemunha) apresentou o menor resultado. O mecanismo de remobilização limitada de Zn para os grãos pode ser atribuído a alta capacidade de ligação dos tecidos das folhas com este nutriente (ZHANG & BROWN, 1999).

TABELA 14 – Teores de potássio, enxofre, boro, cobre, manganês e zinco em casca de grãos de café, em função da aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Casca K ----g Kg ⁻¹ ----	Casca B -----	Casca Cu -----	Casca Mn -----mg Kg ⁻¹ -----	Casca Zn -----
1 – Bio 1	31,66 A	34,33 AB	19,33 AB	38,33 AB	11,00 BC
2 – Bio 2	31,00 AB	27,75 AB	19,75 AB	48,25 AB	8,25 C
3 – Bio 3	31,25 A	30,50 AB	19,50 AB	42,75 AB	22,75 ABC
4 – Bio 4	30,50 AB	28,00 AB	19,75 AB	45,25 AB	15,25 BC
5 – Bio 5	30,00 AB	32,00 AB	21,75 AB	47,75 AB	31,75 AB
6 – Bio 6	30,75 AB	34,75 A	23,25 AB	50,50 A	39,75 A
7 – Fertamim	30,50 AB	26,75 AB	19,75 AB	26,00 B	18,25 ABC
8 – Dacafé	28,66 AB	24,00 B	21,33 AB	38,33 AB	15,33 BC
9 – Sulfato de Zn	30,00 AB	25,75 AB	25,25 A	38,00 AB	29,00 ABC
10- Quelato Zn	26,50 AB	24,00 B	23,00 AB	27,00 B	17,50 ABC
11 – Testemunha	24,25 B	32,00 AB	18,50 B	36,00 AB	9,75 BC
C.V.	8,71	13,59	10,84	21,39	41,77
D.M.S.	6,84	10,54	6,01	22,95	22,46

C. V. – coeficiente de variação, em porcentagem (%)

D.M.S. – diferença mínima significativa do Teste TuKey (α = 5%)

Médias na vertical seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tuckey 5% de probabilidade.

Os dados referentes aos teores de nutrientes em casca de grãos de café, apresentaram efeito de tratamentos para o potássio, boro, cobre, manganês e zinco demonstrados na Tabela 14.

O potássio é um elemento muito exigido e bastante exportado para os grãos, apresentando-se em maior proporção na casca. O maior teor de potássio ocorreu no tratamento 3 e o menor no tratamento 11 (testemunha), os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa e os micronutrientes B, Cu e Zn tiveram o mesmo comportamento que nos grãos, com tendência a melhores resultados para os quelatos biológicos nas seis concentrações, justificado pelo fato de terem sido adicionados a estes tratamentos, a exceção do cobre que apresentou maior teor na casca quando foi aplicado o tratamento 9 (sulfato de zinco).

O manganês apresentou teores considerados altos (29 mg Kg⁻¹), o que não era de se esperar já que este elemento é pouco translocado para os frutos e sementes, conforme Kabata-Pendias & Pendias (1985). O tratamento 6 (Bio 6), possibilitou maior translocação de Mn para os grãos, o que também é contraditório, já que o aumento de zinco

diminui o teor de manganês, entretanto analisando-se a Tabela 7 o teor de Mn nas folhas também estava alto, o que permite concluir que a translocação deste nutriente para os grãos foi proporcional ao teor encontrado nas folhas.

6.2.2. Análise de solos

Os dados da análise de solos foram submetidos ao teste Tukey a 5% de probabilidade com os resultados apresentados na figura 13.

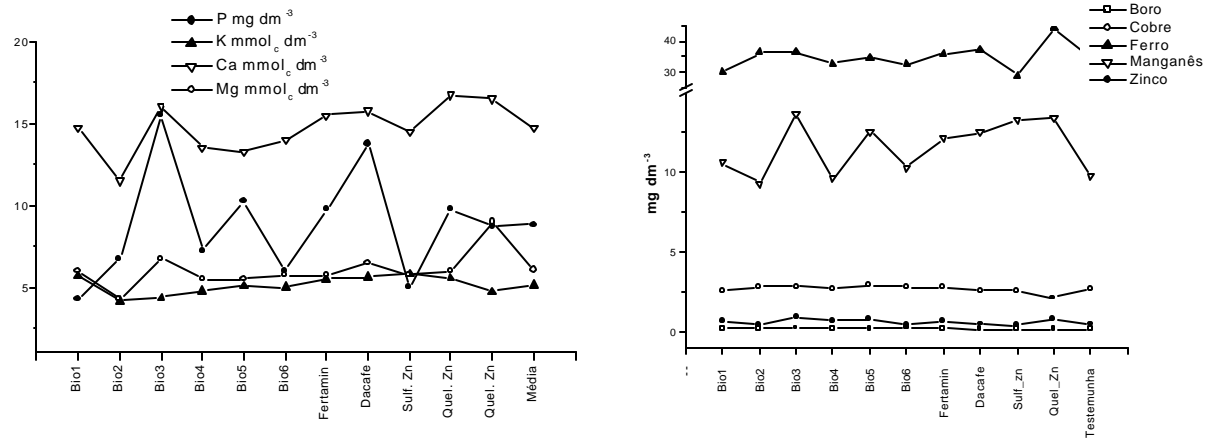


Figura 13 – Comportamento de macro e micronutrientes no solo após a aplicação dos tratamentos.

A Figura 13 contém os teores médios de macro e micronutrientes, obtidos pela análise de solo, demonstrando claramente que os teores no solo, principalmente para micronutrientes, não sofreram variações, mantendo-se em níveis considerados adequados no decorrer do experimento, o que evidencia que as respostas obtidas através da análise foliar tiveram influência direta da aplicação dos tratamentos. Mesmo porque o tempo em que se desenvolveu o experimento foi curto (2 anos) para que se pudesse perceber o efeito residual de macro e micronutrientes no solo.

6.2.3. Produtividade

Os dados utilizados para as análises estatística foram as produtividades médias, obtidas antes e após a aplicação dos tratamentos, com respostas em sacas por hectare, apresentadas e discutidas a seguir.

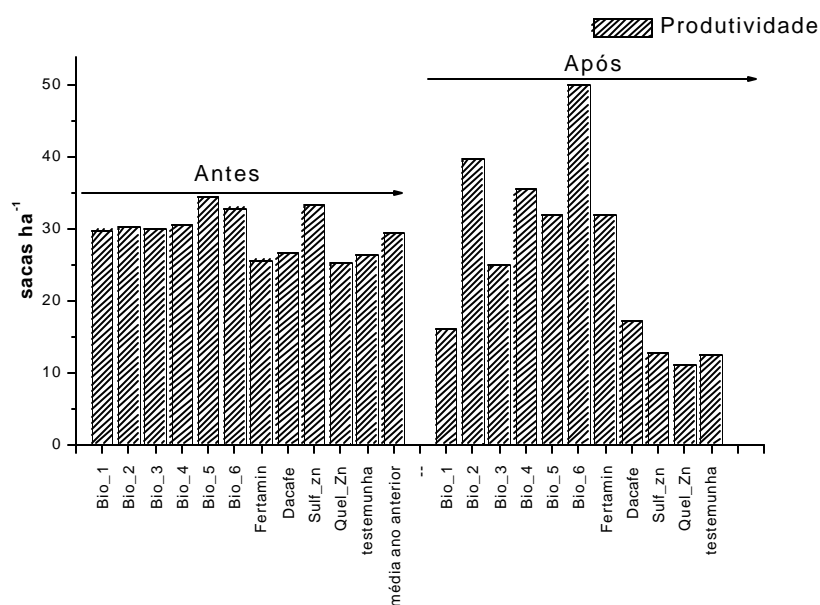


Figura 14 – Produtividade média dos anos agrícolas 2000/2001 (antes da aplicação dos tratamentos) e 2001/2002 (após a aplicação dos tratamentos) em saca (60Kg) por hectare.

As alternâncias em grandes e pequenas produções são uma constante no cafeeiro, sendo isto uma característica nas variedades arábicas quando cultivadas a pleno sol e, atribui-se como causas desta bienalidade às condições climáticas, nutricionais ou as condições adversas de cultivo (Melo, 1997).

Em função disto, Stevens (1949) e Fraga Jr. & Conagin (1956), sugeriram interpretar os resultados utilizando-se a produção total ou a colheita média através do número par de anos de produção ou ainda, a produção média de dois anos, conhecida como produção por biênio. Entretanto, devido ao curto prazo para desenvolvimento desta pesquisa, não foi possível fazer uso destes critérios e apesar de entender-se que a produção individual dos anos de baixa produção, às vezes não refletirem, a aplicação dos tratamentos, tentou-se interpretar os dados levando em consideração apenas a comparação dos tratamentos entre si e confrontando estas respostas com a produção do ano anterior à aplicação dos tratamentos.

Desta forma, comparando os resultados de produção média antes e após a aplicação dos tratamentos, apresentados na Figura 14 verifica-se que a safra do ano agrícola 2000/2001 (ano de alta produtividade) apresentou uma média de produção da ordem de 29,44 sacas beneficiadas por hectare, enquanto que a média da safra do ano agrícola 2001/2002 (ano de baixa produtividade) foi de 27,14 sacas beneficiadas por hectare, que é 2,8 vezes maior que a média nacional, comprovando uma boa produção no ensaio. Essa diferença é atribuída a própria característica do ciclo produtivo do cafeeiro, descrita anteriormente.

De acordo com a análise estatística houve diferença significativa entre tratamentos (safra do ano agrícola 2001/2002), sendo o tratamento 6 (Bio 6 – 1200 mg Zn dm^{-3}) o que apresentou a maior média de produtividade com 45,97 sacas beneficiadas ha^{-1} , seguida do tratamento 2 (Bio 2 – 400 mg Zn dm^{-3}) com 36,40 sacas ha^{-1} , o tratamentos 7 (fertamim - 400 mg Zn dm^{-3}) proporcionou 29,39 saca ha^{-1} e foi equivalente ao tratamento 5 (Bio 5 – 1000 mg Zn dm^{-3}) com 29,37 saca ha^{-1} .

Os tratamentos 1 (Bio 1- 200 mg Zn dm^{-3}), 3 (Bio 3 - 600 mg Zn dm^{-3}) e 4 (800 mg Zn dm^{-3}), proporcionaram produções crescentes, respectivamente, 14,68, 22,85 e 32,65 sacas ha^{-1} , enquanto que as menores médias de produtividade foram para os tratamentos 9 (sulfato de Zn - 1200 mg Zn dm^{-3}) com 11,61 sacas ha^{-1} e 10 (quelato de Zn - 600 mg Zn dm^{-3}) com 10,23 sacas ha^{-1} , os quais foram estatisticamente iguais a testemunha que apresentou 11,47 sacas ha^{-1} .

Ao analisar-se as produtividades em função do nível crítico de zinco nas folhas têm-se o tratamento 2 como o mais eficiente, já que este proporcionou teor na folha da ordem de $17,75 \text{ mg Kg}^{-1}$ com uma safra, superior a média do ano de alta produção. Os produtos comerciais Fertamim e Dacafé na mesma concentração do Bio 2 ($400 \text{ mg Zn dm}^{-3}$) proporcionaram produtividades inferiores e teor de zinco nas folhas, de $34,00 \text{ mg Kg}^{-1}$ e $13,25 \text{ mg Kg}^{-1}$, respectivamente. No entanto, quando o teor foliar de zinco atingiu $50,00 \text{ mg Kg}^{-1}$, além de não ocorrer manifestação de efeito fitotóxico, obteve-se a maior produção. De acordo com Santinato et al., (1993), teores de zinco superiores a 30 mg Kg^{-1} nas folhas após 30 a 40 dias das aplicações estão relacionados à queda na produção, a fitotoxidez com teores entre 50 a 89 mg Kg^{-1} e a maior produtividade aos teores entre 19 e 21 mg Kg^{-1} .

Portanto, não se pode sugerir o nível crítico de zinco nas folhas, para este experimento, uma vez que os resultados aqui descritos referem-se a um ano de baixa produtividade, o que influenciou diretamente nos teores foliares encontrados, já que o zinco aplicado ficou mais concentrado nas folhas ou melhor, o teor correspondente a produção máxima foi mais elevado. De acordo com Melo (1997), em anos de alta produtividade devido a maior diluição do zinco dentro da planta e um maior carreamento do zinco da parte vegetativa para os frutos, o teor correspondente às máximas produções são menores. Desta forma, somente com a produção média do biênio é que pode-se sugerir o nível crítico de zinco que, segundo definição de Malavolta et al. (1974) é o teor abaixo do qual a produção é limitada pela falta do nutriente e acima do mesmo seria economicamente inviável.

Assim pode-se inferir apenas, que o resíduo biológico quelatizante nas seis concentrações de zinco estudadas, proporcionou as maiores produtividades quando comparadas com os demais tratamentos e produtividade do ano anterior a aplicação dos tratamentos.



Figura 15 – Traslocação de zinco para os frutos em função da produtividade por hectare.

A figura 15 (Apêndice 8A) demonstra que o cafeeiro respondeu às concentrações crescentes de zinco do quelato biológico, aplicados via foliar, aumentando a concentração deste nutriente nos frutos, levando em consideração a produtividade. O tratamento 6 (Bio 6 - 1200 mg Zn dm⁻³) apresentou a maior eficiência, seguindo uma tendência, já que os maiores teores nas folhas, grão e cascas e maior produtividade, também foram conseguidos com este tratamento. Os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5 (Bio 1, 2, 3, 4 e 5) tiveram aumentos crescentes na translocação de zinco para os frutos, proporcionais às concentrações crescentes de zinco.

O tratamento 9 (Sulfato de zinco - 1200 mg Zn/dm³), apesar de ter a mesma concentração de zinco que o tratamento 6, não proporcionou os mesmos resultados, comprovando a melhor eficiência do quelato biológico na translocação de zinco para os frutos ha⁻¹. O tratamento 7 (Fertamin - 400 mg Zn dm⁻³) mesmo apresentando melhor resultado quanto ao teor de zinco translocado, a sua produtividade foi inferior ao tratamento 2 (Bio 2) na concentração equivalente. Os tratamentos 8 (Fertamim), 10 (quelato de zinco) e 11 (testemunha) não diferiram quanto ao teor de zinco translocado para os fruto.

Desta forma pode-se inferir que o quelatizante biológico nas 6 concentrações estudadas, foi bastante eficiente na translocação de zinco para os frutos, em parte justificado pelo fato do zinco apresentar-se quelatizado, portanto, sem cargas livres, diferente do que ocorreu com o Zn-SO_4 que apresenta alta afinidade pelas cargas existentes na parede celular, dificultando a sua translocação (ZHANG, 1993) . Outro ponto que pode ter influenciado nos resultados é o fato de terem sido adicionados micronutrientes balanceados ao quelato biológico proporcionando maior equilíbrio nutricional para a cultura, fato este que se refletiu na maior translocação de zinco e melhores produtividades, independente dos teores foliares encontrados, concordando com os resultados encontrados por Santos, (2000) quando trabalhou com quelato biológico aplicados em feijoeiros.

7. CONCLUSÕES

1. As pulverizações foliares do quelatizante biológico nas concentrações de zinco estudadas, resultaram em teores crescentes de zinco nas folhas do cafeeiro, apresentando maior estabilidade até 120 dias após a última pulverização, para o experimento em casa de vegetação e 60 dias para o experimento de campo.

2. A adição de micronutrientes balanceados (Zn, B, Cu, Fe e Mn), ao quelatizante biológico, além de melhorar o equilíbrio nutricional da planta proporcionando efeito sinérgico, diminuiu a incompatibilidade de alguns nutrientes, permitindo uma visão de conjunto e não de apenas um único elemento.

3. O quelatizante biológico, proporcionou maiores produtividades no campo para as seis concentrações de zinco, bem como a melhor translocação de zinco para os frutos de cafeeiro.

4. Não foi verificado efeito fitotóxico do quelato biológico em qualquer das concentrações propostas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS¹

ABRAHÃO, E. J. et al. Efeitos da aplicação foliar do sulfato de zinco, na presença e ausência de cloreto de potássio, no teor de zinco nas folhas e na produção do cafeeiro (*Coffea arabica*, L.) In: CONGRSSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Resumos...** Espírito Santo do Pinhal: Instituto Brasileiro do Café, 1990. p. 116-117.

ADRIANO, D. C.; PAULSEN, G.M.; MURPHY, L. S. Phosphorus-iron and phosphorus-zinc relationship in corn (*Zea mays* L.) seedlings as affected by mineral nutrition. **Agronomy Journal**, Madison, n. 63, p.:36-39, 1971.

ALVAREZ, C. Utilização de quelatos em adubação foliar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ADUBAÇÃO FOLIAR, 2., 1987, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FUNDAÇÃO DE ESTUDOS E PESQUISAS AGRÍCOLAS E FLORESTAIS, 1987. p. 131-143.

ANANTH, B. R.; TYENGAR, R. R. U.; CHOKKANNA, N. G. Widespread zinc deficiency in coffee in India. **Turrialba**, Costa Rica, v.15, n.21, p.71-87, abr./jun.1965.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ: coffee business. Rio de Janeiro: Coffee Business, 6º ed., 2000-2001. 161p.

¹ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24p.

ARZOLLA, J. D. P. **Contribuição ao estudo da absorção e da translocação do radiozinco no cafeeiro**. 1955. 38 f. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1955.

ARZOLLA, J. D. P.; A. A. G., H. P.; MALAVOLTA, E. Estudo sobre alimentação mineral do cafeeiro. VIII – Estudo da absorção e da translocação do radiozinco no cafeeiro (*Coffea arabica*). **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.19. p. 35-52, 1962.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGRIBUSINESS. **Segurança alimentar**: uma abordagem de agribusiness. São Paulo: Agribusiness, 1993. 162p.

BARROS, U. V. et al. Fontes e doses de zinco (Zn) na formação do cafeeiro em solo LVH - Zona da Mata - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia. **Trabalhos apresentados...** Águas de Lindóia: Instituto Brasileiro do Café, 1996. p. 120-121.

BLANCO, H. G. **Estudos sobre absorção de zinco por folhas de cafeeiro** (*Coffea arabica* L.). 1970. 77f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.

BLAZEJ, A.; PRIVAROVA, V. **Environmental biotechnology**. Elsevier Publish, 1991. (Studies in environmental science, 42).

BOARETTO, A. E. **Adubação foliar**: problemas e perspectivas. Faculdade de Ciências Agrônomicas - Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2002. 31 p. (Apostila da Disciplina Uso e Manejo de Fertilizantes e Corretivos).

BRASILEIRO, S. Emprego permanente: o café gera emprego, tem importante função social e merece o trabalho e interesse permanente do parlamento. **Agroanalises**, Rio de Janeiro, v.18, n.11, p.32-33, Nov. 1998.

BRUNE, A.; URBACH, W.; DIETZ, K. J. **Compartmentation and transport of zinc in barley primary leaves as basic mechanisms involved in zinc tolerance**. Plant, Cell and Environment, Wurzburg, v. 17, n.2, p 153-162, Feb. 1994.

BÜLL, L. T.; ROSOLEM, C. A. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. 360p.

CAIXETA, G.Z.T. Como ter uma cafeicultura rentável. **Anuário Estatístico do Café**, Rio de Janeiro, v.3, p.18-22, 1997.

CAMARGO, A. P. As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRA, 24., 1998. Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1998. v.1, p.41-42.

CAMARGO, P. N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: Herba, 1975. 258 p.

CARVALHO, W. A; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado: Estação Experimental “Presidente Médici. **Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agrônômica. Universidade Estadual Paulista**, Botucatu, n.1, p.1-95, 1983.

CATANI, R. A.; et al. Concentração e quantidade de micronutrientes e de alumínio no cafeeiro, *coffea arabica* L., variedade Mundo Novo. [B.Rodr.] Chaussy, aos dez anos de idade. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.24, p. 97-106, 1967.

CORDEIRO, A. T. et al. Absorção foliar de zinco pelo cafeeiro na presença de cloreto de potássio e oxiclreto de cobre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRAS. 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1990. p. 34-35.

COSTA, P. C. Eficiência de adubo foliar formulado no fornecimento dos micronutrientes zinco e boro em comparação à aplicação de sais na cultura do café. . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRAS. 16., 1992, Espírito Santo do Pinhal. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1992. p. 67-69.

CUNHA, A. R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Küpper. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999. p. 487-491.

DECHEN, A. R. Mecanismos de absorção e transporte de micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1998, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1991a. p.153-161.

DECHEN, A. R. Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1988., Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrônômicas e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, 1991b. v. 1, p. 133-168.

DEMATTE, J. L. I. Resíduos industriais como fonte de matéria orgânica. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. **Resumos...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1992. p.129-148.

EIRA, A. **Tratamento de resíduos agro-industriais**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999. 6 p. Mimeografado.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FAVARO, J. R. et al. Mobilidade do zinco em folhas do cafeeiro. In: CONGRSSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 16, 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Resumos...** Espírito Santo do Pinhal: INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1990. p. 41.

FAVARO, J. R. A. **Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta a nutrição foliar de zinco na presença de cloreto de potássio**. 1992. 91 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

FERRANDON, M., CHAMEL, A. R. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn e Zn supplied in organic and inorganic form. **Journal Plant Nutrition**, New York, v. 11, p. 247-263, 1988.

FERRANDON, M.; CHAMEL, A. R. Foliar uptake and translocation of iron, zinc and manganese. Influence of chelating agents. **Plant Physiology Biochemistry**, Paris, v. 27, p. 713-722, 1989.

FERREIRA, M. E. et al. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. 600 p.

FORBES, E. A.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. The Specific adsorption of divalent Cd, Cu, Pb and Zn on goethite. **Journal of Soil Science**, Oxford , v.27. p.154-166, 1976.

FRAGA Jr., C. G.; CONAGIN, A. Delineamentos e análises de experimentos com cafeeiros. **Bragantia**, Campinas, v. 15, n.17, p.177-191, 1956.

FRANCO, C. M. Micronutrientes na cultura do cafeeiro. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Micronutrientes**. Campinas: Fundação Cargill, 1982. p. 75-90.

FRANCO, I. A. L. **Translocação e compartimentalização de Zn em cafeeiro e feijoeiro, aplicado via raízes e folhas**. 1997. 68f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de viçosa, Viçosa, 1997.

GARCIA, A.W.R.; SALGADO, A.R. Absorção do zinco pelo cafeeiro através de sais e misturas quelatizadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 9, 1981, São Lourenço. **Resumos...** São Lourenço: INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1981. p. 39-47.

GLÓRIA, N. A. Resíduos Industriais como fonte de matéria orgânica. In: ENCONTRO SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO: PROBLEMAS E SOLUÇÕES, 1992, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 1992. p.129-148.

GUIMARÃES, P.T.G.; CARVALHO, J.G.; MELLES, C.C.A. Efeitos da aplicação foliar de doses de sulfato de zinco na produção e composição mineral das folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Anais da ESALQ**, v. 40, n.1, p. 497-507. 1983.

HUERTA, S. A. Par de hojas representativo del estado nutricional del cafeto. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 14, n.2, p.111-128, abr/jun. 1963.

JACOBSON, L. Maintenance of iron supply in nutrient solutions by a single addition of ferric ethylenediamine. **Plant Physiology**, Washington, v. 26, p. 411-413, 1950.

JONES, U. S. **Fertilizer and soil fertility**. Virginia: Reston, 1979. p.368.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC press, 1985. 315 p.

KANNAN, S. Mechanisms of foliar uptake of plant nutrients: accomplishments and prospects. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.2, p. 717-35, 1990.

LAURIE, S. H., MARTHEY, J. A. The chemistry and role of metal ion chelation in plant uptake processes. In: MANTHEY, J. A.; CROWLEY, D. E.; LUSTER, D. G. **Biochemistry of metal micronutrients in the rizosphere**. Boca raton: Lewis Publisher, 1994. p. 165-182.

LEHMAN, D. S. Some principles of chelation chemistry. Soil Science Society. p.167-70, 1963.

LEITE, V. M. **Absorção e translocação de boro em cafeeiro**. 2002. 105f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

LINDSAY, W. L. Inorganic phase equilibrium of micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J. J., GIORDANO, P. M. , LINDSAY, W. L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p.41-78.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibrium in soils**. Nova Iorque: Jonh Wiley, 1979. 449 p.

LONGNECKER, N. E.; ROBSON, A. D. Distribution and transport of zinc in plants in plants. In: ROBSON, A. D. (ed.). **Zinc in soil and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. p.79-91.

LOPES, A . S. Micronutrientes: filosofia de aplicação, fonte, eficiência agrônômica e preparo de fertilizantes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 2., 1988, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agronômicas e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, 1991. p 577- 578.

LOPES, A. S. Uso eficiente de fertilizantes com micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais...**Brasília: EMBRAPA, 1984. (Documento 14).

LOPES, A. S., CARVALHO, J. C. de Micronutrientes: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: REUNION BRASÍLIA DE FERTILIZED DO SOLO, 27., SIMPÓSIO: ENXOFRE E MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1988, Londrina. **Anais...** Londrina: Centro Nacional de de Pesquisa de Solo/EMBRAPA, 1988. p. 133-178.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. Micronutrientes para o cafeeiro. In: SEMIN. TALER SOBRE NUTRITION MINERAL DEL CAFETO. Antigua: IICA/PROMECAFE, 1989. p. 7-42.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**. 4 ° ed. São Paulo: Ultrafertil, 1981. 40 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E. Os micronutrientes. In: MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade de solo**. São Paulo: Ceres, 1976. p. 413-448.

MALAVOLTA, E. et al. **Nutrição e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 1974. 727 p.

MALAVOLTA, E. et al. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro - Absorção radicular de sais de zinco marcados com zinco radiativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIEIRA, 22., 1996, Águas de Lindóia **Anais...** Águas de Lindóia: s.n., 1996. p. 67-68.

MALAVOLTA, E. et al. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro. 53. Absorção foliar de sais e quelado de zinco marcados com radiozinco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 21., 1995, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** Caxambu: s.n., 1995. p. 114-115.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

MALTA, M. R. **Absorção, translocação, compartimentalização e metabolismo do Zn aplicado via foliar em mudas de cafeeiro**. (*Coffea arabica* L.). 2000. 57f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MARTELL, A. Z.; CALVIN, M. **Chemistry of the chelate compounds**. 2nd ed. New York: Prentice-Hall, 1952. 613 p.

MATIELLO, J.B. Fatores que afetam a produtividade do café no Brasil. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa do Fósforo e Potassa, 1986. p. 1-12.

MATSUDA, K.; IKUTA, M. Adsorption Strength of zinc for soil humus. I Relationship between adsorption forms and adsorption strengths of zinc added to soils and soil humus. **Soil Science and Plant Nutrition**, Burkyo-Ku, v.15, p.169-174, 1969.

MATTIAZO-PREZOTTO, M. E. Química ambiental e Agronomia. In: XX REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba, 1992. p. 157-177.

McNALL, L. R. Foliar application of micronutrient. **Fertility Soils**. v.11, n. 6, p.8-13, 1967.

MEDCALF, J. C.; LOTT, W. T. **Metal chelates in coffee**. Nova Iorque: IBEC Research Institute, 1956. 19 p. (Bulletin, 11).

MEDRANO A.R. O descobridor do óbvio. **Preços Agrícolas: Mercado e Negócios Agropecuários**, São Paulo, v.12, n.142, p. 5, ago. 1998.

MELO, E. M. **Efeito da aplicação foliar de sulfato de zinco na produção e na composição mineral das folhas do cafeeiro** (*Coffea arabica* L.). 1997. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

MORTVEDT, J. J. Micronutriente fertilizers and fertilization practices. In: VLEK, P. L. G. Micronutrientes in tropical food crop production. Dordrecht: s.n., 1985. p. 260 (Developments in Plant and Soil Sciences, 14).

MORTVEDT, J. J. Sequestration and Chelation. In: PALGRAVE, D. A. Fluid fertilizer science and technology. **Fert. Science and technology series**, v. 7, p. 177-188, 1991.

MOYSÉS, E. L. de F. D. **Acumulação de matéria seca e absorção de nutrientes pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí em solução nutritiva com diferentes doses de zinco e Ph.** 1988. 147f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

MULLER, L. E. **Algunas deficiencias minerales comunes el cafeto (*Coffea arabica* L.).** Costa Rica: IICA, 1959. 41 p. (Boletim, 4)

OLIVEIRA, M. F. G. et al. Fluxo difusivo do zinco em amostras de solo influenciado por textura, íon acompanhante e pH do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.23, n.3, p.609-615, jul./set. 1999.

PARANHOS F. A. et al. Análise biométrica amostral não destrutiva da área foliar do cafeeiro. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1998. p.43-5.

PARDUCI, S.; CAMARGO, R. P. **Micronutrientes para o cafeeiro.** Campinas: Microquímica. 1990. 21 p.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; MIYAZAWA, M.; CARDOSO, R. M. L.; SILVA, E. da Remoção de resíduos químicos e físicos da superfície das folhas para diagnóstico nutricional do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.8, p. 319-324, 1984.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração.** Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, J. E.; CRAFTS, A. S.; YAMAGUCHI, S. Translocation in coffee plants. **Turrialba**, San Jose, v. 13, n.2, p. 64-79, abr./jun. 1963.

PRIMAVESI, O. Resultados com nitrofoska foliar em diversas culturas no Brasil. In: BOARETO, A. E.; ROSOLEM, C. A. SIMPÓSIO DE ADUBAÇÃO FOLIAR. 1., 1981, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1981. p. 73-95.

RAIJ, B. van ; QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 81, p. 1-31, 1983.

RAIJ, B. van Geoquímica de micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1991. p. 175.

RAIJ, B. van, et al. **Recomendações básicas de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p. (Boletim Técnico, nº 100)

RAIJ, B. van.; BATAGLIA, O . C. Análise química do solo para micronutrientes. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 2., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrônômicas e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, 1991. p. 537-545.

RAMANI, S.; KANNAN, S. Studies on translocation of zinc in bean plants: evidence for translocation during new growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 121, p. 313-318, 1985.

RENA, A. B.; CORDEIRO, H. T., ALVES. J. D. Absorção foliar de zinco pelo cafeeiro na presença de uréia e cloreto de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Resumos...**Rio de Janeiro: MIC/INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1990. p.40.

RENA, A. B. **Adubação foliar no cafeeiro**. Piracicaba: Informações Agrônômicas. POTAFOS, n. 46, p. 1-2, 1989.

RODRIGUES, L. A. et al. Absorção e translocação de zinco em feijoeiro aplicado via foliar. Viçosa. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.2, n.9, p.11-15, 1997.

RODRIGUES, S.D. **Metabolismo do zinco**. Botucatu: Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, 1990. 13 p. Mimeografado.

ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, Fundação de Apoio Ensino, Pesquisa e Extensão. 2002. 99 p. (Textos acadêmicos)

ROSOLEM, C.A. **Eficiência da adubação foliar**. Botucatu: Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, Universidade Estadual Paulista. 1986. (Resumo).

SACRAMENTO, L.V.S. **Absorção foliar, radicular e translocação de zinco em cafeeiro** (*Coffea arabica* L.). 1998. 125f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.

SANTINATO, R. et al. Quantificação de cloreto de zinco via foliar para cafeeiro, seu efeito sobre florada e seu comportamento no solo LVA argiloso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 19., Três Pontas, 1993. **Resumo**... Rio de Janeiro: MAARA-PROCAFE, 1993. p.124-126.

SANTO, J.O.E. Dose e modo de aplicação dos micronutrientes, zinco boro e cobre na formação do cafeeiro, em solo Latosolo Vermelho Amarelo Húmico, no Jequitinhonha em Minas-Capelinha (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Resumos**...Rio de Janeiro: SEPRO/DEPET/DIPRO/INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1985. p. 226-227.

SANTOS, A. C. V. dos; AKIBA, F. **Biofertilizante líquido**: uso correto na agricultura alternativa. Seropédica : Imprensa Universitária, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1996. 33 p.

SANTOS, R. C., PACCOLA, A. A., SILVA, S. M. Behavior Study of Residual Chelated Fertilizer Obtained From Biological Clay Bleaching Process Comparing to EDTA, In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNOLOGY AND GLOBAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT ,5., 2000a, Belo Horizonte. **Anais**... Belo Horizonte, 2000a. 30-38p. (Platform papers).

SANTOS, R. C.; PACCOLA, A. A eficiência de adubação com micronutrientes quelatizados por resíduo biológico na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: REUNIÃO BRASILEIRA FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS - FERTBIO, 25., 2000b, Santa Maria. **Anais**... Santa Maria, 2000b. p.2 (Trabalho destaque - 892).

SANTOS, R. C. **Comportamento do fertilizante biológico residual quelatizado em comparação ao EDTA, no Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

SARRUGE, J. R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopatologica**, Piracicaba, v.1, p. 231-333, 1975.

Statistical analysis system for Windows Release 6.12- SAS System Help. Cary, North Carolina, 1996.

SHUMAN, L. M. Effect of ionic strength and anions on zinc adsorption by two soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madson, v.50., p.1438 –1442, 1986.

SHUMAN, L. M. Fraction method for soil microelements. **Soil Science. Society of America Journal**, Baltimore, v.140., p.11-22., 1985.

SILVA, J. B. S. da S. **Influência de doses de sulfato de zinco, aplicadas por via foliar, sobre a produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1979. 62f. Tese (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1979.

SILVA, J.B.S.; ALMEIDA, S.R. Estudo de doses de sulfato de zinco em cafezais instalados em solos de cerrado no sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 3., 1975, Curitiba. **Trabalhos apresentados...** Curitiba: INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ, 1975. p. 314-316.

SILVA, S. M.; PACCOLA, A. A.; SANTOS, R.C. Biological Bleaching of Clays. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNOLOGY AND GLOBAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT ,5., 2000, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte, 2000. p.16-23.

SILVA, S. M. **Atividade microbiana nas transformações dos óxidos de ferro para o branqueamento de minerais de argila**. 2001. 76f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu,2002.

SILVEIRA, R. I. Adubos com micronutriente. In: **Fertilizantes e fertilização das culturas brasileiras**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1975. v.2, p.127-138.

SIMS, J. L.; PATRICK JR., W. H. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potencial and pH. **Soil Science Society America Journal**. Madison, v. 42, p.258-62, 1978.

SOUZA, E. C. A.; FERREIRA, M. E. Zinco no solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrônômicas e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, 1988. p. 295-299.

SPOSITO, G. On the use of the Langmuir equation in the intemperation of “adsorption” phenomena: II. The “two-surface” Langmuir equation. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v46, p. 1147-1152, 1982.

STANTON, D. A.; BURGER, R. D.U.T. Availability to plants zinc sorbed by soil and hydrous iron oxides. **Geoderma**, Amsterdam, v.1, p.13-17, 1967.

STEVENS, W. L. Análise estatística do ensaio de variedades de café. **Bragantia**, Campinas, v.9, p.103-123, 1949.

STOLLER, J. H. Technical paper. **Stoller chemical company**, Texas: Inc. Houston, 1982.

ZHANG, F. S. Effect of zinc nutritional status on the zinc uptake in wheat. **Acta Phytophysiologica Sinica**, Shang.nai, v. 19, n.2, p. 143-148, 1993.

ZHANG, Q.; BROWN, P. H. Distribution and transport of foliar applied zinc in pistachio. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v.124, p.433-436, 1999.

Apêndice

TABELA 1A- Valor da probabilidade do Teste F ($\alpha = 5\%$) para as variáveis comprimento de ramos, comprimento e largura de folhas, utilizando o modelo matemático "Split-Plot in time", para o experimento em casa de vegetação.

	Tratamento	Época	Tratamento*época
Comprimento de ramos	0,3785	<0001	0,4094
Comprimento de folhas	0,3038	0,0074	0,5697
Largura de folhas	0,3889	0,0073	0,4623

TABELA 2A- Valor da probabilidade do Teste F ($\alpha = 5\%$) para as variáveis número de ramos e número de folhas nos ramos, utilizando o modelo matemático "Split-Plot in time", para o experimento em casa de vegetação.

	Tratamento	Época	Tratamento*época
Número de ramos	0,0182	<0001	0,6047
Número de folhas nos ramos	<0001	0,0007	<0001

TABELA 3A – Área foliar obtida pelo produto das variáveis número de folhas, número de ramos, comprimento e largura de folhas, aos 30 e 60 dias após a última aplicação dos tratamentos, para experimento em casa de vegetação.

Tratamentos	época	nº de ramos*	nº de folhas*	Comp. de folhas*	Larg. De folhas*	área foliar
Bio1	30dias	11,8	13,04	9,30	4,16	5.953,00
Bio2	30 dias	10,0	13,29	9,99	4,29	5.696,00
Bio3	30 dias	12,2	14,40	10,26	4,32	7.786,70
Bio4	30 dias	11,6	13,60	11,32	4,33	7.732,70
Fertamim	30 dias	10,0	13,99	9,41	4,06	5.344,82
Dacafé	30 dias	11,5	13,94	9,15	3,91	5.735,33
Sulfato de zinco	30 dias	12,0	13,90	9,86	4,18	6.874,63
Quelato de zinco	30 dias	11,2	13,82	9,08	4,06	5.706,08
Testemunha	30 dias	11,4	14,07	10,27	4,34	7.149,23
Quelato puro	30 dias	11,3	13,41	9,51	4,02	5.793,14
Bio1	60 dias	21	18,50	11,77	5,60	25.606,81
Bio2	60 dias	15,4	16,63	10,87	5,49	15.283,22
Bio3	60 dias	17	20,21	11,51	5,26	20.800,62
Bio4	60 dias	14,8	18,11	13,38	7,89	28.295,23
Fertamim	60 dias	16,8	20,01	11,40	5,25	20.119,65
Dacafé	60 dias	16,4	18,82	12,82	5,23	20.694,42
Sulfato de zinco	60 dias	17,2	16,99	11,32	5,11	16.903,99
Quelato de zinco	60 dias	18,6	14,51	10,78	5,61	16.321,57
Testemunha	60 dias	17,6	18,62	10,79	5,39	19.059,11
Quelato puro	60 dias	19	26,90	11,24	5,20	29.872,77

* Média de 2 planta/vaso correspondente a cinco repetições de cada tratamento.

TABELA 4A- Valor da probabilidade do Teste F ($\alpha = 5\%$) para o teor de potássio (K), nitrogênio (N) e fósforo (P) nas folhas de cafeeiro, utilizando o modelo matemático "Split-Plot in time", para o experimento de campo.

	Tratamento	Época	Tratamento*época
Potássio	0,5158	0,0102	0,6764
Nitrogênio	0,0764	0,0118	0,9848
Fósforo	0,0022	0,0355	0,0191

TABELA 5A- Valor da probabilidade do Teste F ($\alpha = 5\%$) para o teor de enxofre (S), magnésio (Mg) e cálcio (Ca) nas folhas de cafeeiro, utilizando o modelo matemático "Split-Plot in time", para o experimento de campo.

	Tratamento	Época	Tratamento*época
Enxofre	0,0064	0,3053	0,4153
Magnésio	0,0013	0,0230	0,9643
Cálcio	0,0066	0,0603	0,3493

TABELA 6A- Valor da probabilidade do Teste F ($\alpha = 5\%$) para o teor de manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu) e boro (B) nas folhas de cafeeiro, utilizando o modelo matemático "Split-Plot in time", para o experimento de campo.

	Tratamento	Época	Tratamento*época
Manganês	<0001	0,7570	0,9337
Ferro	<.0001	0.1061	0.0027
Cobre	<.0001	0,0536	0,2727
Boro	<0001	0,0558	0,5896

TABELA 7A- Valor da probabilidade do Teste F ($\alpha = 5\%$) para o teor de zinco (Zn) nas folhas de cafeeiro, utilizando o modelo matemático "Split-Plot in time", para o experimento de campo.

	Tratamento	Época	Tratamento*época
Zinco	<0001	0,7633	0,2777

TABELA 8A- Traslocação de zinco em mg ha⁻¹ para os frutos do cafeeiro, em função da produtividade.

	A	B	C	D	C x D x B
	Produtividade atual	f	Zn Casca + Zn grão	Produt atual/f	Zn translocado
Bio_1	14,69	0,92	17,67	15,93	259,57
Bio_2	36,41	0,92	15,00	39,48	546,12
Bio_3	22,86	0,92	30,00	24,78	685,70
Bio_4	32,65	0,92	19,25	35,41	628,51
Bio_5	29,37	0,92	40,50	31,85	1189,63
Bio_6	45,97	0,92	50,00	49,86	2298,64
Fertamin	29,39	0,92	24,50	31,87	720,09
Dacafe	15,75	0,92	20,99	17,08	330,59
Sulf_Zn	11,61	0,92	39,25	12,59	455,77
Quel_Zn	10,24	0,92	27,00	11,10	276,45
Testem.	11,47	0,92	14,50	12,43	166,28

A = Produtividade atual (safra 2001/2002) em sacas (60 Kg) ha⁻¹

B = fator de correção (produtividade média atual – 27,14 saca ha⁻¹/produtividade média ano anterior – 29,44 saca ha⁻¹)

C = Teor de Zn na casca + teor de Zn no grão em mg Kg⁻¹

D = produtividade atual/fator de correção.