

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

MARIA LUIZA DE FREITAS KONRAD



CRESCIMENTO DO CAFEEIRO SOB INFLUÊNCIA DO
ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA E EM SOLO
ÁCIDO, INOCULADO COM MICORRIZAS
ARBUSCULARES

Este exemplar corresponde à redação final
da tese defendida pelo(a) candidato (a)
Maria Luiza Freitas Konrad
e aprovada pela Comissão Julgadora.

Tese apresentada ao Instituto de
Biologia para a obtenção do Título
de Doutor em Biologia Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Roberto Furlani

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Adriana Parada Dias da Silveira

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Maria Rodrigues Cassiolato

2003

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRA
SEÇÃO CIRCULANTE

i UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIDADE	82
Nº CHAMADA	UNICAMP
	K837c
V	EX
TOMBO BC/	53877
PROC.	124108
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	20/05/09
Nº CPD	

CM00184050-7

BIB ID 293999

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO INSTITUTO DE BIOLOGIA – UNICAMP

K837c

Konrad, Maria Luiza de Freitas

Crescimento do cafeiro sob influência do alumínio, em solução nutritiva e em solo ácido, e de micorrizas arbusculares/

Maria, Luiza de Freitas Konrad. -- Campinas, SP: [s.n.], 2003.

114f., ilus

Orientador: Pedro Roberto Furlani

Co-orientadoras: Adriana Parada Dias da Silveira; Ana Maria Rodrigues Cassiolato.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia.

1. Alumínio. 2. Micorriza. 3. Café.

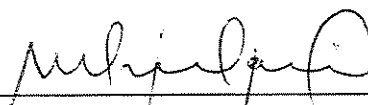
I. Furlani, Pedro Roberto.

II. Silveira, Adriana Parada Dias da. III. Cassiolato, Ana Maria Rodrigues. IV. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. V. Título.

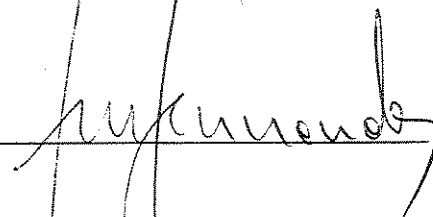
Data da defesa: 28 de fevereiro de 2003

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Roberto Furlani



Prof. Dr. Francisco Maximino Fernandes



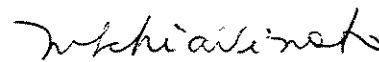
Prof. Dr. João Antônio da Costa Andrade



Prof. Dr. Ladaslav Sodek



Prof. Dra. Marlene Aparecida Schiavinato



Prof. Dra. Cláudia Regina Baptista Haddad



Prof. Dra. Sueli dos Santos Freitas



46827800

À minha irmã Lúcia e cunhado Carlos,
amigos de todas as horas,
aos quais devo o apoio
para a realização deste trabalho,
ofereço.

Aos meus amados,
Filhos, Júlio, Caroline e Laís,
e esposo Konrad,
pelo carinho, estímulo e ajuda prestada,
dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus por tudo.

À Universidade Estadual de Campinas.

Ao Dr. Pedro Roberto Furlani, pela amizade e compreensão em momentos difíceis e pelo apoio essencial no experimento em solução nutritiva e finalização da tese.

À Dr^a. Adriana Parada Dias da Silveira, pela amizade, segurança e preciosas sugestões e ensinamentos no experimento com micorrizas.

À Dr^a. Ana Maria Rodrigues Cassiolato, pela amizade, suporte técnico, material e estrutural, essenciais para a condução do experimento com micorrizas.

Ao Instituto de Biologia da UNICAMP e a todos os professores pelos ensinamentos recebidos.

Aos Profs. Drs. Ana M. Goulart A. Tozzi, Cláudia Regina B. Haddad e Paulo Mazzafera pelas críticas construtivas e sugestões na ocasião da pré-banca.

Ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira, pela infraestrutura e facilidades concedidas.

À CAPES pela concessão de bolsa de Doutorado.

Aos pesquisadores do IAC, Dr. Luiz Carlos Fazuoli, pelas sementes e plântulas de cafeeiro usadas neste trabalho, a Dra. Isabella Clerici De Maria, pela orientação no uso do SIARCS, a Dra. Monica Ferreira de Abreu, pela orientação nas análises químicas de plantas, ao Dr. Eduardo Caruso Machado e ao MS José Aliçandro B. da Silva, pelas análises de fotossíntese, ao técnico Claudinei pela ajuda na condução do experimento e ao amigo Anderson pela ajuda na coleta.

Ao Dr. José Osvaldo Siqueira da Universidade Federal de Lavras e a Dra. Miranda da Embrapa-CPAC pelos inóculos de micorrizas e ao Dr. Antônio Pereira da Universidade Federal de Viçosa pelas sementes de café.

Aos professores da UNESP, Dr. Francisco Maximino Fernandes, Dr. João Antônio da Costa Andrade, Dra. Marli de Fátima Stradiotto Papa, Dr. Enes Furlani Júnior e Dra. Kuniko Iwamoto Haga pelas sugestões e ajuda.

Ao MS Maurício Konrad pela ajuda com a irrigação, fotos e análises.

Aos amigos Márcia Scabora e Ostenildo pela preciosa ajuda e a todos os funcionários dos laboratórios da UNESP: José Antônio, Circélia, Carlinhos, Juarez, João, André pelo auxílio e carinho.

Às pesquisadoras, técnicas e aos colegas da Seção de Microbiologia do Solo do IAC, pela amizade, companheirismo e bons momentos compartilhados.

Às amigas Deise Renata Gonzalez Agnani, Sara Adrian López Andrade e Maria Inês Bernardes da Cunha sempre prontas a me ajudar no que fosse preciso.

À Dr^a. Mirian Maluf do Centro de Café do IAC pelo carinho e preciosa ajuda no exame de qualificação.

Às amigas Vera Lúcia Menezes de Castro Andrade, Maria do Carmo Lopes e Maria Pereira do Carmo pelo ombro amigo nas horas difíceis.

Às queridas Josênia da UNICAMP e Dona Léo do IAC, pelo carinho e força.

À amiga Milene pela hospedagem e ajuda na finalização da tese.

Aos meus pais, José Henrique e Lázara, aos meus irmãos José Antônio, João Henrique e Jaime e cunhados Cristiane, Cida, Gilmara, Sueli e Edivaldo, Vanderlei e Vera, à minha prima Marilda e toda família pelo carinho e apoio nas horas difíceis.

ÍNDICE

Resumo	viii
Summary	x
1. Introdução	1
2. Objetivos	14
3. Material e métodos	15
4. Resultados e Discussão	27
5. Conclusões	93
6. Literatura Citada	94
7. Apêndice	109

RESUMO

Realizaram-se dois experimentos em casa de vegetação, durante os anos de 2000 e 2001 enfocando a toxicidade de alumínio ao cafeeiro. O primeiro experimento teve como finalidade avaliar, em solução nutritiva com 4 níveis de alumínio (0, 0,148, 0,296, 0,592 mmol/L de Al), a resposta de 11 cultivares de cafeeiro. O segundo experimento teve como objetivo avaliar o comportamento de dois cultivares de café, sensível e tolerante ao alumínio, em solo ácido de cerrado e com dois níveis de calagem, colonizados ou não por fungos micorrízicos arbusculares.

Os resultados obtidos no primeiro experimento indicaram que todos os cultivares de café avaliados foram susceptíveis à presença do alumínio em solução nutritiva, por limitações ao crescimento e desenvolvimento da planta. O primeiro sintoma notado de excesso de Al foi o reduzido crescimento da parte aérea associado à elevação nos teores de Al, K e Cu e redução nos teores de P, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn. A partir do teor de 176,97 g/kg de Al na massa da matéria seca da parte aérea notou-se diminuição dos parâmetros fisiológicos indicadores de prejuízo para a planta. Ocorreu também um possível estímulo ao crescimento das raízes no início do tratamento com Al na menor dose usada.

Os resultados obtidos no segundo experimento indicaram que os cultivares avaliados não mostraram diferenças quanto à tolerância ao Al quando não inoculados com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). As micorrizas promoveram maior desempenho dos cultivares frente ao Al tóxico, provavelmente pelo aumento na absorção de nutrientes e consequentemente pelo maior

crescimento da parte aérea, maior teor de clorofila nas folhas, maior atividade da enzima redutase de nitrato, notando-se também menor atividade da enzima fosfatase. O cultivar Al sensível se beneficiou mais da micorrização, mostrando alta dependência micorrízica. Os FMAs protegeram a planta do acúmulo de Al na parte aérea por aumentar a absorção de P e provavelmente também por reter Al na raiz, em ligações nas células do fungo.

SUMMARY

Under greenhouse conditions, it was set up two experiments during the years 2000 and 2001, in order to study the toxicity of aluminum to coffee plants. In the first experiment the objective was to evaluate the differential response of eleven coffee cultivars to Al levels (0, 0.148, 0.296, and 0.592 mmol/L) in nutrient solutions study. In the second experiment the objective was to evaluate the behavior of two coffee cultivars – Al tolerant and Al susceptible, respectively – when grown on cerrado acid soil having three base saturation values, colonized by two arbuscular mycorrhiza or not colonized.

The results from first experiment indicated that all the coffee cultivars tested were susceptible to Al due to limitations on photosynthesis, stomata and non-stomata gas exchange conductance. These caused reductions on the aerial plant part growth. The first visible symptom of the presence of Al in the root media was a reduction on the plant height. As the Al increases in the nutrient solutions it were observed increases on the Al, K, and Cu concentrations, and decreases on the P, Ca, Mg, Fe, Mn, and Zn. The lower level of Al (0.148 mmol/L) promoted an increase on the plant root growth of the all cultivars tested.

From the Exp. II the results indicated that the two coffee cultivars tested did not showed the expected positive liming effect due to the FMAs inoculation. The mycorrhiza promoted better coffee growth probably due to the increases of mineral uptake and inducing better plant aerial part growth, higher leaf chlorophyll, and higher activities of the enzymes nitrate reductase and low activities of phosphatase. The cultivar susceptible to Al was more beneficiated by the mycorrhization. This

indicated that this cultivar is higher mycorrhizal dependent. The arbuscular micorrhizas protected the plant from the Al action due to higher uptake of P and probably by an Al retention in the roots through linking on the fungus cells.

1. INTRODUÇÃO

A região dos cerrados brasileiros, para onde tem se expandido a agricultura de modo geral e em particular a cafeicultura, compreende grandes áreas de solos com problemas de fertilidade. Entre as limitações da fertilidade do solo, estão os baixos teores de fósforo disponível e uma acidez elevada, que favorece a disponibilidade de alumínio em níveis que podem ser tóxicos para as plantas.

O uso de variedades resistentes e a calagem, práticas agrícolas amplamente difundidas, que visam superar os problemas relacionados à disponibilidade de alumínio e fósforo, são sem dúvida eficientes. Entretanto, alternativas ou complemento a essas práticas devem ser mais bem estudadas, como o estabelecimento de cultivares tolerantes ao alumínio e os benefícios das micorrizas arbusculares, que vêm de encontro ao propósito sustentabilidade dos agroecossistemas.

Plantas tolerantes possuem estratégias que minimizam a toxicidade provocada pelo alumínio, incluindo o uso do fósforo para precipitá-lo no interior das raízes (Andrew & Van Der Berg, 1973; Mullette & Hannon, 1974; Braccini et al., 1998b). Essa tolerância pode ter considerável influência das micorrizas arbusculares que aumentam a absorção de fósforo pelas plantas (Silva *et al.*, 1994; Maluf *et al.*, 1988).

Apesar de ser bem conhecido o fato de que os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) aumentam a absorção de P em plantas, pouco se conhece a respeito da interação micorrízica frente à toxidez provocada pelo excesso de alumínio (Medeiros *et al.*, 1995). A presença dos FMAs em associação com raízes

de plantas, altera quantitativa e qualitativamente os exsudados radiculares, o que, conseqüentemente, modifica a microbiota associada à micorrizosfera (Lindermann, 1988), podendo alterar o balanço entre as comunidades microbianas oxidantes e redutoras e, portanto, a aquisição de nutrientes pela planta (Kothari *et al.*, 1990).

A toxidez do alumínio em plantas

Estudos clássicos dos cerrados como o de Goodland (1969) mostram a ocorrência natural de um gradiente, onde a vegetação vai se tornando cada vez mais densa, do “campo sujo” ao “cerradão”, à medida que no solo se eleva o teor de todos os nutrientes e decresce a saturação de alumínio. A elevação da saturação de Al em até 58% no “campo sujo” aliada à baixa fertilidade do solo colabora para a formação de uma vegetação rala com plantas escleromórficas. A baixa fertilidade dos solos do cerrado é refletida nas baixas concentrações de nutrientes nas folhas das espécies nativas (Araújo & Haridasan, 1988).

O alumínio, ao reter cálcio, aumenta a acidez causando deficiência de nutrientes por diminuir a disponibilidade de nutrientes críticos como o fosfato e o potássio (Foy & Brown, 1963, 1964). A prática mais comum para diminuir a acidez do solo é a adição de calcário (Keltjens, 1997). Como a correção da toxicidade do alumínio muitas vezes não é economicamente viável, o uso de cultivares tolerantes é uma alternativa para uso em solos ácidos.

Os mecanismos de tolerância ao alumínio podem ser agrupados em duas categorias principais: mecanismos de exclusão e mecanismos de tolerância interna. Mecanismos de exclusão são aqueles em que o alumínio é impedido de atravessar a

mambrana plasmática, podendo incluir imobilização na parede celular, permeabilidade seletiva da membrana, barreira de pH induzida pela planta na rizosfera, exsudação de quelatos ligantes, exsudação de fosfatos e efluxo de alumínio (Foy, 1974, 1978; Taylor, 1988). Em contraste, mecanismos de tolerância interna são definidos como casos em que o alumínio entra no simplasto e a tolerância é obtida pela imobilização, compartimentalização ou desintoxicação, podendo incluir quelatização no citosol por ácidos orgânicos, proteínas ou outros ligantes, compartimentalização no vacúolo e evolução de enzimas tolerantes ao Al, devendo ser um sistema multigênico com numerosas estratégias diferentes (Taylor, 1991).

Na tolerância ao alumínio por efluxo ativo de fosfato, o fosfato ativamente exsudado pela raiz poderia formar um complexo insolúvel com alumínio (Lindberg, 1990).

Muitas espécies de plantas em crescimento possuem proteínas indutíveis pela penetração de uma ampla variedade de metais, especialmente Cd, Zn, Cu e Pb. Estas proteínas, fitoquelatinas compostas por três aminoácidos, formam um complexo protéico estável que seria responsável pela tolerância da planta a metais (Reddy & Prasad, 1990), inferindo-se que esta tolerância também se estenda ao alumínio.

Em mutante resistente ao alumínio *Arabidopsis thaliana* há um cromossomo responsável pela liberação de grande quantidade de ácido orgânico Al-quelante, maior que a produzida pelo tipo selvagem não resistente (Larsen *et al.*, 1998) e ocorre um aumento do pH da rizosfera induzido pelo alumínio (Degenhardt *et al.*, 1998).

Em variedade de trigo resistente ao alumínio, a resistência é atribuída a mecanismos de detoxificação interna e externa. Constataram uma secreção de ácido oxálico Al-induzida na ponta da raiz e um complexo Al-ácido oxálico (1:3) não fitotóxico nas folhas e raízes de plantas tolerantes (Zheng *et al.*, 1998).

Condições ambientais tais como temperatura ou impedimentos mecânicos, como aqueles promovidos pela resistência do substrato ao alongamento das raízes, aumentam a tolerância de soja ao estresse por alumínio, quando comparadas com as plantas cultivadas em solução nutritiva. Plantas em substrato requerem 10 vezes mais alumínio para inibir o crescimento da raiz que as crescidas em solução nutritiva (Horst *et al.*, 1990). Segmentos de folha de trigo ficam menos sensíveis ao alumínio após exposição a temperaturas de choque térmico (37°) (Orzech & Burke 1988). A severidade dos sintomas de toxidez de alumínio em sorgo aumenta com a elevação da temperatura (Furlani & Clark, 1981).

O efeito tóxico do alumínio no citosol pode refletir-se a sua ligação a enzimas, resultando em inibição competitiva da atividade enzimática. Sendo assim, as células com grande quantidade ou aparato enzimático, seriam mais hábeis em manter a função celular normal em face ao estresse causado pelo alumínio (Slaski, 1990). O Al bloqueia vários processos metabólicos e inibe a divisão celular nas raízes (Foy & Brown, 1963, 1964)

Em plantas acumuladoras de alumínio (*Melastoma malabathricum* L.) notou-se a presença de alumínio nas células epidérmicas da face superior da folha e nas células do mesófilo em secções de folhas. Na região das raízes, o alumínio foi encontrado em todos os tecidos, particularmente na epiderme e endoderme, constituído-se principalmente de alumínio monomérico e ligado a substâncias

pécticas e hemicelulose (Watanabe *et al.*, 1998).

O citoesqueleto pode ser alvo da toxidez ao alumínio que está associado com a zona de alongamento. Neste local o alumínio promove aumento da estabilidade dos microtúbulos no córtex externo e uma reorganização dos mesmos no córtex interno, onde ocorre uma expansão; as células do córtex externo são descartadas, coincidindo com a inibição do crescimento da raiz (Blancaflor *et al.*, 1998).

Em solos com pH inferior a 5,0, com níveis de Al de 3 a 4 ppm na solução do solo, ocorre toxidez, cujo primeiro efeito é a limitação do crescimento da raiz. As células da epiderme ficam menores, com a parede celular delgada, e as células do córtex ficam menores no eixo longitudinal, afetando o crescimento e reduzindo a absorção de Ca, Mg, K, Zn, Cu, Mn e Fe (Kirkpatrick *et al.*, 1975).

Em plantas de milho submetidas a estresse de alumínio, nota-se menor concentração de alumínio na parte aérea e efeitos de toxidez mais evidentes nas raízes. O cultivar tolerante demonstra um menor transporte de alumínio das raízes para a parte aérea (Pintro *et al.*, 1995). Em genótipos de arroz ocorre uma redução de massa da matéria seca, do número, de comprimento de raízes e área radicular (Sivaguru *et al.*, 1992).

Clones de macieira submetidos a diversas concentrações de Al em solução nutritiva, mostraram um efeito estimulante do alumínio no crescimento de raízes e parte aérea das plantas (Pereira *et al.*, 1998, Dantas *et al.*, 2001).

O efeito do alumínio no crescimento de plantas pode também estar relacionado à diminuição da atividade fotossintética, a qual depende de outras características da planta como condutância estomática e transpiração. O estresse de alumínio pode reduzir a eficiência do fotossistema II, diminuir a concentração de

ATP nas folhas, causar danos à membrana externa dos cloroplastos e ainda alterações na forma do cloroplasto e no arranjo dos grana (Moustakas & Ouzounidou, 1994; Moustakas *et al.*, 1997; Pereira *et al.*, 2000).

A toxidez do alumínio em café

Em café, a toxidez de alumínio se caracteriza por um menor crescimento da parte aérea e um padrão anormal de crescimento das raízes associados com a diminuição da concentração foliar de P, Ca e Mn que se correlacionam positivamente com o crescimento. A raiz é mais afetada que a parte aérea, na qual os efeitos são conseqüências dos danos na raiz. O fósforo controla a toxicidade do alumínio provocando sua precipitação no meio de crescimento. Os teores de Al, Fe, K e Mg aumentaram com a adição de Al e se correlacionaram negativamente com o crescimento (Aponte-de & Valencia, 1983).

Plântulas de cafeeiro submetidas a várias concentrações de alumínio, em solução nutritiva, mostraram redução na absorção de Ca, Mg e P à medida que a concentração de alumínio aumentou na solução e um aumento da absorção de K e Al nas doses mais elevadas de Al. O alumínio diminuiu a translocação de fósforo da raiz para a parte aérea, provavelmente, pela precipitação de Al-fosfato na superfície da raiz, induzindo deficiência de fósforo nas plântulas (Pavan, 1981).

Doses crescentes de alumínio inibiram o crescimento e desenvolvimento da parte aérea e das raízes de café, as quais apresentaram as anormalidades típicas de injúria provocada por alumínio, como aumento no número de raízes secundárias (Braccini *et al.*, 1998a). A tolerância dos genótipos de café estudados se mostrou

associada ao menor acúmulo de fósforo nas raízes, maior eficiência do uso do fósforo e menor redução na translocação de fósforo para a parte aérea (Braccini *et al.*, 1998b).

A produção do cultivar Catuaí Vermelho, o massa da matéria seca da parte aérea e raízes e a altura das plantas foram severamente afetados por tratamentos com alumínio, em concentrações baixas como 0,074 mmol/dm³. A concentração de alumínio de 0,296 mmol/dm³ na solução nutritiva reduziu a produção de grãos de café a zero (Pavan & Bingham, 1982). No entanto, outro experimento mostrou resposta altamente favorável do Catuaí Vermelho ao alumínio, mesmo submetido a uma concentração de 0,22 mmol/L, o que favoreceu o desenvolvimento das mudas (Manetti & Santos, 1977).

Alumínio e atividade enzimática

As fosfatases ácidas estão envolvidas na rotina de utilização das reservas de fósforo e a sua expressão é regulada por uma variedade de fatores ambientais e de desenvolvimento da planta (Duff *et al.*, 1994). A atividade da fosfatase ácida foi inibida em cultura de células de amendoim quando tratada com qualquer nível de Al (100 a 1500 µM) e a atividade da redutase de nitrato foi estimulada até 1000 µM de alumínio, decrescendo em altas concentrações (Marziah *et al.*, 1991).

A enzima fosfatase ácida apresenta maior atividade em situação de deficiência de fósforo em diversas plantas. Isto se deve a um incremento na síntese “de novo” da enzima, cuja formação é inibida pelo íon fosfato (Reid & Bielecki, 1970).

Para cana-de-açúcar, existe uma correlação inversa entre a atividade da fosfatase ácida medida na folha e as produções de matéria seca e quantidades de fósforo acumuladas na parte aérea e raízes das plantas (Silva & Basso, 1993).

Em pupunheira a atividade da fosfatase ácida mostrou correlação negativa com o crescimento da planta, variando com as doses de N e com a progênie. A progênie que mostrou menores valores de atividade da fosfatase ácida foi a que apresentou maior biomassa aérea e radicular, bem como produção de palmito (Bovi *et al.*, 1998).

Estudos do efeito do alumínio sobre algumas enzimas ligadas à assimilação do Nitrogênio em sorgo sugeriram que a relação existente entre o metabolismo do nitrogênio e a tolerância diferenciada ao Alumínio é controlada, principalmente, pelos processos de absorção e redução do NO_3 . O processo de assimilação do NH_4 parece não apresentar grande sensibilidade ao alumínio, sendo afetado principalmente por meio de efeitos indiretos (Pimenta *et al.*, 1989).

A enzima redutase do nitrato (RN) é considerada enzima chave na regulação do metabolismo do N, uma vez que o nitrato absorvido pelas raízes deve ser reduzido antes de ser incorporado em compostos nitrogenados no sistema radicular e parte aérea. Pelo seu papel regulador da disponibilidade de N reduzido, tem-se sugerido que a atividade da RN esteja relacionada com a produtividade ou a capacidade da planta em responder à adubação nitrogenada. Deckhard *et al.*, (1973) observaram correlação positiva entre a atividade da RN e a produtividade de grãos em análise realizada no período de aparecimento de estilo-estigma, mas, Purcino *et al.*, (1994) não encontraram correlação entre produtividade, adubação nitrogenada e atividade da enzima redutase do nitrato em milho.

A atividade da enzima redutase de nitrato em café parece ser regulada pela temperatura ambiente pois durante a estação fria (abaixo de 12,5 °C) ocorre o desaparecimento da atividade desta enzima na folha. Na raiz, em solo com 14 °C a atividade da enzima decresce até exaurir o suprimento de N do solo e permanece com atividade elevada após suprimento de N (Amaral *et al.*, 1987).

Na ausência de alumínio, em sorgo, atividade da enzima ribonuclease (RNase), diminuiu com o aumento dos níveis de Zn na solução nutritiva. Após a exposição ao alumínio a atividade da RNase aumentou, exceto nas raízes do cultivar tolerante, reduzindo a concentração de RNA tanto nas raízes quanto na parte aérea apenas do cultivar sensível sugerindo que a tolerância desses cultivares esteja relacionada mais à biossíntese de RNA (ex. enzimas, cofatores) do que ao catabolismo. Os efeitos do alumínio sobre a atividade da RNase e sobre a concentração de RNA não puderam ser revertidos pelo Zn em nenhum dos níveis testados (Gonçalves *et al.* 1996). O cultivar tolerante de sorgo produz também menores concentrações de espécies reativas de oxigênio e/ou possui mecanismos enzimáticos de remoção ou eliminação desses radicais livres mais eficientemente que os cultivares sensíveis (Peixoto *et al.*, 1999).

Proteínas quinases são essenciais para a atividade celular, regulando eventos bioquímicos e fisiológicos. Análises bioquímicas têm mostrado que proteínas quinases e proteínas fosfatases são importantes nas respostas a estresses ambientais. Em culturas de células de café incubadas com concentrações de AlCl_3 (200-1000 $\mu\text{mol/L}$) não se notou alterações nas proteínas, mas notou-se mudanças no padrão de fosforilação das mesmas, sugerindo alteração na atividade de algumas proteínas quinases (Martínez-Estévez, 2001).

Micorrizas em café

Os solos ácidos da região dos cerrado, carentes em cálcio, magnésio e fósforo e com níveis elevados de alumínio e manganês, tóxicos ao cafeeiro necessitam de correção da acidez com calcário, aumentando significativamente o custo de produção. Adubações em desequilíbrio com elementos faltantes, mostram que o P é o nutriente de maior importância para o crescimento do cafeeiro seguido de Ca e Mg (Matiello, 1986). Siqueira *et al.* (1993) destacaram os benefícios da colonização do cafeeiro por uma mistura de *Glomus clarum* e *Gigaspora margarita* devido ao favorecimento do crescimento, da absorção de fósforo e aumento da sobrevivência e produção.

Lopes *et al.* (1983a) observaram 22 espécies de fungos micorrízicos identificados e outras 20 não descritas em solos da rizosfera de cafeeiros em pH maiores que 5,4 e quantidades de P acima de 30 ppm. Provavelmente, devido ao pH dos solos estudados, não detectaram *Gigaspora margarita*, descrita como muito eficiente para o desenvolvimento de plântulas de café, mas que não tolera pH acima de 5,5 (J.O. Siqueira, comunicação pessoal).

A inoculação de FMAs exerceu pouco efeito no crescimento de mudas de cafeeiro com adequado suprimento de fósforo, mas favoreceu-lhes o desenvolvimento pós transplante para solo fumigado com baixo teor de fósforo. Apesar de o *Glomus etunicatum* ter mostrado menor colonização que a mistura de *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum*, não diferiram quanto aos benefícios para o cafeeiro, como melhor desenvolvimento e nutrição, aumento de fósforo na parte aérea e efeitos benéficos no crescimento em altura e área foliar das plantas. (Saggin

Júnior *et al.*, 1995).

Gigaspora margarita mostrou persistência na interação com espécies nativas, permanecendo na rizosfera de cafeeiros mesmo após 5 anos do plantio de mudas previamente micorrizadas. A esporulação de *G. margarita* não foi influenciada pelo aumento na esporulação das espécies nativas promovida pela adubação fosfatada (Balota & Lopes, 1973).

Em interações de fungos micorrízicos e cafeeiro notou-se, em tratamentos inoculados, matéria seca da parte aérea maior que o controle, com diferenças entre os fungos e as doses de fósforo. O efeito benéfico da micorrização foi máximo nas doses intermediárias de fósforo e diminuiu nas doses elevadas. Os fungos micorrízicos comportaram-se diferentemente em função do fósforo no solo. Dentre os isolados testados, o *Glomus etunicatum*, isolado do mesmo solo do experimento, mostrou maior efeito no crescimento do cafeeiro que os isolados da mesma espécie originados de outras regiões. *Gigaspora margarita* mostrou-se bem adaptada e pouco sensível a elevações de fósforo no solo (Saggin-Júnior *et al.*, 1994). *Gigaspora margarita* isolada da região de Lavras, MG, apresentou alta eficiência simbiótica com cafeeiros e *Glomus etunicatum* variou de baixa a alta (Saggin-Júnior & Siqueira, 1995).

As micorrizas são muito importantes para o crescimento de mudas de cafeeiro que quando pré-colonizadas apresentaram rápido crescimento independente da condição do substrato (Siqueira *et al.*, 1995). Entretanto, não responderam à inoculação no transplante, mesmo com quantidades elevadas de inóculo (Saggin-Júnior *et al.*, 1992).

Interação entre micorriza e alumínio em plantas

Pela forte afinidade do alumínio a compostos como fosfatos inorgânicos, nucleotídeos, RNA, DNA e proteínas, concentrações muito baixas de alumínio são potencialmente fitotóxicos. O mecanismo de tolerância interna ocorre no simplasto onde o íon neutro $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ limita a solubilidade de $\text{Al}^{3+}6\text{H}_2\text{O}$ e a presença de fosfato no citosol reduz sua solubilidade pela precipitação de $\text{Al}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{PO}_4$ (Martin, 1986). Como a nutrição de fósforo é frequentemente o fator mais limitante, uma estratégia seria o aumento da exploração e captação de P presente no solo pelas raízes, quando em simbiose com FMAs. Espera-se, portanto, que plantas micorrizadas sejam menos sensíveis a toxidez provocada pelo alumínio (Keltjens, 1997).

Plantas tolerantes ao alumínio possuem mecanismos para crescer e sobreviver em solos com elevada concentração de alumínio trocável. Estes mecanismos de tolerância podem ser suplementados também por micorrizas arbusculares como ocorre com ectomicorrizas, que retêm parcialmente o alumínio (Koslowsky & Boerner, 1989). As evidências de proteção contra o alumínio e acidez mediada por micorrizas arbusculares são controversas. Alguns autores atestam um agravamento na toxidez por alumínio promovida pelo aumento da absorção desse elemento pelas micorrizas (Daft *et al.*, 1975). Outros têm mostrado um claro efeito protetor das micorrizas arbusculares contra a toxidez de alumínio e a acidez do solo (Koslowsky & Boerner, 1989; Clark & Zeto, 1996).

Em *Clusia multiflora*, espécie tolerante ao alumínio, a concentração de Al na raiz alcançou 10.000 mg/kg ao passo que a concentração de alumínio na folha foi

menor que 200 mg/kg (Cuenca & Herrera, 1987). A acidez não afetou o crescimento de *C. multiflora* colonizada por FMAs provenientes de solos ácidos, mesmo banhada por soluções com pH 3,0, ao passo que quando colonizada com FMAs provenientes de solos neutros, o crescimento da raiz e parte aérea foram afetados. Todas as plantas acumularam elevadas quantidades de alumínio na raiz, mas as plantas colonizadas por FMAs de solos ácidos acumularam menos. Os estudos histoquímicos da distribuição do alumínio na raiz mostraram que em plantas micorrizadas, o alumínio estava ligado à parede celular do micélio do fungo e, principalmente, nas vesículas e células auxiliares (Cuenca *et al.*, 2001).

A matéria seca da parte aérea não foi afetada pelo aumento de alumínio em solução ácida nas plantas micorrizadas, mas diminuiu em plantas não micorrizadas de sorgo. A concentração de fósforo na parte aérea diminuiu nas doses mais altas de alumínio e a concentração de fósforo na raiz foi menor que na parte aérea, sendo menor ainda em raízes não colonizadas que nas colonizadas, provavelmente pela imobilização do fósforo pelo alumínio (Medeiros *et al.*, 1995).

A micorrização trouxe maiores benefícios ao cultivar alumínio sensível de Leucena, que apresentou maior desenvolvimento e acúmulo relativo de N, P, K, Ca, Mg, e Al, que o cultivar tolerante (Maluf *et al.*, 1988). O cultivar de Leucena sensível a alumínio mostrou-se mais dependente da micorriza, a qual proporcionou-lhe características de tolerância ao alumínio (Melo *et al.*, 1987).

A micorrização promoveu maiores benefícios para a variedade de trigo sensível em doses intermediárias de calcário. Tanto a variedade sensível quanto a tolerante foram beneficiadas pela micorrização para absorver o fósforo do solo e se sobrepor ao efeito do alumínio (Silva *et al.*, 1994).

2. OBJETIVOS

O objetivos deste trabalho foram a) avaliar o efeito do alumínio sobre o crescimento de diversos cultivares de cafeeiro visando identificar cultivares tolerantes e sensíveis ao alumínio em solução nutritiva e b) verificar o comportamento de dois cultivares de café (um sensível e outro tolerante ao alumínio) sob a influência de micorriza arbuscular, em solo ácido da região do cerrado com diferentes saturações por bases (V%).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos em condições de casa de vegetação.

Experimento I:

Teve como objetivo avaliar o efeito da toxicidade de Alumínio em 11 cultivares de *Coffea arabica* L. em solução nutritiva (Apêndice, figura 1).

Experimento II:

Teve como objetivo avaliar o comportamento de dois cultivares de café, sensível e tolerante ao alumínio, em solo ácido da região do cerrado e com três níveis de saturação por bases, colonizados ou não por fungos micorrizicos arbusculares.

Delineamento experimental

Experimento I: O delineamento experimental foi de parcelas subdivididas com três repetições em blocos. As parcelas consistiram nos 4 níveis de Al e as subparcelas nos 11 cultivares de cafeeiro (seis plantas cada). Foram realizadas duas coletas amostrando-se 3 plantas por cultivar de cada parcela.

Experimento II: O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, parcelas com 1 planta, em esquema fatorial 2 X 3 X 3, consistindo de 2 cultivares de *C. arabica* tolerante e sensível ao Al tóxico, 3 tratamentos com micorriza, sendo inoculação de duas espécies de fungo micorrízico arbuscular (FMA) e sem inoculação e 3 níveis de saturação por bases do solo (V%). Foram realizadas cinco repetições por tratamento.

Montagem dos experimentos

Experimento I:

Foi conduzido no Centro Experimental de Campinas do Instituto Agronômico (IAC), em casa de vegetação modelo capela com cobertura e laterais de vidro e contendo janelas zenitais laterais e na cumieira. Constou de 12 caixas plásticas com capacidade para 15 L cada, contendo solução nutritiva com os tratamentos com alumínio. O fornecimento contínuo de oxigênio atmosférico às soluções nutritivas foi feito através de um compressor de ar (Apêndice 1).

Solução nutritiva

A composição da solução nutritiva usada, em mmol/L, baseada em Pavan & Bingham (1982) foi a seguinte: Ca (1,25); Mg (0,5); K (1,25); Fe EDTA (0,022); Mn ($2,25 \times 10^{-3}$); Cu ($1,93 \times 10^{-5}$); Zn ($0,48 \times 10^{-4}$); MoO₄ ($1,30 \times 10^{-4}$); B (OH)₄ ($1,15 \times 10^{-2}$); SO₄ (0,5); NO₃ (3,75); P (0,03).

Os tratamentos consistiram em aplicações de Al solúvel nas concentrações de: T1= 0,0; T2= 0,148; T3= 0,296 e T4= 0,592 mmol/L, adicionado como KAl(SO₄)₂.12H₂O. O pH de cada solução nutritiva tratamento foi ajustado, a 4 + ou - 0,2 com adições de soluções 1 mmol/L de H₂SO₄ ou KOH.

As soluções nutritivas foram renovadas semanalmente e os volumes das caixas foram mantidos constantes com adições diárias de água deionizada.

Cultivares utilizados: Os materiais usados neste experimento foram provenientes do Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio do Café, do IAC. Por indicação do Dr. Luiz Carlos Fazuoli, pesquisador responsável pelo programa de melhoramento genético, os materiais testados foram os seguintes:

1. Icatu A 3282;
2. Bourbom vermelho;
3. Bourbom amarelo;
4. Obatã IAC 1669-20;
5. Nacional;
6. EP395 C.289 – IAC3795;
7. Mundo novo – IAC 388-19;
8. Icatu vermelho – IAC 4045;
9. Catuai vermelho 144;
10. Catuai amarelo IAC – H – 2077 – 2 – 5 – 62;
11. Tupi – IAC 1669 – 33.

Experimento II: Foi realizado em casa de vegetação modelo semi-arco, de agosto de 2000 a março de 2001 na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), UNESP. A cobertura da estufa era com plástico de 100 micras tratado contra radiação ultravioleta. Para diminuir a radiação solar e temperatura, que alcançou 40 °C todos os dias no período de condução do experimento, foi usada uma tela de sombreamento com 50% de bloqueio da luminosidade, colocada por cima do plástico de cobertura. A referida estufa também tinha a mesma tela de sombreamento nas laterais.

Cultivares utilizados

Os dois genótipos de café utilizados foram doados pela UFV-EPAMIG, sendo o cultivar UFV 2237 (genótipo de Catuaí Vermelho, H 2077-2-5-15) sensível ao AI

(cvsens) e o UFV 2149 (Catuaí Amarelo H 2077-2-12-91) tolerante ao Al (cvtol), em solução nutritiva (Braccini et al., 1998a).

Fungos micorrízicos utilizados e preparo dos inóculos

Os fungos micorrízicos utilizados foram *Gigaspora margarita* e *Glomus etunicatum*.

O inóculo de *G. etunicatum* foi obtido pela multiplicação de inóculo procedente da coleção de FMA do CPAC EMBRAPA, em vaso de cultivo com *Brachiaria decumbens* Stapf, por aproximadamente 180 dias. O inóculo constou do substrato (solo:areia, 2:1, v:v) contendo pedaços de raiz colonizada, micélio e esporos do FMA na quantidade de 800 esporos por 50 ml de solo-inóculo.

O inóculo de *G. margarita*, proveniente do Centro de Solos da Universidade Federal de Lavras, coleção DCS-UFLA, isolado de milho e multiplicado em solo-areia 3:1 (v:v), continha 500 esporos por 50 ml de solo-inóculo.

Coleta, fumigação, adubação e correção da acidez do solo

O solo do experimento foi coletado na camada superficial (0-20cm), de um Latossolo Vermelho Escuro, ácido, na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Unesp/Ilha Solteira, localizada em Selvíria, MS, em área de pastagem degradada, originalmente Cerrado "sensu strictu". Os níveis de saturação por bases utilizadas foram $V_1 = V\%$ original = 30%; $V_2 = 40\%$ e $V_3 = 60\%$. Após 30 dias da aplicação de calcário, $V_2 = 40\%$ e $V_3 = 60\%$ apresentaram valores de $V\%$ de 45 e 53 % respectivamente, cuja análise de fertilidade consta da Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo utilizado no experimento II, 30 dias após a aplicação do corretivo ou início da incubação.

V	pH	Al	H+Al	K	Ca	Mg	P	S-SO ₄	MO	Cu	Fe	Mn	Zn	B
%	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³			g dm ⁻³		micronutrientes - mg dm ⁻³				
30	4.3	5.0	28	2.7	5	5	34	39	15	2.0	17	13.1	0.2	0.23
45	5.0	0.5	20	2.7	11	3	28	60	20	2.5	15	13.1	0.2	0.13
53	5.6	0.0	18	2.5	16	2	24	82	15	2.4	13	10.9	0.2	0.10

O pH do solo foi corrigido com a adição de 0.35 g/L e 0.8 g/L de calcário calcítico, PRNT = 96%, CaO = 36% e MgO = 3% para se obter 40 e 60% de saturação por bases, respectivamente, permanecendo incubado por 30 dias. Foi realizada uma adubação básica com N, P e K para permitir um crescimento adequado da planta, adicionaram-se as seguintes quantidades de nutrientes: 0,16 g de cloreto de potássio por dm³ de solo, 0,10 g de sulfato de amônia por dm³ de solo e 0,506 g de superfosfato simples por dm³ de solo. O solo foi homogeneizado e incubado por 30 dias.

Com o objetivo de eliminar qualquer estrutura de fungo micorrízico nativo, o solo foi fumigado com 98% de brometo de metila e 2% de cloropicrina ("Bromex") na proporção de 263 cm³/m³ por 3 dias, deixando-se descoberto por mais 3 dias para evaporação do produto.

Plantio e condições de crescimento das plantas

Experimento I:

As plântulas de café foram germinadas em tanques de areia lavada e transferidas, no estágio de orelha-de-onça, para as 12 caixas plásticas contendo

solução nutritiva constantemente aeradas. Cada caixa foi coberta com placas contendo 11 fileiras de 6 furos onde foram colocadas as 6 plântulas (3 plântulas para cada época das 2 coletas), com suporte de espuma, completamente ao acaso. Foram 3 repetições em cada uma das duas coletas sendo a parcela igual a uma planta, para cada um dos 11 cultivares (Apêndice 1).

Foram feitas duas coletas, sendo a primeira aos 97 dias após o transplântio (DAT) e a segunda aos 130 DAT.

Experimento II:

As sementes de café foram desinfestadas com hipoclorito de sódio 1% por 5 minutos, lavadas repetidas vezes com água destilada e colocadas para germinar em caixas plásticas contendo areia lavada e desinfestada por fumigação com "Bromex" (procedimento igual ao da fumigação do solo), por 30 a 40 dias até o estágio de orelha-de-onça.

Os dois cultivares de café foram então transplantados para vasos de polietileno com capacidade para 3 L contendo solo da região do cerrado Latossolo Vermelho escuro (4:1, solo:areia) com adubação básica e saturação por bases como descritos anteriormente.

Cada vaso, constituindo uma repetição, continha 1planta após o desbaste.

No momento do transplântio das plântulas foi realizada a inoculação do FMA, *G. etunicatum* ou *G. margarita*, no solo, bem próximo ao sistema radicular das plantas. Para a colocação do fungo, fazia-se o sulco, colocava-se o inóculo no fundo do mesmo, e, em seguida a plântula e o solo. O tratamento controle não recebeu solo inóculo, mas foram adicionados 50 mL de filtrado de solo por planta, livre de

propágulos de FMA, para equilibrar a microbiota entre os tratamentos.

A umidade do solo do experimento foi mantida entre 60 e 70% do volume total de poros (VTP) da mistura, por irrigações periódicas, usando um sistema de irrigação por gotejamento em cada vaso e por pesagens periódicas (Apêndice 4 inferior).

O desenvolvimento das plantas foi acompanhado até 206 dias após o transplântio (DAT) (Apêndice 4 superior).

Variáveis analisadas

No **experimento I** foram analisadas as seguintes variáveis: comprimento de raiz, altura de plantas, área foliar, massa da matéria seca da parte aérea, fotossíntese e área radicular total e comprimento total de raiz medidos no programa de computador (Sistema Integrado para Análise de raízes e cobertura do Solo – SIARCS) aos 97 (DAT); comprimento de raiz, altura de plantas, massa da matéria seca da parte aérea e raiz e área foliar aos 130 DAT.

No **experimento II** foram analisadas as seguintes variáveis: altura de planta, diâmetro de caule, quantificação de clorofila na folha aos 71 e 175 DAT, quantificação da atividade das enzimas redutase de nitrato e fosfatase em folhas, massa da matéria fresca de raiz, massa da matéria seca da parte aérea, área foliar, contagem de esporos micorrízicos no solo, avaliação da colonização micorrízica nas raízes e teor de K, P, Ca, Mg, e Al na parte aérea.

Medidas de altura, diâmetro de caule e comprimento e área de raiz

Experimento I:

Aos 97 dias após o transplântio (DAT) foram coletadas 3 plantas por cultivar por caixa e medidos com régua o comprimento da raiz, medindo-se do colo da planta até o final do maior comprimento alcançado pela raiz e altura de plantas em cm.

As raízes foram estocadas em álcool 50% e posteriormente passadas em Scanner e analisadas sua área em cm^2 e comprimento total em cm no Sistema Integrado para Análise de raízes e cobertura do Solo (SIARCS). Esse comprimento total é a somatória das medidas de comprimento de todos os segmentos de raiz, das raízes de uma planta.

As três plântulas de cafeeiro de cada cultivar restantes foram mantidas com os tratamentos até 130 DAT e então medidos novamente as alturas de plantas e comprimento de raiz.

Experimento II: No final do experimento foram medidas as alturas das plantas e diâmetros de caule (em cm).

Área foliar

A área foliar das plantas tanto do experimento I quanto do experimento II foi medida em medidor de área foliar do tipo esteira da Li-cor model Li-3.100 area meter, no final de cada coleta.

Fotossíntese

Medidas de fotossíntese foram feitas nos cultivares Bourbon amarelo, Obatã

IAC 1669-20, IAC-3795, Mundo novo, IAC-4045 e catuaí vermelho, aos 97 dias após o transplante, em 3 plantas por cultivar por tratamento. Os tratamentos foram o controle sem alumínio e o tratamento de estresse de Al a dose de 0,148 mmol/L na forma de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Foi escolhido este tratamento porque as folhas dos cafeeiros dos tratamentos com maiores concentrações de alumínio na solução eram menores e não encaixavam bem na presilha de medição do aparelho.

As medidas da fluorescência da clorofila a foram feitas em folhas localizadas na região intermediária do ramo caulinar por meio de um fluorômetro modulado (PAM-2000). As medidas foram realizadas por meio do método do pulso de saturação (Schreiber *et al.*, 1994) em folhas pré-adaptadas em câmara de crescimento por um período de 12 h (28 °C, 70% U.R.). Foram medidos os valores de fluorescência inicial (F_o), máxima (F_m) e a relação F_v/F_o ($F_v = F_m - F_o$) (Da Matta *et al.*, 1997). Após as medidas de fluorescência, as plantas foram submetidas a um período de indução de fotossíntese nas seguintes condições: 28°C, 270 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 70% U.R., por 1 hora. Em seguida foram feitas as medidas de taxas de fotossíntese líquida (A) e das condutâncias estomáticas (g_s) com um sistema portátil de fotossíntese (LCi, ADC) em folhas submetidas a irradiância saturante (900 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) fornecida por uma lâmpada de halogênio.

Massa da matéria seca da parte aérea e raiz e da massa fresca de raiz

Experimento I:

Aos 97 DAT a parte aérea foi separada da raiz, sendo a parte aérea colocada para secar em estufa com ventilação forçada a 60 °C por 72 horas e a raiz conservada em álcool, para posterior medição no SIARCS.

Aos 130 DAT a parte aérea foi separada da raiz e ambas foram colocadas para secar em estufa com ventilação forçada a 60°C por 72 horas.

Após a secagem procedeu-se à pesagem para obtenção da massa da matéria seca da parte aérea e da raiz.

Experimento II:

A massa da matéria seca da parte aérea (MS) foi avaliada ao final do experimento com mesmo procedimento do experimento I.

A raiz foi separada da parte aérea, lavada, seca em papel toalha, pesada e conservada em etanol 50%, para posterior determinação da colonização micorrízica.

Alumínio, macro e micronutrientes da parte aérea e raiz do cafeeiro

Experimento I:

Após a secagem e pesagem, a parte aérea e as raízes das 3 plântulas aos 130 DAT foram moídas e submetidas à digestão nítrico perclórica. Nos extratos foram determinados os teores de K, P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, Cu e Al. Todos os elementos foram determinados por espectrofotometria de emissão em plasma, induzido em argônio (ICP/AES), nos laboratórios do Centro de Solos e Recursos Agroambientais, do IAC.

Experimento II:

As determinações dos teores de K, P, Ca, Mg e Al foram realizadas seguindo a metodologia utilizada no experimento I.

Quantificação de clorofila em folhas

A quantificação de clorofila (nas folhas) foi feita na segunda folha completamente expandida, aos 71 e 157 DAT, utilizando-se medidor de clorofila Spad – meter 502 (Minolta Co. Ltda., Japan) em mg de clorofila cm⁻².

Atividade das enzimas fosfatase ácida e redutase de nitrato em folhas

A atividade da enzima fosfatase ácida foi avaliada de acordo com o procedimento de Besford (1980). Utilizou-se 100 mg de limbo foliar recém coletado, os quais foram incubados com 8 mL de paranitrofenilfosfato 0,25 mmol L⁻¹ em tampão acetato de sódio 0,1 mol L⁻¹ (pH 4,0). Após a incubação por 20 min a 30 °C, ao abrigo da luz, 5 mL da mistura de reação foram alcalinizados com 2 mL de NaOH 2 mol L⁻¹, estimando-se a quantidade de paranitrofenol formado, colorimetricamente em espectrofotômetro a 410 nm. Os resultados foram expressos em µg p-NPP g⁻¹ h⁻¹.

Atividade da enzima redutase de nitrato em folha foi determinada em recortes de tecidos de folhas de aproximadamente 0,2 mm (Randall, 1969). Utilizou-se 0,3g de discos de tecido "in vivo" de folhas completamente expandidas e ativas, inoculadas com tampão fosfato 0,1M a pH 8,0 contendo KNO₃ 0,1M, através de bomba de vácuo (3 vezes por 2 min) e incubadas em banho Maria a 32 °C. Alíquotas de 0,2 mL foram retiradas aos 15 e 75 minutos da incubação para determinação do NO₂⁻ através da leitura em espectrofotômetro a 540 nm da reação colorimétrica em reagente contendo sulfanilamida a 1% em HCl 1,5N e N-Naftil a 0,02% na proporção de 1:1 (v:v). Os resultados foram expressos em µg NO₂ g⁻¹ h⁻¹.

Determinação da colonização das raízes pelo FMA

Das raízes conservadas em etanol foram retiradas 50% das raízes finas, as quais foram despigmentadas com KOH 5% em banho-maria, acidificada em HCl 2%, coradas com tripan blue (Koske & Gemma, 1989) e conservadas imersas em lactoglicerol. A porcentagem de raiz colonizada pelo fungo micorrízico foi estimada pelo método da visualização de segmentos de raiz em lâminas, sob microscópio óptico (Giovannetti & Mosse, 1980).

Esporulação do FMA

Do solo dos vasos estocados em câmara fria foram extraídos os esporos dos FMAs, pelo método de lavagens sucessivas e peneiramento úmido (Gerdemann & Nicolson, 1963), os quais foram centrifugados a 2000 rpm em sacarose 50%, lavados e contados em placas de petri caneladas sob microscópio estereoscópio.

A contagem foi expressa em número de esporos por 100 g de solo.

Análise estatística:

Todos os dados foram submetidos à análise de variância, teste de Tukey de comparação de médias, utilizando o programa SAS para Windows e para a regressão foi empregado o programa SANEST.

Experimento I: todos os dados referentes à fisiologia das plantas são resultados da média das três plantas coletadas por época de coleta.

Experimento II: os dados correspondentes a contagens de esporos foram transformados para $\log(x+1)$ e os referentes à colonização micorrízica, para $\arcsin(x/100)^{1/2}$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento I

Parâmetros fisiológicos

Os cultivares reagiram de forma similar aos níveis crescentes de Al nas soluções nutritivas, não sendo possível distinguir dentre eles, pelo teste de tukey, nenhum cultivar sensível ou tolerante ao Al (Apêndice 2 e 3).

Para os cultivares avaliados aos 97 DAT, foram observados efeitos significativos dos níveis de Al sobre as características de crescimento como comprimento de raiz (c.raiz), massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e área foliar (AF) e foi não significativo no comprimento total de raiz (CTR), área total de raiz (ATR) e altura (Figura 1 e Tabelas 2 e 3).

Dentre as características relacionadas à parte aérea, a massa seca da parte aérea e a área foliar sofreram reduções na ordem de 50%, quando se comparam os dados obtidos na concentração de 0,592 mmol/L em relação ao controle sem Al. Por outro lado, a altura de planta embora tivesse diminuído com o aumento da concentração de Al, o efeito do Al não foi não significativo (Tabela 2).

Nos parâmetros fisiológicos relativos ao crescimento radicular, os efeitos das concentrações de Al apresentaram um comportamento contrastante com o da parte aérea. Há um aparente efeito benéfico do Al no crescimento das raízes de cafeeiro (Figura 1 e Tabela 3). Comparando-se os dados obtidos na concentração de 0,148 mmol/L com os do tratamento controle (0 de Al), ocorreram elevações de 35% no comprimento das raízes, de 71% na ATR e de 120% no comprimento total de raízes

(Figura 1 e Tabela3).

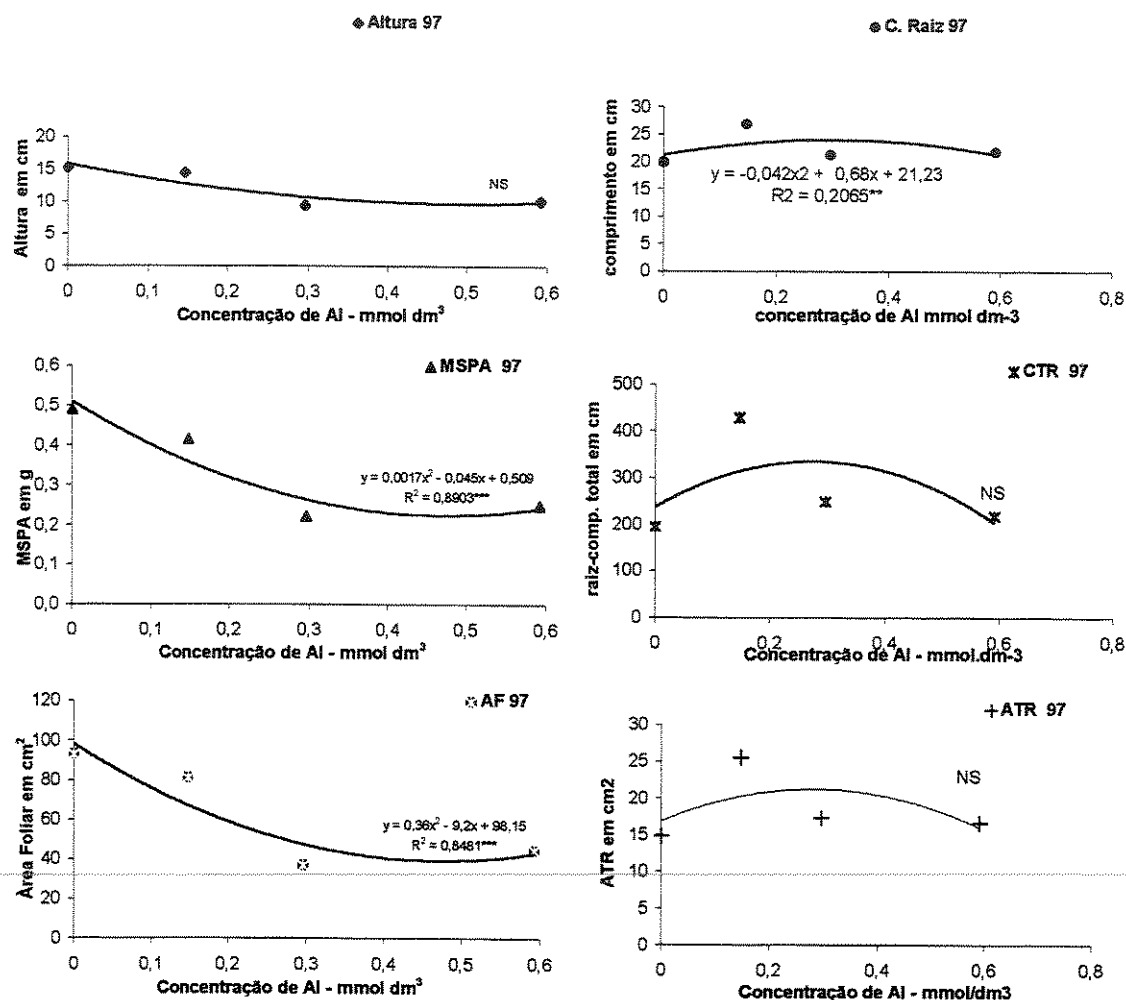


Figura 1- Altura, comprimento de raiz (C. raiz), massa da matéria seca da parte aérea (MSPA), Comprimento total de raiz (CTR), área foliar (AF) e área total de raiz (ATR) da média de 3 plantas de 11 cultivares de cafeeiro aos 97 DAT em função da elevação da concentração de Al na solução nutritiva (0; 0,148; 0,296 e 0,592 mmol/dm³).

Tabela 2. Valores médios de altura, massa seca da parte aérea e área foliar de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 97 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol.L ⁻¹				Média	Efeito ⁽¹⁾
	0,0	0,148	0,296	0,592		
Altura, cm/planta						
Icatu	14,66	12,26	8,73	10,50	11,54	NS
Bourbon vermelho	16,60	14,66	11,70	10,70	13,41	NS
Bourbon amarelo	16,46	16,10	9,36	11,00	13,23	NS
Obatã	14,60	14,73	8,56	10,00	11,97	NS
Nacional	12,73	14,66	9,46	10,13	11,75	NS
IAC 3795	17,90	16,80	9,20	10,40	13,57	NS
Mundo novo	16,46	15,26	9,40	9,56	12,67	NS
IAC 4045	16,56	15,06	10,30	11,30	13,31	NS
Catuaí vermelho	14,36	12,63	8,86	9,13	11,25	NS
Catuaí amarelo	13,73	13,66	9,30	10,10	11,70	NS
IAC 1669	12,66	12,36	8,33	8,30	10,42	NS
Média	15,16	14,38	9,38	10,10		NS
Massa da matéria seca da parte aérea, g/planta						
Icatu	0,28	0,34	0,18	0,20	0,25	L
Bourbon vermelho	0,42	0,33	0,23	0,21	0,30	L/Q
Bourbon amarelo	0,62	0,38	0,22	0,25	0,37	L/Q
Obatã	0,75	0,52	0,25	0,30	0,46	L/Q
Nacional	0,24	0,32	0,18	0,19	0,23	L
IAC 3795	0,55	0,48	0,22	0,25	0,37	L/Q
Mundo novo	0,53	0,36	0,22	0,25	0,34	L/Q
IAC 4045	0,54	0,39	0,23	0,29	0,36	L/Q
Catuaí vermelho	0,48	0,32	0,24	0,25	0,32	L/Q
Catuaí amarelo	0,51	0,57	0,23	0,30	0,40	L/Q
IAC 1669	0,45	0,54	0,24	0,26	0,37	L
Média	0,49	0,41	0,22	0,25		L/Q
Área Foliar, cm ² /planta						
Icatu	58,2	63,5	29,3	36,7	46,9	L
Bourbon vermelho	78,8	61,7	37,4	34,1	52,9	L/Q
Bourbon amarelo	106,2	73,4	37,2	42,9	64,9	L/Q
Obatã	136,1	100,0	43,0	54,8	83,5	L/Q
Nacional	45,5	59,6	27,3	29,7	40,5	L
IAC 3795	104,9	94,6	37,2	48,9	71,4	L/Q
Mundo novo	95,3	74,1	37,1	40,9	63,8	L/Q
IAC 4045	103,3	75,9	35,8	52,2	66,8	L/Q
Catuaí vermelho	95,3	70,8	42,2	48,2	64,1	L/Q
Catuaí amarelo	98,9	113,2	38,4	55,3	76,5	L/Q
IAC 1669	91,4	105,9	42,7	47,9	71,9	L
Média	92,9	81,1	37,1	44,7		L/Q

⁽¹⁾ Efeito: L - linear, Q – quadrático, NS – não significativo, em nível de 5%.

Tabela 3. Valores médios de comprimento de raiz, área total e comprimento total das raízes de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 97 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol.L ⁻¹				Média	Efeito ⁽¹⁾
	0	0,148	0,296	0,592		
Comprimento de raiz, cm/planta						
Icatu	17,73	23,86	19,53	20,53	20,41	NS
Bourbon vermelho	19,66	27,66	25,43	26,77	24,88	NS
Bourbon amarelo	21,40	29,13	23,16	22,16	23,96	NS
Obatã	21,13	27,43	16,80	18,43	20,95	NS
Nacional	13,60	24,86	17,50	18,30	18,56	NS
IAC 3795	20,93	25,60	19,33	20,96	22,86	NS
Mundo novo	22,60	28,63	24,90	23,76	24,97	NS
IAC 4045	19,66	29,76	22,53	23,83	23,55	NS
Catuaí vermelho	22,20	27,03	23,80	22,60	23,91	NS
Catuaí amarelo	21,36	27,40	21,26	21,43	22,87	NS
IAC 1669	20,00	23,86	20,19	21,33	21,52	NS
Média	19,88	26,90	21,30	21,80		Q
Área total das raízes, cm ² /planta						
Icatu	8,13	28,00	16,63	13,17	16,48	NS
Bourbon vermelho	13,67	23,40	19,97	20,80	19,46	NS
Bourbon amarelo	13,60	25,37	21,69	20,43	20,27	NS
Obatã	25,97	29,10	20,50	21,03	24,15	NS
Nacional	7,97	24,89	18,60	9,46	15,23	NS
IAC 3795	17,97	21,13	11,70	11,57	15,59	NS
Mundo novo	16,20	22,13	13,83	12,00	16,04	NS
IAC 4045	19,63	18,16	18,90	24,99	20,43	NS
Catuaí vermelho	12,37	17,87	17,40	19,57	19,45	NS
Catuaí amarelo	14,30	37,33	18,00	19,00	22,16	NS
IAC 1669	14,40	33,10	13,00	10,73	17,81	NS
Média	14,90	25,50	17,30	16,60		NS
Comprimento total das raízes, cm/planta						
Icatu	133,2	464,7	229,4	159,7	246,7	NS
Bourbon vermelho	189,8	359,6	302,9	313,5	291,5	NS
Bourbon amarelo	182,4	427,9	339,3	305,9	313,8	NS
Obatã	295,0	542,5	333,3	273,2	361,0	NS
Nacional	100,2	429,5	275,9	135,4	235,3	NS
IAC 3795	268,7	386,9	149,9	150,9	239,2	NS
Mundo novo	207,9	351,1	185,9	140,6	221,4	NS
IAC 4045	239,4	268,3	235,9	295,8	259,9	NS
Catuaí vermelho	144,4	298,1	239,3	223,7	226,4	NS
Catuaí amarelo	186,3	592,7	263,0	233,3	318,8	NS
IAC 1669	193,6	596,8	178,3	175,6	286,1	NS
Média	194,6	428,9	248,5	218,9		NS

⁽¹⁾ Efeito: L - linear, Q - quadrático, NS - não significativo, em nível de 5%.

O sistema radicular é considerado o principal órgão afetado pelo excesso de alumínio sendo que o primeiro sintoma em cafeeiro é a redução no crescimento do mesmo e a mudança da cor branca para marrom, principalmente no ápice (Pavan & Bingham, 1982). As injúrias a esse órgão promovem decréscimos no crescimento e desenvolvimento da planta como um todo. Neste experimento, embora os sintomas de toxidez de alumínio fossem visualmente evidentes na parte aérea, na raiz as características de crescimento avaliadas demonstraram um comportamento oposto, com aparente estímulo ao crescimento na dose de 0,148 mmol/L. Este resultado foi discordante dos obtidos por Pavan & Bingham (1982) que verificaram decréscimos no crescimento das plantas, inclusive das raízes, em todas as doses de alumínio testadas, até mesmo na dose de 0,074 mmol/dm³. Por outro lado, Lin & Myhre (1991) obtiveram com plantas de citros resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho, constatando estímulos ao crescimento das raízes. Em arroz, conforme relatos de Sivaguru & Paliwal (1993), altas concentrações de Al podem ser benéficas a alguns genótipos dessa espécie. São descritos também estímulos promovidos ao crescimento em várias espécies como a *Scabiosa columbrera* (Grime & Rodgson, 1969), espécies de eucalipto e pinus (Huang & Bachelard, 1993) e *Hevea brasiliensis* (Bueno, 1987), entre outros.

A resposta da raiz de cafeeiro sob a dose de 0,148 mmol/L alumínio deste trabalho foi condizente com resultados obtidos por Manetti & Santos (1977) para as raízes de 5 cultivares de cafeeiro, 4 dos quais fazem parte deste trabalho (Catuaí vermelho, Catuaí amarelo, Mundo novo e Icatu). Os cultivares testados por Manetti & Santos (1977) em presença de 0,22 mmol/L de alumínio em solução nutritiva apresentaram uma resposta altamente favorável, com melhor desenvolvimento e

crescimento do sistema radicular. Os autores observaram também cor verde mais intensa das folhas do cafeeiro com alumínio que o tratamento sem alumínio. Braccini (2000) relata aumentos na produção de biomassa seca da parte aérea e da raiz em 3 cultivares, sendo um deles, o Icatu considerado em seu trabalho como tolerante ao Al, e no mesmo trabalho os autores afirmam que o comprimento radicular é o parâmetro mais afetado em presença de Al.

Neste trabalho, apesar do visível benefício apresentado do Al às raízes (mesmo no comprimento), ocorreu inibição do desenvolvimento da parte aérea do cafeeiro, conforme Tabela 2 e Figura 1. Isto demonstra que apesar do aparente benefício promovido na raiz, o Al modificou a absorção de íons e/ou continuou a ser absorvido pela planta e translocado para a parte aérea provocando toxidez traduzida por reduções consideráveis na altura (33%), na MSPA (49%) e na AF (52%), concordando com Braccini *et al.* (1998a) e Passo & Ruiz (1995) que também notaram reduções na parte aérea de café. Por ter o alumínio beneficiado apenas as raízes e não a parte aérea a provável causa do estímulo ao crescimento radicular pode estar mais relacionada a um aumento na disponibilidade de Fe, através da hidrólise do alumínio e da diminuição do pH. Pode também ser devido ao retardamento da deterioração das raízes em baixas concentrações de cálcio pelo crescimento mais lento ou ainda prevenção de toxicidade de Cu e Mn (Foy, 1974), pois com a elevação da concentração de alumínio na solução notou-se a diminuição do teor de ambos na raiz, a qual apresentava elevados teores de Cu e Mn no tratamento controle sem alumínio.

A Figura 2, mostra o comportamento dos parâmetros fisiológicos do cafeeiro submetido a concentrações de alumínio na solução de cultivo aos 130 DAT. De

forma similar à observada aos 97 DAT nota-se decréscimo em todos os parâmetros menos no comprimento de raiz, que não mostrou alteração significativa com os tratamentos (Tabela 4).

Conforme já observado na primeira avaliação, não ocorreram diferenças marcantes de comportamento entre os cultivares de cafeeiro no crescimento de raízes com relação aos efeitos dos níveis de Al estudados. Nesta segunda avaliação (130 DAT) os efeitos negativos da concentração de 0,592 mmol/L em relação ao controle, apresentaram reduções apenas nas características relacionadas à parte aérea, sendo de 44% na altura das plantas, de 69% na MSPA e de 66% na AF (Figura 2 e Tabela 4). Nos parâmetros fisiológicos relativos à raiz, observados aos 130 DAT, o efeito das doses de Al das soluções não foi significativo para o comprimento de raiz, mas apresentou uma redução quadrática na MSR com redução de 46% na dose de 0,592 mmol/L em relação à dose 0 de Al na solução (Figura 2 e Tabela 5).

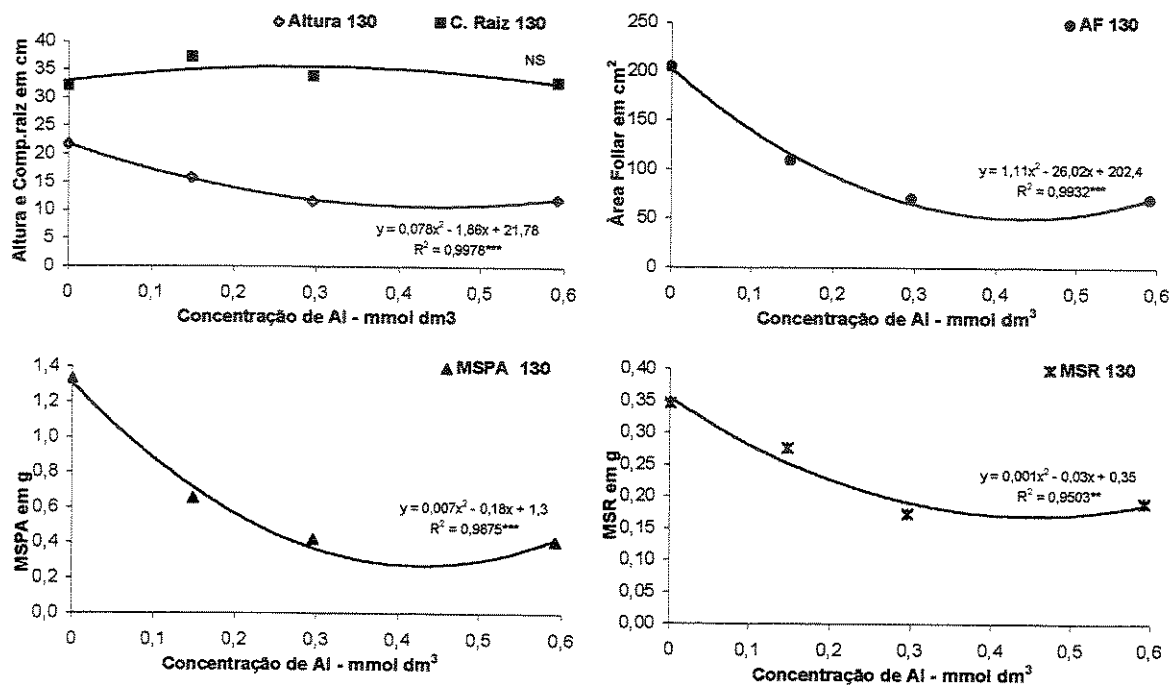


Figura 2 - Altura, comprimento de raiz (C. raiz), massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e área foliar (AF) e massa da matéria seca de raiz (MSR) da média de três plantas de 11 cultivares de cafeeiro em função da elevação da concentração de Al na solução nutritiva (0; 0,148; 0,296 e 0,592 mmol/dm³).

Tabela 4. Valores médios de altura, massa da matéria seca da parte aérea e área foliar de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
Altura, cm/planta						
Icatu	18,3	13,6	11,6	12,7	14,0	NS
Bourbon vermelho	21,7	17,3	13,1	13,9	16,5	L
Bourbon amarelo	24,9	16,9	14,4	15,4	17,9	L/Q
Obatã	20,9	16,2	9,8	10,9	14,5	L/Q
Nacional	18,8	15,8	12,7	12,8	15,0	L
IAC 3795	25,10	18,6	12,2	12,0	16,9	L/Q
Mundo novo	24,5	16,5	11,0	11,2	15,8	L/Q
IAC 4045	24,6	16,6	12,2	14,1	16,9	L/Q
Catuaí vermelho	18,3	14,9	10,9	9,8	13,5	L
Catuaí amarelo	21,8	14,6	10,8	10,8	14,5	L/Q
IAC 1669	19,4	13,5	9,8	9,5	13,1	L
Média	21,7	15,9	11,7	12,1		L/Q
Massa seca da parte aérea, g/planta						
Icatu	0,58	0,56	0,39	0,39	0,48	NS
Bourbon vermelho	0,98	0,68	0,43	0,39	0,62	NS
Bourbon amarelo	1,73	0,61	0,51	0,46	0,83	L/Q
Obatã	1,88	0,82	0,42	0,48	0,90	L/Q
Nacional	0,67	0,50	0,43	0,38	0,49	NS
IAC 3795	1,60	0,68	0,41	0,34	0,76	L/Q
Mundo novo	1,49	0,62	0,33	0,37	0,71	L/Q
IAC 4045	1,12	0,66	0,37	0,41	0,64	NS
Catuaí vermelho	1,01	0,59	0,44	0,39	0,61	NS
Catuaí amarelo	2,00	0,75	0,42	0,43	0,90	L/Q
IAC 1669	1,54	0,69	0,44	0,50	0,79	L/Q
Média	1,33	0,65	0,42	0,41		L/Q
Área Foliar, cm ² /planta						
Icatu	93,5	93,6	67,3	61,7	79,0	NS
Bourbon vermelho	145,1	105,7	70,1	76,7	99,4	L
Bourbon amarelo	229,7	95,3	84,3	82,6	122,9	L/Q
Obatã	280,5	153,0	69,5	73,5	144,1	L/Q
Nacional	104,6	76,6	66,3	62,3	77,4	NS
IAC 3795	222,9	115,3	68,5	58,5	116,3	L/Q
Mundo novo	214,5	103,2	57,3	60,1	108,8	L/Q
IAC 4045	233,1	105,4	62,8	69,1	117,6	L/Q
Catuaí vermelho	173,3	110,1	79,2	66,9	107,4	L
Catuaí amarelo	305,6	128,4	75,9	72,7	145,7	L/Q
IAC 1669	252,1	114,9	76,2	89,6	133,2	L/Q
Média	204,9	109,2	70,7	70,3		L/Q

⁽¹⁾ Efeito: L - linear, Q - quadrático, NS - não significativo, em nível de 5%.

Tabela 5. Valores médios de comprimento e massa da matéria seca de raízes de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
Comprimento da raiz, cm/planta						
Icatu	25,8	37,9	33,2	32,0	32,2	NS
Bourbon vermelho	32,9	40,6	36,4	34,5	36,1	NS
Bourbon amarelo	30,5	39,6	35,3	37,1	35,6	NS
Obatã	30,9	31,7	26,3	24,4	28,3	NS
Nacional	31,5	35,3	33,5	32,4	33,2	NS
IAC 3795	31,1	34,8	33,1	31,6	32,7	NS
Mundo novo	30,3	43,5	37,2	33,3	36,1	NS
IAC 4045	36,2	39,4	33,6	36,0	36,3	NS
Catuaí vermelho	34,7	37,8	36,4	38,6	36,8	NS
Catuaí amarelo	34,5	42,4	36,7	32,5	36,5	NS
IAC 1669	35,9	26,8	32,2	30,2	31,3	NS
Média	32,2	37,2	34,0	32,9		NS
Massa da matéria seca de raízes, g/planta						
Icatu	0,16	0,26	0,16	0,19	0,19	NS
Bourbon vermelho	0,26	0,30	0,18	0,17	0,23	NS
Bourbon amarelo	0,39	0,25	0,22	0,27	0,28	NS
Obatã	0,52	0,29	0,17	0,18	0,29	L/Q
Nacional	0,18	0,21	0,16	0,17	0,18	NS
IAC 3795	0,36	0,25	0,16	0,14	0,23	L
Mundo novo	0,35	0,26	0,14	0,17	0,23	L
IAC 4045	0,48	0,35	0,19	0,24	0,32	L/Q
Catuaí vermelho	0,27	0,25	0,17	0,17	0,21	NS
Catuaí amarelo	0,48	0,39	0,18	0,20	0,31	L
IAC 1669	0,36	0,23	0,17	0,19	0,24	NS
Média	0,35	0,28	0,17	0,19		L/Q

⁽¹⁾ Efeito: L - linear, Q – quadrático, NS – não significativo, em nível de 5%.

Aos 130 DAT nota-se que o efeito das doses de Al na solução provocou diminuições mais acentuadas na parte aérea que aos 97 DAT. Ocorreram reduções consideráveis na altura, mas AF e a MSPA foram drasticamente afetadas nesta data. As folhas do tratamento com 0,592 mmol/L eram visivelmente menores e amareladas dando sinais de carência de nutrientes.

As raízes, mesmo não apresentando diferenças significativas quanto ao comprimento, apresentaram redução de 46% na sua produção de matéria seca confirmando o agravamento dos sintomas de toxidez por Al, concordando com Rodrigues et al. (2001) que notaram uma redução na massa da matéria seca das raízes de café em altas saturações de Al.

Como aos 97 DAT notou-se um aparente benefício do Al ao crescimento e desenvolvimento das raízes e aos 130 DAT o Al não alterou o comprimento de raiz, mas promoveu uma diminuição na produção de matéria seca, sugere-se a necessidade de maiores investigações quanto ao período necessário de exposição ao Al para provocar toxidez e/ou aparente benefício e mesmo as causas que levam a esse estímulo.

Teores de alumínio de macro e micronutrientes

As Figuras 3 e 4 e Tabelas 6 a 17 mostram o efeito das doses de alumínio na concentração e acúmulo de macro e micronutrientes na parte aérea e raiz do cafeeiro aos 130 DAT.

O aumento na dose de alumínio adicionada à solução nutritiva afetou significativamente o teor de K e o K acumulado da parte aérea e raiz, seguindo modelo quadrático ascendente no teor da parte aérea e raiz e descendente no acúmulo na parte aérea e raiz. No geral as plantas apresentaram uma elevação no teor de 17 e 9,8% na parte aérea e raiz, respectivamente e um decréscimo no acúmulo de 63 na parte aérea e 66% na raiz de cafeeiro (Figura 3 e Tabelas 6, 9, 12 e 15).

As doses crescentes de alumínio na solução de cultivo afetaram de forma

quadrática o teor de P tanto na parte aérea quanto na raiz (Figura 3). Observou-se que de modo geral o teor de P foi maior na raiz que na parte aérea. Nota-se que há um acréscimo de 180% (tabela 12) no teor de P na raiz e um decréscimo de 50% (Tabela 6) de P na parte aérea nas maiores concentrações de Al na solução com relação ao controle sem Al. O acúmulo de P na parte aérea apresenta uma diminuição quadrática de 10% na dose de 0,592 mmol/L de Al na solução comparada com a dose 0. O acúmulo de P na raiz não foi afetado pelas doses de Al (Figura 3 e Tabelas 6, 9, 12 e 15).

O teor e o acúmulo de Ca e Mg da parte aérea e da raiz mostraram respostas similares em relação às doses de Al adicionadas à solução nutritiva, sendo o seu efeito linear e descendente. Na parte aérea ocorreu diminuição de 37 e 40% para o Ca e Mg respectivamente na maior dose com relação ao controle. O teor de ambos na raiz mostrou ajuste quadrático descendente com redução de 72 e 64% para o Ca e Mg respectivamente na dose de 0,592 mmol/L quando comparado com a dose 0 de Al na solução. O Ca e Mg acumulados na parte aérea do café foram 81 e 82% menores, respectivamente, no teor de Al de 0,592 mmol/L com relação ao controle sem Al. O acúmulo de Ca e Mg na raiz das plantas também mostraram uma redução de 92 e 88% respectivamente entre a dose 0 e a dose máxima de alumínio (Figura 3 e Tabelas 6, 7, 9, 10, 12, 13, 15 e 16).

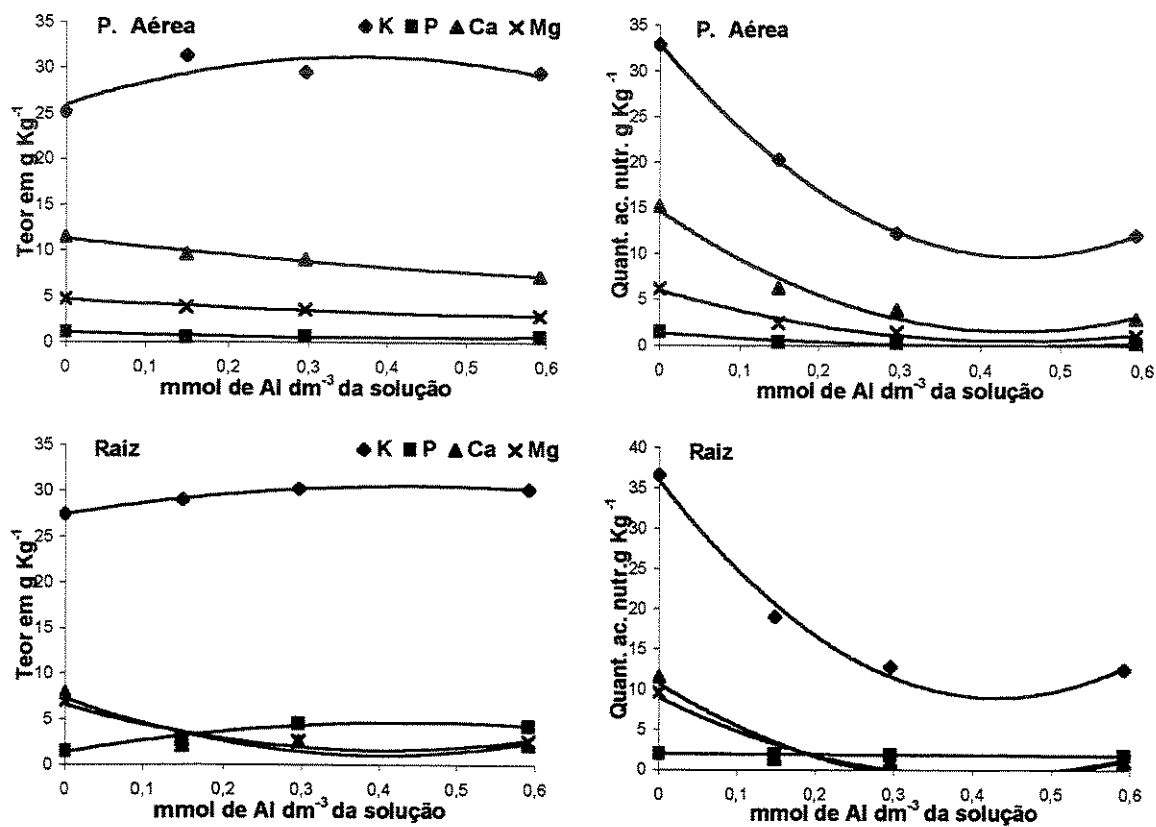


Figura 3 – Teor e acúmulo de K, P, Ca e Mg na parte aérea e raiz do cafeeiro em função da dose de Al na solução nutritiva.

Tabela 6. Valores médios do teor de K, P e Ca da parte aérea de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0,0	0,148	0,296	0,592		
K, g/kg						
Icatu	28,5	32,3	31,0	26,8	29,6	NS
Bourbon vermelho	24,8	25,1	29,8	28,6	27,1	NS
Bourbon amarelo	24,1	29,0	27,4	28,7	27,3	NS
Obatã	24,4	30,3	28,6	28,9	28,0	NS
Nacional	28,4	31,2	30,3	31,1	30,2	NS
IAC 3795	24,5	31,3	30,1	30,3	29,1	NS
Mundo novo	25,2	32,4	28,8	29,4	28,9	NS
IAC 4045	24,3	33,9	31,4	31,8	30,4	NS
Catuaí vermelho	24,4	32,4	29,6	29,7	29,0	NS
Catuaí amarelo	22,4	34,2	30,1	30,4	29,3	NS
IAC 1669	26,1	32,1	27,6	28,6	28,6	NS
Média	25,2	31,3	29,5	29,5		L/Q
P, g/kg						
Icatu	1,17	0,50	0,57	0,50	0,68	NS
Bourbon vermelho	1,13	0,53	0,67	0,60	0,73	NS
Bourbon amarelo	1,06	0,50	0,53	0,53	0,67	NS
Obatã	1,06	0,53	0,57	0,53	0,67	NS
Nacional	1,20	0,63	0,77	0,73	0,83	NS
IAC 3795	1,13	0,50	0,63	0,53	0,70	NS
Mundo novo	1,06	0,47	0,53	0,50	0,64	NS
IAC 4045	1,13	0,53	0,63	0,57	0,72	NS
Catuaí vermelho	1,10	0,53	0,57	0,53	0,68	NS
Catuaí amarelo	1,00	0,53	0,60	0,47	0,65	NS
IAC 1669	1,03	0,50	0,57	0,57	0,67	NS
Média	1,10	0,52	0,60	0,55		L/Q
Ca, g/kg						
Icatu	11,6	9,3	8,7	6,2	8,9	NS
Bourbon vermelho	11,7	9,6	10,5	7,8	9,9	NS
Bourbon amarelo	10,8	9,0	8,3	8,3	9,1	NS
Obatã	10,5	9,5	8,7	7,5	9,1	NS
Nacional	12,0	10,3	10,8	7,9	10,3	NS
IAC 3795	10,6	8,8	9,1	6,9	8,9	NS
Mundo novo	11,6	9,5	8,3	6,6	9,0	NS
IAC 4045	11,6	9,7	9,0	7,7	9,5	NS
Catuaí vermelho	12,3	9,7	8,6	7,0	9,4	NS
Catuaí amarelo	12,3	10,9	9,3	6,3	9,7	NS
IAC 1669	10,8	9,1	8,3	6,7	8,7	NS
Média	11,5	9,6	9,1	7,2		L

⁽¹⁾ Efeito: L - linear, Q – quadrático, NS – não significativo, em nível de 5%.

Tabela 7. Valores médios do teor de Mg, Cu e Fe em g/kg da parte aérea de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
Mg, g/kg						
Icatu	4,8	3,9	3,2	2,4	3,6	NS
Bourbon vermelho	4,8	3,4	3,5	2,6	3,6	NS
Bourbon amarelo	4,1	3,3	2,9	2,8	3,3	NS
Obatã	4,2	3,5	3,7	2,8	3,5	NS
Nacional	5,0	3,9	4,2	3,2	4,1	NS
IAC 3795	4,4	3,8	3,4	2,8	3,6	NS
Mundo novo	4,8	3,6	3,7	3,0	3,8	NS
IAC 4045	4,8	4,1	3,3	2,8	3,8	NS
Catuaí vermelho	5,2	3,8	3,3	3,0	3,9	NS
Catuaí amarelo	4,7	4,1	3,7	2,3	3,7	NS
IAC 1669	4,6	3,8	3,7	3,0	3,8	NS
Média	4,7	3,7	3,5	2,8		L
Cu, mg/kg						
Icatu	5,9	6,0	6,1	4,9	5,8	NS
Bourbon vermelho	4,0	5,8	6,0	5,6	5,4	NS
Bourbon amarelo	3,1	5,9	4,5	4,6	4,6	NS
Obatã	3,9	5,7	6,1	5,1	5,2	NS
Nacional	5,8	5,9	6,3	6,6	6,2	NS
IAC 3795	4,1	5,2	7,0	6,6	5,7	NS
Mundo novo	4,5	4,9	5,9	5,4	5,2	NS
IAC 4045	4,3	6,0	6,1	5,5	5,5	NS
Catuaí vermelho	4,4	7,1	6,2	5,7	5,9	NS
Catuaí amarelo	3,6	5,8	6,6	4,8	5,2	NS
IAC 1669	4,8	5,7	6,9	5,4	5,7	NS
Média	4,4	5,8	6,2	5,5		L/Q
Fe, mg/kg						
Icatu	159,7	180,0	174,3	158,3	168,1	NS
Bourbon vermelho	159,3	177,3	168,3	146,7	162,9	NS
Bourbon amarelo	130,7	154,0	134,3	145,3	141,1	NS
Obatã	142,0	155,7	153,0	145,3	149,0	NS
Nacional	167,7	164,7	182,3	164,6	169,8	NS
IAC 3795	145,7	154,0	188,7	171,6	165,0	NS
Mundo novo	143,7	164,3	157,3	154,3	154,9	NS
IAC 4045	140,3	178,0	270,7	164,3	188,3	NS
Catuaí vermelho	150,0	170,0	164,3	158,3	160,7	NS
Catuaí amarelo	198,7	182,3	181,0	138,7	175,2	NS
IAC 1669	151,0	159,3	217,3	167,0	173,7	NS
Média	153,5	167,2	181,0	155,9		NS

⁽¹⁾ Efeito: L - linear, Q - quadrático, NS - não significativo, em nível de 5%.

Tabela 8. Valores médios do teor de Mn, Zn e Al da parte aérea de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
Mn, mg/kg						
Icatu	331,3	319,3	186,0	132,3	242,2	NS
Bourbon vermelho	320,3	262,0	172,0	120,0	218,6	NS
Bourbon amarelo	296,3	258,3	142,0	144,3	210,2	NS
Obatã	231,0	293,0	178,3	140,0	210,6	NS
Nacional	309,3	289,3	185,3	137,7	230,4	NS
IAC 3795	324,7	345,0	178,7	146,0	248,6	NS
Mundo novo	296,7	289,0	159,7	138,0	220,8	NS
IAC 4045	295,0	332,0	175,3	143,3	236,4	NS
Catuaí vermelho	341,3	308,0	164,3	143,0	239,2	NS
Catuaí amarelo	337,3	354,0	198,3	112,3	250,5	NS
IAC 1669	279,7	284,0	170,0	141,3	218,7	NS
Média	305,7	303,1	173,6	136,2		L
Zn, mg/kg						
Icatu	35,7	25,5	20,9	14,9	24,2	NS
Bourbon vermelho	34,4	26,3	23,2	18,9	25,7	NS
Bourbon amarelo	30,1	27,3	17,0	15,8	22,6	NS
Obatã	32,6	24,5	22,6	16,6	24,1	NS
Nacional	37,0	31,5	23,1	20,6	28,1	NS
IAC 3795	37,9	23,3	24,0	20,2	26,4	NS
Mundo novo	36,6	22,5	20,9	18,3	24,6	NS
IAC 4045	35,8	28,6	22,2	18,9	26,4	NS
Catuaí vermelho	34,2	27,1	20,6	19,8	25,4	NS
Catuaí amarelo	28,9	22,9	21,4	17,3	22,6	NS
IAC 1669	34,2	24,9	22,7	22,3	26,0	NS
Média	34,3	25,8	21,7	18,5		L
Al, mg/kg						
Icatu	41,7	169,7	212,3	197,7	155,3	NS
Bourbon vermelho	34,3	139,3	269,3	237,3	170,1	NS
Bourbon amarelo	44,3	144,3	173,0	254,3	154,0	NS
Obatã	59,0	161,0	235,3	241,3	174,2	NS
Nacional	58,0	217,3	259,7	330,3	216,3	NS
IAC 3795	54,7	199,3	246,7	311,3	203,0	NS
Mundo novo	23,3	155,7	235,7	230,7	161,3	NS
IAC 4045	36,3	188,7	223,0	247,0	173,7	NS
Catuaí vermelho	40,7	170,3	216,7	266,7	173,6	NS
Catuaí amarelo	64,7	162,0	249,0	209,3	171,2	NS
IAC 1669	73,7	239,0	310,3	325,3	237,1	NS
Média	48,2	176,9	239,2	259,2		L/Q

⁽¹⁾ Efeito: L - linear, Q - quadrático, NS - não significativo, em nível de 5%.

Tabela 9. Valores médios de acúmulo de K, P e Ca da parte aérea de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
K, g/planta						
Icatu	16,7	18,0	12,2	10,4	14,3	NS
Bourbon vermelho	24,5	17,1	12,9	11,3	16,4	NS
Bourbon amarelo	41,5	17,6	13,6	13,4	21,5	L/Q
Obatã	46,0	24,9	11,9	13,9	24,2	L/Q
Nacional	18,7	15,3	13,2	11,1	14,6	NS
IAC 3795	38,8	21,1	12,3	10,2	20,6	L
Mundo novo	37,7	20,2	9,4	10,9	19,6	L/Q
IAC 4045	27,6	22,6	11,7	13,1	18,8	NS
Catuaí vermelho	24,6	18,9	13,0	11,5	17,0	NS
Catuaí amarelo	44,7	25,4	12,4	13,1	23,9	L/Q
IAC 1669	40,3	22,1	12,1	14,4	22,2	L/Q
Média	32,8	20,3	12,3	12,1		L/Q
P, g/planta						
Icatu	0,68	0,28	0,22	0,19	0,34	L
Bourbon vermelho	1,09	0,36	0,30	0,24	0,50	L/Q
Bourbon amarelo	1,82	0,30	0,27	0,26	0,66	L/Q
Obatã	2,01	0,44	0,23	0,26	0,73	L/Q
Nacional	0,79	0,31	0,33	0,26	0,42	L
IAC 3795	1,75	0,33	0,26	0,18	0,63	L/Q
Mundo novo	1,58	0,29	0,17	0,18	0,55	L/Q
IAC 4045	1,27	0,36	0,24	0,23	0,52	L/Q
Catuaí vermelho	1,11	0,31	0,25	0,21	0,47	L/Q
Catuaí amarelo	1,96	0,39	0,24	0,20	0,69	L/Q
IAC 1669	1,58	0,35	0,25	0,29	0,61	L/Q
Média	1,42	0,33	0,25	0,22		L/Q
Ca, g/planta						
Icatu	7,04	5,12	3,45	2,39	4,50	NS
Bourbon vermelho	11,52	6,42	4,86	3,05	6,46	NS
Bourbon amarelo	18,88	5,47	4,15	3,92	8,10	L
Obatã	19,75	7,81	3,59	3,61	8,69	L
Nacional	8,08	5,95	4,71	2,93	5,23	NS
IAC 3795	16,70	5,95	3,78	2,35	7,19	L
Mundo novo	17,47	5,94	2,74	2,53	7,17	L
IAC 4045	13,13	6,43	3,37	3,16	6,52	NS
Catuaí vermelho	12,73	5,62	3,77	2,71	6,20	NS
Catuaí amarelo	24,20	8,22	3,84	2,73	9,74	L/Q
IAC 1669	16,79	6,33	3,59	3,33	7,51	L
Média	15,10	6,20	3,80	2,90		L/Q

(1) Efeito: L - linear, Q – quadrático, NS – não significativo, em nível de 5%.

Tabela 10. Valores médios de acúmulo de Mg, Cu e Fe da parte aérea de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
Mg, g/planta						
Icatu	2,78	2,18	1,27	0,94	1,79	NS
Bourbon vermelho	4,71	2,24	1,57	1,02	2,38	NS
Bourbon amarelo	7,35	1,97	1,44	1,33	3,02	NS
Obatã	7,93	2,86	1,49	1,37	3,41	L
Nacional	3,37	2,03	1,83	1,13	2,09	NS
IAC 3795	7,04	2,59	1,36	0,96	2,98	NS
Mundo novo	7,23	2,25	1,19	1,13	2,95	NS
IAC 4045	5,46	2,76	1,24	1,15	2,65	NS
Catuaí vermelho	5,38	2,23	1,44	1,18	2,56	NS
Catuaí amarelo	9,53	3,06	1,50	1,00	3,77	L
IAC 1669	7,02	2,70	1,60	1,49	3,20	NS
Média	6,20	2,40	1,40	1,10		L/Q
Cu, mg/planta						
Icatu	3,16	3,31	2,38	1,93	2,69	NS
Bourbon vermelho	3,88	3,91	2,56	2,22	3,14	NS
Bourbon amarelo	5,35	3,52	2,24	2,18	3,32	L
Obatã	7,35	4,67	2,51	2,45	4,24	L/Q
Nacional	3,43	2,98	2,75	2,32	2,87	NS
IAC 3795	6,41	3,52	2,76	2,24	3,73	L
Mundo novo	6,71	3,08	1,95	2,05	3,45	L/Q
IAC 4045	4,88	4,02	2,28	2,27	3,36	L
Catuaí vermelho	4,48	4,22	2,75	2,23	3,42	NS
Catuaí amarelo	7,20	4,29	2,71	2,11	4,08	L
IAC 1669	7,64	3,99	3,00	2,70	4,33	L/Q
Média	5,50	3,70	2,50	2,20		L/Q
Fe, mg/planta						
Icatu	94,6	99,1	68,2	61,6	80,9	NS
Bourbon vermelho	157,5	122,6	74,0	56,5	102,6	L
Bourbon amarelo	225,4	93,7	65,2	68,3	113,1	L/Q
Obatã	266,4	125,8	62,9	70,1	131,3	L/Q
Nacional	112,4	83,0	80,1	59,5	83,8	NS
IAC 3795	221,1	104,0	76,6	57,3	114,7	L
Mundo novo	218,8	102,2	51,6	58,6	107,6	L/Q
IAC 4045	160,9	118,4	99,4	67,1	111,4	NS
Catuaí vermelho	152,9	98,9	70,8	60,9	95,9	NS
Catuaí amarelo	389,5	134,6	74,3	58,7	164,3	L/Q
IAC 1669	231,4	111,5	97,9	81,5	130,6	L
Média	207,7	108,5	74,6	63,6		L/Q

⁽¹⁾ Efeito: L - linear, Q – quadrático, NS – não significativo, em nível de 5%.

Tabela 11. Valores médios acumulados de Mn, Zn e Al da parte aérea de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
Mn, mg/planta						
Icatu	193,0	176,2	72,8	51,0	123,3	NS
Bourbon vermelho	291,0	174,1	77,8	46,8	147,4	L
Bourbon amarelo	479,2	154,4	69,7	68,6	192,9	L/Q
Obatã	431,5	239,3	72,4	67,6	202,7	L
Nacional	192,5	147,5	80,2	47,9	117,0	NS
IAC 3795	476,2	232,7	70,5	49,1	207,1	L
Mundo novo	432,2	179,7	51,8	52,8	179,1	L/Q
IAC 4045	341,5	220,6	65,5	58,8	171,6	L
Catuaí vermelho	350,0	179,3	70,8	54,8	163,7	L
Catuaí amarelo	682,4	265,5	80,4	48,4	269,2	L/Q
IAC 1669	415,6	198,5	73,5	70,4	189,5	L
Média	389,6	197,1	71,4	56,0		L/Q
Zn, mg/planta						
Icatu	20,5	14,1	8,2	5,7	12,1	NS
Bourbon vermelho	33,4	17,6	10,2	7,2	17,1	NS
Bourbon amarelo	52,5	16,3	8,5	7,4	21,2	L/Q
Obatã	61,1	19,9	9,2	8,0	24,6	L/Q
Nacional	23,9	15,7	10,0	6,8	14,1	NS
IAC 3795	61,8	15,9	9,7	6,8	23,6	L/Q
Mundo novo	54,8	13,9	6,8	6,9	20,6	L/Q
IAC 4045	40,3	18,9	8,3	7,7	18,8	L
Catuaí vermelho	34,7	15,7	9,0	7,6	16,7	NS
Catuaí amarelo	60,7	16,9	8,8	7,1	23,4	L/Q
IAC 1669	54,2	17,3	9,8	11,1	23,1	L/Q
Média	45,3	16,6	8,9	7,5		L/Q
Al, mg/planta						
Icatu	23,4	93,9	82,9	75,5	68,9	NS
Bourbon vermelho	38,3	92,4	112,9	91,4	83,8	NS
Bourbon amarelo	76,9	88,1	85,1	118,6	92,2	NS
Obatã	110,1	136,1	96,5	116,9	114,9	NS
Nacional	38,2	109,1	110,7	110,1	92,0	NS
IAC 3795	81,8	135,8	95,5	103,6	104,2	NS
Mundo novo	39,5	97,3	77,4	86,9	75,3	NS
IAC 4045	45,4	125,8	83,3	99,9	88,6	NS
Catuaí vermelho	46,7	98,7	93,9	101,9	85,3	NS
Catuaí amarelo	144,3	125,9	100,0	83,7	113,5	NS
IAC 1669	89,1	170,8	132,8	160,6	138,3	NS
Média	66,7	115,8	97,4	104,5		NS

⁽¹⁾ Efeito: L - linear, Q – quadrático, NS – não significativo, em nível de 5%.

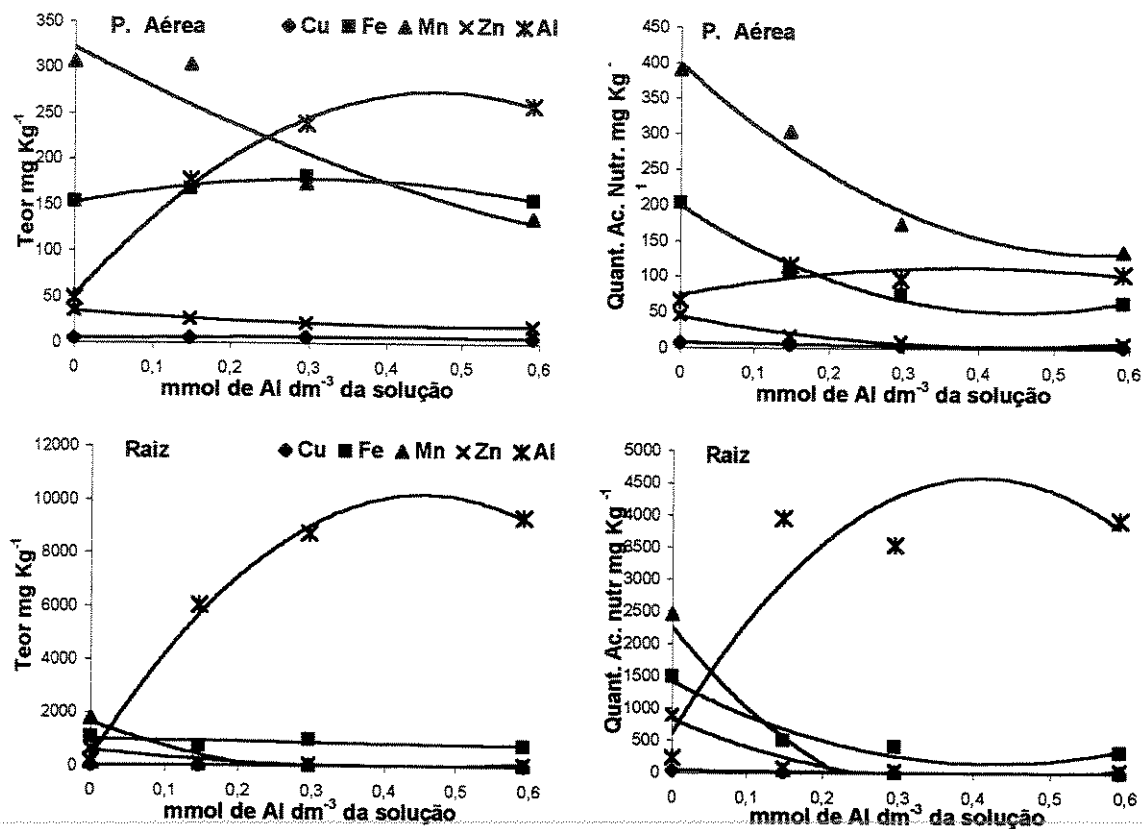


Figura 4 – Teor e acúmulo de Cu, Fe, Mn, Zn e Al na parte aérea e raiz de cafeeiro em função das doses de Al na solução nutritiva.

As doses crescentes de Al adicionadas à solução nutritiva não tiveram efeito sobre o teor de Cu na raiz, mas afetou significativamente o teor na parte aérea que seguiu o modelo de ajuste quadrático ascendente. Observou-se um aumento de 25% no teor de Cu da parte aérea na dose de 0,592 mmol/dm³ com relação a dose 0 ou ausência de alumínio (Figura 4 e tabelas 7 e 13). O Cu acumulado tanto na raiz quanto na parte aérea das plantas apresentou uma redução de 69 e 60% respectivamente no tratamento de maior dose de Al na solução com relação ao controle (Figura 4 e Tabelas 10 e 16).

Quanto ao Fe (Figura 4 e Tabelas 7, 10, 13 e 16) observou-se que plantas que cresceram na solução com dose de Al de 0,592 mmol/dm³ apresentaram uma diminuição linear de 28% do seu teor na raiz quando comparadas com as crescidas em solução sem alumínio, mas o teor de Fe da parte aérea não mostrou influência significativa dos tratamentos. A dose de 0,592 mmol/dm³ afetou o acúmulo de Fe tanto da raiz quanto da parte aérea que diminuíram 78 e 69% respectivamente quando comparados com a dose 0 ou ausência de alumínio.

O aumento na dose de alumínio adicionada à solução nutritiva afetou significativamente o teor e o acúmulo de Mn e Zn tanto na raiz quanto na parte aérea (Figura 4 e Tabelas 8, 11, 14 e 17). Os teores de Mn e Zn na parte aérea mostraram, respectivamente, uma diminuição linear de 55% e 46% e, na raiz, uma diminuição quadrática de 75% para teor de Mn e 85% para o teor de Zn no maior teor com relação ao teor 0 de Alumínio na solução nutritiva. As doses crescentes de alumínio adicionado na solução nutritiva tiveram efeito significativo negativo no acúmulo de Mn e Zn que na parte aérea diminuiu 85 e 83% respectivamente e na raiz que diminuiu 92 e 95% respectivamente na dose de 0,592 mmol/dm³ quando

comparado com a dose 0 de alumínio.

O teor de alumínio aumentou 5,3 vezes na parte aérea e 5,4 vezes nas raízes das plantas com a adição da maior dose de alumínio na solução de cultivo com relação à dose 0. O aumento das doses de alumínio na solução de cultivo não afetou o acúmulo de alumínio na parte aérea, mas elevou 16,8 vezes na raiz do cafeeiro (Figura 4 e Tabelas 8, 11, 14 e 17).

As Figuras 3 e 4 mostram o efeito da elevação da concentração de Al na solução nutritiva, na composição química da parte aérea e raiz do cafeeiro aos 130 DAT. Nota-se um concomitante aumento do teor de P e Al na raiz com a elevação dos tratamentos com Al, sendo os teores de ambos maiores na raiz que na parte aérea. Este acúmulo de ambos, Al e P na raiz, evidencia o fato de que o P, muito importante nas quelações do alumínio, formando Al-fosfato nas células da raiz, poderia estar sendo usado em grande quantidade na raiz para barrar a passagem desse íon tóxico para a parte aérea da planta.

Na parte aérea o teor de fósforo decresce e o de alumínio aumenta com a elevação de Al na solução. Isto indica que o Al interfere no metabolismo do fósforo, na absorção e no transporte do nutriente na planta talvez por formar complexos estáveis de Al-P, afetar a atividade de enzimas como a fosfoquinase e ATP-ases e/ou complexar.

Tabela 12. Valores médios do teor de K, P e Ca das raízes de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
K, g/kg						
Icatu	29,1	29,7	30,6	29,9	29,8	NS
Bourbon vermelho	29,5	34,4	32,5	36,3	33,2	NS
Bourbon amarelo	27,2	26,6	31,3	31,1	29,1	NS
Obatã	28,9	30,5	27,9	31,5	29,8	NS
Nacional	25,9	28,2	31,4	29,0	28,6	NS
IAC 3795	25,8	27,1	31,3	25,7	27,5	NS
Mundo novo	29,0	28,5	28,1	27,9	28,4	NS
IAC 4045	28,8	28,5	31,2	28,3	29,2	NS
Catuaí vermelho	22,1	29,5	30,0	30,0	27,9	NS
Catuaí amarelo	27,4	30,8	31,2	31,8	30,3	NS
IAC 1669	27,8	25,6	26,8	30,3	27,6	NS
Média	27,4	29,0	30,2	30,1		L/Q
P, g/kg						
Icatu	1,4	3,1	3,4	3,5	2,9	NS
Bourbon vermelho	1,4	2,9	3,4	3,9	2,9	NS
Bourbon amarelo	1,4	2,5	3,9	4,4	3,1	NS
Obatã	1,5	3,7	4,3	5,3	3,7	NS
Nacional	1,4	2,7	3,9	4,7	3,2	NS
IAC 3795	1,4	2,7	4,0	3,8	3,0	NS
Mundo novo	1,5	2,5	10,8	4,1	4,8	NS
IAC 4045	1,6	2,6	4,1	3,5	2,9	NS
Catuaí vermelho	1,2	2,5	3,8	3,7	2,8	NS
Catuaí amarelo	1,6	3,0	3,7	4,1	3,1	NS
IAC 1669	1,5	2,7	3,8	4,7	3,2	NS
Média	1,5	2,8	4,5	4,2		L/Q
Ca, g/kg						
Icatu	5,9	2,6	2,2	2,4	3,3	NS
Bourbon vermelho	8,0	2,3	1,8	2,5	3,6	NS
Bourbon amarelo	9,2	2,0	2,1	2,5	3,9	NS
Obatã	9,7	2,2	2,1	2,5	4,1	NS
Nacional	5,0	1,8	2,0	2,1	2,7	NS
IAC 3795	8,0	1,8	7,2	1,9	3,4	NS
Mundo novo	6,5	1,7	2,2	2,0	4,4	NS
IAC 4045	7,8	1,9	2,2	2,1	3,5	NS
Catuaí vermelho	5,4	2,1	1,9	1,9	2,8	NS
Catuaí amarelo	9,2	1,9	1,9	1,9	3,7	NS
IAC 1669	11,6	2,1	2,2	2,7	4,7	NS
Média	7,9	2,1	2,5	2,2		L/Q

(1) Efeito: L - linear, Q - quadrático, NS - não significativo, em nível de 5%.

Tabela 13. Valores médios do teor de Mg, Cu e Fe das raízes de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
	Mg, g/kg					
Icatu	5,4	3,0	2,4	2,5	3,3	NS
Bourbon vermelho	6,9	3,5	2,1	2,9	3,9	NS
Bourbon amarelo	7,2	2,1	2,6	2,9	3,7	NS
Obatã	8,4	2,9	2,4	2,9	4,2	NS
Nacional	5,3	2,4	2,2	2,7	3,2	NS
IAC 3795	6,5	2,2	2,5	2,2	3,3	NS
Mundo novo	7,7	2,3	6,7	2,3	4,8	NS
IAC 4045	7,8	2,4	2,5	2,4	3,8	NS
Catuaí vermelho	4,9	2,4	2,3	2,3	3,0	NS
Catuaí amarelo	8,1	2,6	2,3	2,4	3,9	NS
IAC 1669	7,7	2,3	1,9	2,4	3,6	NS
Média	6,9	2,6	2,8	2,5		L/Q
	Cu, mg/kg					
Icatu	23,4	31,1	30,1	25,1	27,4	NS
Bourbon vermelho	25,3	35,1	25,6	27,0	28,3	NS
Bourbon amarelo	27,9	23,6	29,9	29,1	27,7	NS
Obatã	29,5	34,0	31,8	33,7	32,3	NS
Nacional	23,4	26,5	29,4	29,1	27,1	NS
IAC 3795	25,7	26,8	28,1	25,5	26,6	NS
Mundo novo	29,4	24,6	85,5	24,9	41,1	NS
IAC 4045	29,9	26,7	31,9	23,2	27,9	NS
Catuaí vermelho	18,1	25,1	27,7	25,0	24,0	NS
Catuaí amarelo	28,0	29,4	28,5	26,8	28,2	NS
IAC 1669	29,4	27,2	26,9	30,4	28,5	NS
Média	26,4	28,2	34,2	27,3		NS
	Fe, mg/kg					
Icatu	975,6	938,3	780,0	668,3	840,5	NS
Bourbon vermelho	1120,0	757,0	770,3	692,0	834,8	NS
Bourbon amarelo	155,6	654,0	923,0	808,6	885,3	NS
Obatã	1158,6	1023,0	1018,6	985,0	1046,3	NS
Nacional	963,3	679,6	792,0	854,0	822,2	NS
IAC 3795	1182,6	744,6	882,3	778,6	897,1	NS
Mundo novo	1203,6	667,3	2416,0	793,0	1270,0	NS
IAC 4045	1110,6	736,6	988,3	637,6	868,3	NS
Catuaí vermelho	630,3	661,3	870,6	663,6	706,5	NS
Catuaí amarelo	1192,3	769,0	771,6	734,0	866,7	NS
IAC 1669	1199,3	788,6	919,3	922,6	957,5	NS
Média	1081,1	765,4	1012,0	776,2		L

(¹) Efeito: L - linear, Q – quadrático, NS – não significativo, em nível de 5%.

Tabela 14. Valores médios do teor de Mn, Zn e Al das raízes de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
Mn,mg/kg						
Icatu	1653,0	60,6	44,0	63,0	455,1	NS
Bourbon vermelho	2020,6	67,6	42,0	48,3	544,6	NS
Bourbon amarelo	1873,6	55,3	45,3	41,3	503,9	NS
Obatã	1812,3	78,3	47,6	43,0	495,3	NS
Nacional	1710,0	61,6	57,6	46,0	468,8	NS
IAC 3795	1985,3	93,6	43,6	55,6	544,6	NS
Mundo novo	2026,0	58,6	129,0	38,6	563,1	NS
IAC 4045	1767,6	67,3	52,6	37,3	481,2	NS
Catuaí vermelho	1015,0	53,3	38,3	31,6	284,6	NS
Catuaí amarelo	1944,3	56,3	42,0	35,6	519,6	NS
IAC 1669	1909,6	89,0	43,6	44,6	521,7	NS
Média	1792,5	67,4	53,3	44,1		L/Q
Zn, mg/kg						
Icatu	631,2	200,8	109,6	113,5	263,8	NS
Bourbon vermelho	666,8	123,7	75,5	92,1	239,5	NS
Bourbon amarelo	660,7	99,2	98,4	100,5	239,7	NS
Obatã	595,8	154,5	114,8	122,5	246,9	NS
Nacional	489,2	105,1	78,4	87,8	190,1	NS
IAC 3795	794,7	145,3	96,1	95,5	282,9	NS
Mundo novo	691,3	117,4	279,4	90,6	294,7	NS
IAC 4045	643,2	137,5	111,0	86,9	244,6	NS
Catuaí vermelho	445,2	132,1	107,7	97,2	195,5	NS
Catuaí amarelo	769,6	156,4	110,0	102,7	284,7	NS
IAC 1669	736,6	166,6	87,7	106,4	274,3	NS
Média	647,7	139,9	115,4	99,6		L/Q
Al, mg/kg						
Icatu	179,0	6994,6	6804,3	7884,6	5465,6	NS
Bourbon vermelho	170,0	6641,3	6435,6	8855,0	5525,5	NS
Bourbon amarelo	156,3	4891,0	7827,6	10076,3	5737,8	NS
Obatã	180,3	8082,6	8876,0	12365,3	7376,1	NS
Nacional	149,3	5367,6	7350,3	9896,3	5690,9	NS
IAC 3795	143,0	5533,6	7897,6	8220,0	5448,6	NS
Mundo novo	167,0	5220,3	9943,0	8992,6	8580,7	NS
IAC 4045	146,0	5849,0	8527,6	7878,0	5600,1	NS
Catuaí vermelho	275,0	5272,6	7761,3	8398,6	5426,9	NS
Catuaí amarelo	162,0	6759,3	7438,3	9333,3	5923,2	NS
IAC 1669	173,3	5741,0	7316,0	10802,6	6008,2	NS
Média	172,8	6032,1	8743,4	9336,6		L/Q

(¹) Efeito: L - linear, Q - quadrático, NS - não significativo, em nível de 5%.

Tabela 15. Valores médios acumulados de K, P e Ca das raízes de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
K, g/planta						
Icatu	16,8	16,5	12,0	11,7	14,3	NS
Bourbon vermelho	28,8	23,5	15,1	14,2	20,4	NS
Bourbon amarelo	47,1	16,3	16,2	14,5	23,5	L
Obatã	54,5	25,4	11,8	15,2	26,7	L/Q
Nacional	17,5	13,9	13,7	10,9	14,0	NS
IAC 3795	41,7	18,5	13,3	8,6	20,5	L/Q
Mundo novo	43,5	17,7	9,3	10,3	20,2	L/Q
IAC 4045	32,4	18,9	11,7	11,6	18,7	L
Catuaí vermelho	22,1	17,3	13,2	11,7	16,1	NS
Catuaí amarelo	54,5	23,1	12,9	13,6	26,1	L/Q
IAC 1669	43,1	17,4	11,5	15,2	21,8	L/Q
Média	36,6	18,9	12,8	12,5		L/Q
P, g/planta						
Icatu	0,8	1,7	1,4	1,4	1,3	NS
Bourbon vermelho	1,4	1,9	1,5	1,5	1,6	NS
Bourbon amarelo	2,4	1,5	2,0	2,1	2,0	NS
Obatã	2,8	3,0	1,8	2,5	2,5	NS
Nacional	0,9	1,3	1,7	1,7	1,4	NS
IAC 3795	2,2	1,8	1,7	1,3	1,8	NS
Mundo novo	2,3	1,6	3,1	1,5	2,1	NS
IAC 4045	1,8	1,7	1,5	1,4	1,6	NS
Catuaí vermelho	1,2	1,5	1,7	1,4	1,5	NS
Catuaí amarelo	3,2	2,3	1,6	1,8	2,2	NS
IAC 1669	2,3	1,9	1,6	2,4	2,0	NS
Média	1,9	1,8	1,8	1,7		NS
Ca, g/planta						
Icatu	3,7	1,5	0,9	0,9	1,7	NS
Bourbon vermelho	7,8	1,6	0,8	1,0	2,8	NS
Bourbon amarelo	16,8	1,2	1,1	1,1	5,0	L/Q
Obatã	18,3	1,8	0,9	1,2	5,5	L/Q
Nacional	3,5	0,9	0,9	0,8	1,5	NS
IAC 3795	13,4	1,2	0,9	0,6	4,0	L/Q
Mundo novo	10,0	1,1	2,0	0,7	3,4	NS
IAC 4045	8,1	1,3	0,8	0,8	2,8	NS
Catuaí vermelho	5,4	1,2	0,9	0,7	2,1	NS
Catuaí amarelo	19,5	1,4	0,8	0,8	5,6	L/Q
IAC 1669	19,9	1,4	1,0	1,4	5,9	L/Q
Média	11,5	1,3	1,0	0,9		L/Q

(¹) Efeito: L - linear, Q - quadrático, NS - não significativo, em nível de 5%.

Tabela 16. Valores médios acumulados de Mg, Cu e Fe das raízes de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
Mg, g/planta						
Icatu	3,3	1,7	1,0	1,0	1,7	NS
Bourbon vermelho	6,5	2,4	0,9	1,2	2,7	NS
Bourbon amarelo	11,9	1,3	1,4	1,3	3,9	L/Q
Obatã	15,7	2,3	1,1	1,4	5,1	L/Q
Nacional	3,5	1,2	1,0	1,1	1,7	NS
IAC 3795	10,2	1,5	1,1	0,7	3,4	L/Q
Mundo novo	11,5	1,5	1,9	0,8	3,9	L/Q
IAC 4045	8,6	1,6	0,9	1,0	3,0	L/Q
Catuaí vermelho	4,8	1,4	1,1	0,9	2,1	NS
Catuaí amarelo	16,3	1,9	1,0	1,1	5,1	L/Q
IAC 1669	12,7	1,6	0,8	1,3	4,1	L/Q
Média	9,5	1,6	1,1	1,1		L/Q
Cu, mg/planta						
Icatu	13,9	17,3	12,0	9,8	13,3	NS
Bourbon vermelho	24,9	23,7	11,7	10,7	17,8	NS
Bourbon amarelo	49,7	14,3	15,4	13,4	23,2	L/Q
Obatã	55,5	27,7	13,7	16,2	28,3	L/Q
Nacional	15,4	13,1	12,9	11,1	13,1	NS
IAC 3795	42,2	18,5	12,1	8,6	20,4	L/Q
Mundo novo	44,3	15,2	24,4	9,2	23,3	L
IAC 4045	33,4	17,7	11,9	9,6	18,2	L
Catuaí vermelho	18,1	15,1	12,5	9,8	13,9	NS
Catuaí amarelo	59,5	22,0	12,3	11,5	26,3	L/Q
IAC 1669	47,7	18,2	11,6	15,4	23,2	L/Q
Média	36,8	18,4	13,7	11,4		L/Q
Fe, mg/planta						
Icatu	585,9	514,1	317,1	261,3	419,6	L
Bourbon vermelho	1065,7	507,5	362,3	274,2	552,4	L/Q
Bourbon amarelo	1996,5	387,5	496,4	372,8	813,3	L/Q
Obatã	2174,7	824,5	437,7	474,0	977,7	L/Q
Nacional	601,5	338,0	343,7	320,5	400,9	NS
IAC 3795	1859,6	518,4	366,7	262,8	751,9	L/Q
Mundo novo	1791,9	410,1	693,0	292,1	796,8	L/Q
IAC 4045	1279,9	486,6	370,7	261,1	599,6	L/Q
Catuaí vermelho	621,5	400,2	396,4	257,6	418,9	L
Catuaí amarelo	2520,3	573,2	344,0	316,0	938,4	L/Q
IAC 1669	1882,5	532,7	394,7	462,9	818,2	L/Q
Média	1489,1	499,4	411,2	323,2		L/Q

⁽¹⁾ Efeito: L - linear, Q - quadrático, NS - não significativo, em nível de 5%.

Tabela 17. Valores médios acumulados de Mn, Zn e Al nas raízes de plantas de onze cultivares de cafeeiro crescidos em soluções nutritivas com concentrações crescentes de alumínio. Dados coletados aos 130 DAT.

Cultivar	Concentração de alumínio, mmol/L				Média	Efeito
	0	0,148	0,296	0,592		
Mn, mg/planta						
Icatu	1033,0	34,8	18,0	25,4	277,8	L/Q
Bourbon vermelho	1927,6	46,9	19,8	19,2	503,4	L/Q
Bourbon amarelo	3239,4	33,3	24,1	18,9	828,9	L/Q
Obatã	3395,9	65,3	21,0	20,6	875,7	L/Q
Nacional	1016,6	30,4	25,2	18,2	272,6	L/Q
IAC 3795	3085,8	64,4	19,0	19,0	797,1	L/Q
Mundo novo	3028,9	36,4	36,8	14,1	779,1	L/Q
IAC 4045	2028,6	44,5	19,8	15,3	527,1	L/Q
Catuaí vermelho	1002,1	31,7	17,7	12,4	266,0	L/Q
Catuaí amarelo	4115,3	41,9	18,6	15,2	1047,7	L/Q
IAC 1669	3115,9	60,0	19,0	22,7	804,4	L/Q
Média	2453,6	44,5	21,7	18,3		L/Q
Zn, mg/planta						
Icatu	389,2	113,8	43,6	44,4	147,7	L/Q
Bourbon vermelho	623,4	85,3	32,7	36,4	194,4	L/Q
Bourbon amarelo	1119,4	59,5	49,5	45,8	318,6	L/Q
Obatã	1113,0	124,5	50,2	59,1	336,7	L/Q
Nacional	309,7	52,0	34,3	33,9	107,5	L/Q
IAC 3795	1247,1	100,8	41,5	32,3	355,4	L/Q
Mundo novo	1029,8	72,3	79,4	33,0	303,6	L/Q
IAC 4045	708,9	90,9	41,5	35,4	219,2	L/Q
Catuaí vermelho	434,5	80,6	48,8	38,1	150,5	L/Q
Catuaí amarelo	1608,7	113,3	47,7	44,1	453,4	L/Q
IAC 1669	1221,3	111,2	38,1	53,2	355,9	L/Q
Média	891,4	91,3	46,1	41,4		L/Q
Al, mg/planta						
Icatu	99,7	3836,4	2723,1	3080,8	2435,0	NS
Bourbon vermelho	167,4	4499,9	2947,8	3544,3	2789,8	NS
Bourbon amarelo	281,3	2955,3	4029,5	4652,3	2979,6	NS
Obatã	341,4	6536,4	3861,4	5944,4	4170,9	NS
Nacional	94,2	2645,5	3193,3	3848,0	2445,3	NS
IAC 3795	234,1	3835,9	3372,7	2778,4	2555,3	NS
Mundo novo	252,2	3215,6	5732,9	3305,8	3126,6	NS
IAC 4045	168,4	3866,1	3189,9	3234,5	2614,7	NS
Catuaí vermelho	294,1	3177,9	3545,7	3289,8	2576,9	NS
Catuaí amarelo	338,6	5080,2	3281,0	4052,8	3188,2	NS
IAC 1669	284,5	3872,1	3133,3	5445,4	3183,8	NS
Média	232,4	3956,5	3546,4	3925,2		L/Q

(¹) Efeito: L - linear, Q – quadrático, NS – não significativo, em nível de 5%.

fosfatos e ácidos nucléicos (Baligar et al., 1993; Foy, 1992; Neves et al., 1982; Roy et al., 1988).

Em tratamentos com concentrações maiores de Al há uma diminuição do teor de Ca, Mg, Mn e Zn tanto na raiz quanto na parte aérea e Fe na raiz aumentando proporcionalmente o teor de K. Injúrias provocadas nas plantas pela toxidez de Al estão também relacionadas com mudanças na concentração interna de outros minerais podendo surgir mesmo em baixos teores de Al na parte aérea como 300ug de Al por grama de matéria seca de folhas (Pavan, 1981). Neste experimento notam-se mudanças nos teores dos nutrientes e diminuição nos parâmetros fisiológicos indicadores de prejuízo para as plantas a partir do teor de 176,97 mg/kg de Al na massa da matéria seca da parte aérea, área foliar e altura.

Ao se elevar a concentração de Al na solução a concentração de Ca, Mg, Mn e P decrescem. A redução de Ca e Mg na parte aérea das plantas devido ao aumento da concentração de Al na solução, é entretanto balanceada pelo aumento da absorção de K, que se deve à capacidade da planta de preservar o balanço catiônico (Andrew *et al.*, 1973).

Como a absorção e, conseqüentemente, o teor de Al aumenta na planta com o aumento de Al na solução, a toxicidade de Al está relacionada com uma redução na absorção de Ca, Mg e P e aumento na absorção de K. A absorção de K parece ser afetada pela concentração de Al na planta, a qual aumenta com o aumento de Al na solução.

O teor de Mg e principalmente de Ca é maior na parte aérea que na raiz sugerindo que a parte aérea seja maior dreno para Ca e Mg que a raiz.

A redução do teor de Mn tanto da parte aérea quanto da raiz pode estar

relacionada com a redução na taxa de absorção.

Em todos os tratamentos com Al houve redução na concentração de Ca, Mg, e P na parte aérea coincidindo com os sintomas de toxidez por Al, concordando com dados obtidos para café por Pavan (1981), e que relaciona os sintomas de toxidez de Al aos sintomas de deficiência de Ca, nas folhas mais novas e posteriormente sintomas de deficiência de Mg e P nas folhas mais velhas.

A toxicidade do Cu às plantas ocorre mais intensamente em solos ácidos, devido à presença da forma livre (Cu^{2+}) mais disponível à absorção radicular (Gimenez et al., 1992).

O fato das mudas de cafeeiro deste experimento ter sido maior na raiz que na parte aérea, concordam com os resultados obtidos por Gimenez *et al.* (1992) com Catuaí amarelo. Os sintomas de toxicidade observados pelos autores ocorreram nos solos sem calcário com aplicações de 200 $\mu\text{g/g}$ de cobre no solo que resultaram em concentrações de 200 mg/kg de Cu na raiz, 34 mg/kg na folha e 24 mg/kg nos ramos, valores maiores do que os encontrados neste experimento cuja maior concentração foi de 34,2 mg/kg na raiz, sob doses de 0,296 mmol/dm³ na solução nutritiva e 4,4 mg/kg encontrado na parte aérea de plantas conduzidas na dose 0 de Al. Supõe-se assim, que não ocorreu toxidez de Cu provocada pela elevação da concentração de Al na solução nutritiva.

O alumínio, por interferir na absorção do Zn, inibe a mitose e induz aberrações cromossômicas, pois o zinco é um componente da DNA polymerase, RNA polimerase, ribossomos e proteínas envolvidas na replicação do DNA e expressão gênica (Coleman, 1992). Os valores de teores de Zn encontrados neste experimento para raiz (de 647 até 99,6 mg/kg) e parte aérea (34,3 até 18,5 mg/kg)

do cafeeiro estão abaixo dos menores valores encontrados por Gonçalves et al. (1996) para sorgo (1040 mg/kg na raiz e 740 mg/kg na parte aérea) e que, em presença de Al na solução, reduziu a concentração de RNA tanto na raiz quanto na parte aérea apenas do cultivar sensível ao AL. Considerando que houve nestes tratamentos inibição do crescimento da parte aérea dos cultivares e da matéria seca de toda a planta pode-se deduzir que a toxidez de Al, promoveu uma baixa absorção de Zn afetou a divisão celular.

Fotossíntese

A presença de alumínio na solução de cultivo causou quedas significativas nas taxas de fotossíntese líquida (A) e nas condutâncias estomáticas (g_s) em todos os cultivares (Figura 5). Os valores médios das reduções de A variaram entre 43%

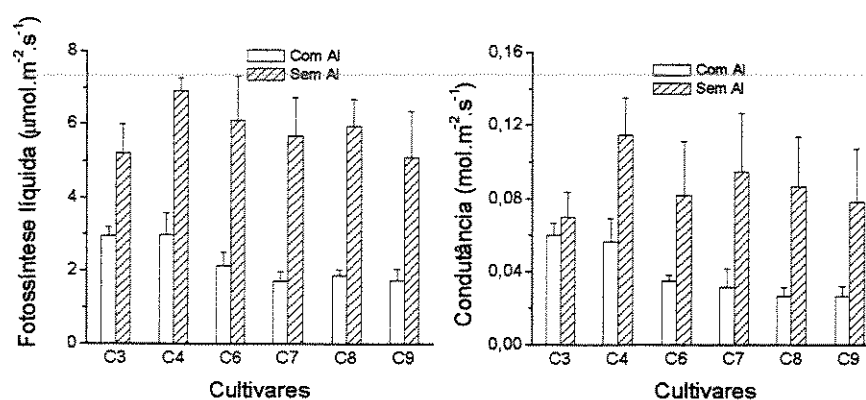


Figura 5. Efeito do alumínio sobre a fotossíntese líquida e condutância em seis cultivares de *Coffea arabica* L. (C3-Bourbom Amarelo, C4-Obatã IAC 1669-20; C6-EP395 C.289 – IAC3795; C7-Mundo Novo – IAC 388-19; C8-Icattu Vermelho – IAC 4045; C9-Catuai Vermelho 144).

em C3 até 70% em C7, com valores intermediários para os outros cultivares, sendo que o mesmo ocorreu com g_s (Figura 5). Considerando todos os cultivares, as reduções de A e de g_s foram de 62 e 55%, respectivamente, na menor dose de Al, o que confirma o agravamento dos sintomas de toxidez por Al, cujo nível crítico é definido por Ohki (1985) como a concentração de Al nos tecidos associada a uma depressão de 10% na atividade fotossintética.

A concentração interna de CO_2 (C_i) das plantas com estresse ($254 \mu\text{mol.mol}^{-1}$) foi, em média, 17% maior que nas plantas sem estresse ($218 \mu\text{mol.mol}^{-1}$), coincidindo com os resultados observados para porta-enxertos de citros (Pereira et al., 2000). O aumento em C_i nas plantas sob estresse sugere que o decréscimo de A deve ser devido aos efeitos conjugados da queda em g_s e da atividade metabólica da fotossíntese em si.

A presença de alumínio na solução nutritiva também afetou a emissão de fluorescência da clorofila a, (Figura 6). Verificou-se um aumento significativo no parâmetro F_o nas plantas com alumínio em relação às plantas controle. Já em F_m as variações foram menos expressivas (resultados não apresentados). Houve decréscimos significativos também na razão F_v/F_o ($F_v = F_m - F_o$ sendo F_m a fluorescência máxima), como também foi observado por Pereira et al. (2000) em citros. O decréscimo da razão F_v/F_o acrescido da elevação em F_o indicam possíveis danos nos tilacóides e no centro de reação do fotosistema II, afetando o transporte de elétrons.

Todos os cultivares de café foram susceptíveis à presença do alumínio em solução nutritiva. O alumínio causou queda em A devido possivelmente a limitações estômáticas (queda de g_s) e não estômáticas (aumento de C_i). Limitações não

estomáticas podem estar relacionadas com processos metabólicos e com danos estruturais no fotossistema, indicados pelo decréscimo de F_v/F_o e aumento de F_o individualmente.

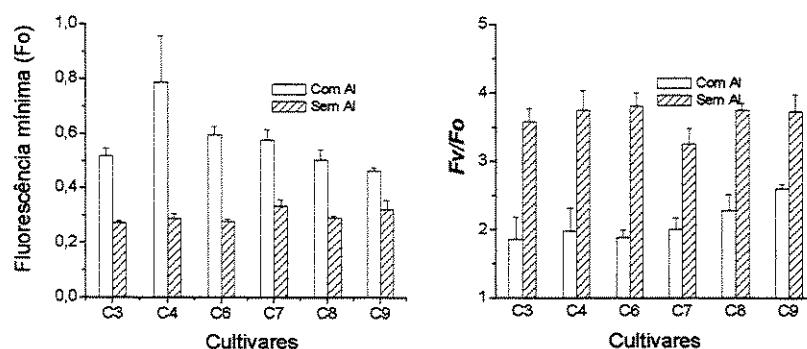


Figura 6. Efeito do alumínio sobre a fluorescência mínima e razão F_v/F_o em seis cultivares de *Coffea arabica* L. (C3-Bourbom Amarelo, C4-Obatã IAC 1669-20; C6-EP395 C.289 – IAC3795; C7-Mundo Novo – IAC 388-19; C8-Icattu Vermelho – IAC 4045; C9-Catuai Vermelho 144).

4. 2. Experimento II

Crescimento da planta

A análise de variância mostrou que houve efeito significativo dos três fatores analisados – V%, cultivar e fungo micorrízico arbuscular (FMA) – na altura das plantas, enquanto que no diâmetro somente ocorreu efeito da V% e FMA. O cultivar UFV 2237 – sensível ao Al (CVSENS) mostrou altura significativamente maior que o cultivar UFV 2149 – tolerante ao Al (CVTOL), porém não diferiram quanto ao diâmetro de caule. A micorrização também mostrou benefícios ao cafeeiro sendo

que, no geral, *Gigaspora margarita* (GM) causou incremento de 4,1 vezes e 2,8 vezes e *Glomus etunicatum* (GET) de 3,6 vezes e 2,4 vezes, respectivamente, na altura e no diâmetro, em relação ao tratamento controle não micorrizado (NM) (Tabela 18 e Apêndice 6).

Tanto em relação à altura quanto ao diâmetro, nas V% de 30 e 45, o CVTOL colonizado por GM superou significativamente o colonizado por GET e o NM, enquanto que o CVSENS micorrizado, por ambas as FMAs, diferiu da NM. Na maior V%, ambos os cultivares colonizados, tanto por GM como por GET, apresentaram significativamente maior crescimento que as NM (Tabela 18). Nas V% de 30 e 45%, o cultivar sensível (CVSENS) colonizado por GET superou significativamente o cultivar tolerante (CVTOL), enquanto que no V de 53%, este efeito ocorreu quando na presença de GM.

Quanto a V% do solo, observou-se que a altura e o diâmetro do CVSENS não variaram com o aumento da V% (figura 7). Entretanto quando o CVTOL foi colonizado por GM mostrou um efeito linear descendente na altura, ao se elevar a V% e quando colonizado por GET, mostrou efeito quadrático ascendente tanto na altura quanto no diâmetro (Figura 7 e Apêndice 5).

Os cultivares, no geral, não diferiram entre si quão grandemente à massa da matéria fresca de raiz (Tabela 18). No geral, nas maiores V% as plantas apresentaram massa radicular 37% maior que na V% de 30. O fator que mostrou maior efeito significativo foi à inoculação de FMA. As plantas de cafeeiro dos dois cultivares, quando colonizados por FMA, apresentaram massa de raiz significativamente maior que os NM, sendo que GM superou significativamente GET, nos três valores de V% do solo. A matéria fresca de raiz das plantas colonizadas por

Tabela 18- Altura, diâmetro, área foliar (AF), massa da matéria seca da parte aérea (MS) e massa da matéria fresca de raiz (MFR) dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao AI (CVSENS), na presença (GM - *Gigaspora margarita* e GET – *Glomus etunicatum*) e ausência de fungo micorrizico arbuscular (NM) em três saturações por bases do solo (V%).

	NM	GM	GET	NM	GM	GET
	<u>Altura, cm</u>			<u>Diâmetro, cm</u>		
		V 30			V 30	
CV TOL	4,6 aC	26,5 aA	19,3 aB	1,4 aC	4,9 aA	2,9 bB
CVSENS	6,1 aB	24,8 aA	28,2 aA	1,5 aB	4,9 aA	4,4 aA
		V 45			V 45	
CV TOL	5,7 aC	23,0 aA	15,3 bB	1,6 aC	4,3 aA	3,1 aB
CVSENS	5,2 aB	24,7 aA	23,1 aA	1,5 aB	4,7 aA	3,8 aA
		V 53			V 53	
CV TOL	4,9 aB	20,6 bA	21,8 aA	2,0 aB	4,5 aA	4,6 aA
CVSENS	6,9 aB	25,2 aA	25,5 aA	2,1 aB	4,2 aA	4,1 aA
	<u>AF, cm²</u>			<u>MS, g</u>		
		V 30			V 30	
CV TOL	26,3 aC	528,2 aA	348,1 bB	0,22aC	5,5aA	2,5 bB
CVSENS	31,6 aC	462,2 aB	739,8aA	0,24aC	4,7aB	6,5 aA
		V 45			V 45	
CV TOL	40,7aC	575,5aA	323,9bB	0,37aC	4,9aA	2,5 bB
CVSENS	33,4aB	479,2aA	579,3aA	0,24aB	5,2aA	5,2 aA
		V 53			V 53	
CV TOL	31,9aB	390,2bA	431,3bA	0,31aB	3,9bA	4,6aA
CVSENS	43,9aB	529,9aA	561,1aA	0,42aB	4,5aA	5,3aA
	<u>MFR, g</u>					
		V 30				
CV TOL	0,48aC	13,84bA	8,84aB			
CVSENS	0,41aC	17,96aA	10,73aB			
		V 45				
CV TOL	0,67aC	14,59aA	10,04aB			
CVSENS	0,49aB	14,62aA	11,03aA			
		V 53				
CV TOL	0,54aB	17,0aA	13,85aA			
CVSENS	0,76aC	15,0aA	10,45bB			

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letra minúscula – comparação na coluna entre cultivares, dentro do mesmo fungo e V%. Letra maiúscula – comparação na linha entre fungos micorrízicos, dentro da mesma cultivar e V%.

GM foi 26 vezes e por GET, 20 vezes maior que plantas NM.

Em relação ao nível de V% do solo, observou-se que somente houve efeito no CVTOL colonizada por GET, na qual a massa radicular aumentou linearmente com o aumento na V% e no CVSENS colonizada por GM, onde o ajuste foi linearmente descendente (Figura 8).

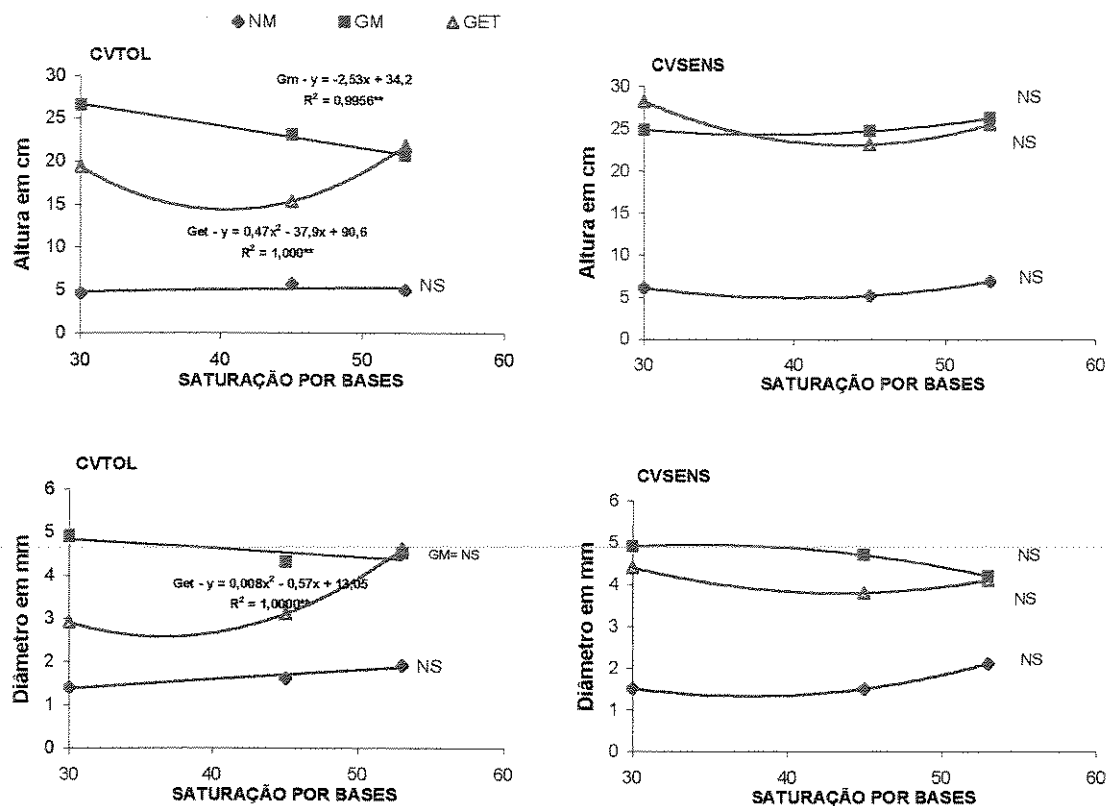


Figura – 7. Altura e diâmetro das plantas dos cultivares de café tolerante e sensível ao Al, em presença de *Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM), em função da saturação por bases do solo (V%). Regressão não significativa – NS. Equação de regressão não significativa - NS

A análise de variância da massa da matéria seca da parte aérea e da área foliar mostrou que os fatores mais significativos foram a cultivar e o FMA. Em ambas as variáveis, as plantas micorrizadas superaram significativamente as NM, em ambos os cultivares e nos três níveis de V% (Tabela 18). No geral a área foliar das plantas micorrizadas foi 12 vezes maior que das NM e a produção de matéria seca em torno de 15 vezes.

A massa da matéria seca da parte aérea (MS) foi influenciada pela saturação por bases, que foi 15% maior na V% de 45 e 31% na V% de 53, quando comparado com a V% de 30.

A CVSENS colonizada por GET diferiu da CVTOL, apresentando maiores área foliar, nos três níveis de V%, e matéria seca da parte aérea, nos V% de 30 e 45. Na maior V%, CVSENS colonizado por GM superou significativamente a CVTOL, em ambas as variáveis (Tabela 18).

A área foliar das plantas da CVTOL não foi influenciada pelo nível da V% do solo. Já na CVSENS, houve uma resposta linear descendente em função do aumento na V%, quando colonizada pelo GET (Figura 8).

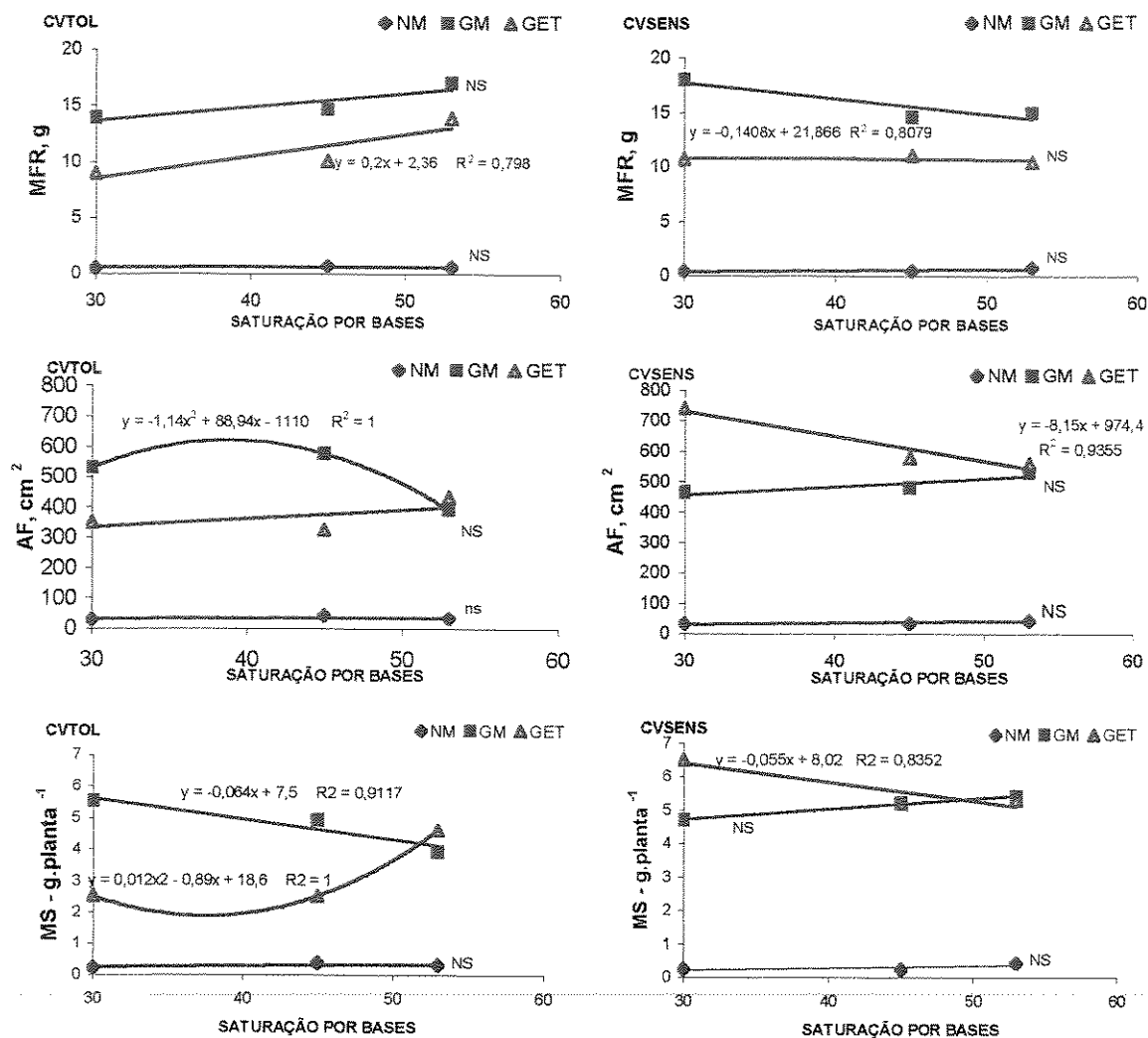


Figura 8. Massa da matéria fresca de raiz (MFR), área foliar (AF) e massa da matéria seca da parte aérea (MS) das plantas dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao Al (CVSENS), na presença de *Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM), em função da saturação por bases do solo (V%). Equação de regressão não significativa - NS

Para a massa da matéria seca da parte aérea, somente houve resposta das plantas da CVTOL colonizadas por GM e da CVSENS colonizada por GET,

ocorrendo, em ambas, ajuste linear descendente com o aumento na V% do solo, ou seja, a produção de matéria seca diminuiu com o aumento na V% do solo (Figura 8).

Os resultados obtidos neste experimento mostraram o efeito limitante do Alumínio no crescimento e desenvolvimento de plantas em solos ácidos, mas principalmente reforçaram os efeitos benéficos e protetores promovidos pelas micorrizas arbusculares às plantas nestas condições estressantes, como demonstrados por Clark & Zeto (1996), em cultivo de milho. Dessa forma, ambos os cultivares de café, quando colonizados tanto por GM quanto por GET, em todas as V%, mesmo no solo com V% de 30 e teor de Al de 5,0 mmol_c/dm³ (Tabela 18 e Apêndice 5 superior), mostraram alturas, diâmetros, massa fresca de raiz (MFR), área foliar (AF) e massa da matéria fresca da parte aérea (MS) significativamente maiores que as plantas não micorrizadas.

O desenvolvimento deficiente dos cultivares não colonizados por FMA em qualquer das condições de V% do solo, reforça ainda mais o fato do cafeeiro apresentar elevada dependência à simbiose micorrízica (Lopes *et al.*, 1983a; Siqueira & Colozzi-Filho, 1986), para garantir seu desenvolvimento adequado (Lopes *et al.*, 1983b).

Processos que regulam a disponibilidade de nitrogênio para as plantas, amonificação e nitrificação, são intermediados por microrganismos e podem sofrer alterações em função de modificações do pH do solo, tendendo a diminuir em condições de acidez, o que pode estar associado a baixos valores de biomassa microbiana (Powlson *et al.*, 1987). O filtrado de solo adicionado aos vasos foi proveniente do solo controle não fumigado, que poderia naturalmente ter baixa quantidade de microrganismos. Segundo Shah *et al.* (1990) a calagem, com

elevação do pH, pode também poderia ter alterado a microbiota, aumentando a biomassa bacteriana mas não alterando a biomassa fúngica do solo.

Os cultivares apresentaram diferentes respostas aos diferentes FMAs. Notou-se que o CVSENS superou o CVTOL quando em simbiose com GET, nas V% de 30 e 45 e com GM na V% de 53, apresentando maiores altura, AF e MS. O CVSENS apresentou também maior massa fresca de raiz, quando em associação com GM, na V% de 30 e com GET na V% de 53. Os benefícios conferidos ao CVSENS em detrimento do CVTOL foram devido ao benefício promovido por ambas as micorrizas a este cultivar nas condições do experimento (Tabela 18). A resposta diferencial dos cultivares às micorrizas, estabelecidas nas diferentes V%, reflete os benefícios promovidos pelos fungos micorrízicos às plantas hospedeiras, em função das condições edafoclimáticas e aspectos da relação fungo-planta (Smith & Gianinazzi-Pearson, 1988).

Ao se observar o efeito das micorrizas dentro do mesmo cultivar, notou-se que de modo geral, GM promoveu maiores benefícios micorrízicos, superando GET, em ambos os cultivares, quanto ao diâmetro e em MFR (Figuras 7 e 8). Na V%=53 não houve diferença significativa entre os FMAs, confirmando neste parâmetro a melhor adaptação de GET a solos menos ácidos e de GM uma maior amplitude de pH, mas que decresce em solos com pH elevado.

A análise de variância mostrou que o fator FMA teve uma influência altamente significativa sobre a concentração de clorofila ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) nas folhas. Aos 71 DAT, no geral, em ambos cultivares colonizados por GM, a concentração de clorofila foi significativamente maior que nas plantas colonizadas por GET e nas NM (Tabela 19). Já aos 157 DAT, as plantas micorrizadas, tanto por GM quanto por GET,

diferiram significativamente das NM, apresentando maior concentração de clorofila.

Tabela 19. Teor de clorofila nas folhas aos 71 dias após o transplantio (CL-71) e aos 157 dias após o transplantio (CL-157), dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao Al (CVSENS), na presença (*Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em três saturações por bases do solo (V%).

	NM	GM	GET	NM	GM	GET
		CL- 71			CL- 157	
		ug cm⁻²			ug cm⁻²	
		V 30			V 30	
CV TOL	28,5aB	38,9aA	30,2aB	27,8aB	47,2aA	45,7aA
CVSENS	31,1aB	39,6aB	34,0aB	27,2aB	47,2aA	50,8aA
		V 45			V 45	
CV TOL	29,3aB	39,9aA	31,9aB	26,7aB	44,5aA	44,0bA
CVSENS	28,5aC	40,6aA	34,4aB	28,4aB	49,0aA	50,9aA
		V 53			V 53	
CV TOL	31,2aB	39,2aA	38,7aA	27,6aB	43,6aA	45,9aA
CVSENS	33,5aB	40,4aA	32,6bB	28,8aB	48,1aA	45,9aA

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letra minúscula – comparação na coluna entre cultivares, dentro do mesmo fungo e V%. Letra maiúscula – comparação na linha entre fungos micorrízicos, dentro do mesmo cultivar e V%.

Praticamente não houve diferença estatística entre os cultivares, com exceção na V% de 53, com GET, aos 71 DAT, onde a concentração de clorofila do CVTOL foi significativamente maior que no CVSENS, e, na V% de 45, aos 157 DAT, onde o CVSENS apresentou maior concentração que o CVTOL (Tabela 19).

Em relação à V% do solo, aos 71 DAT, somente houve efeito nas plantas do CVTOL colonizadas por GET e nas NM do CVSENS, nas quais a resposta da concentração de clorofila ao aumento na V% seguiu um ajuste quadrático, mostrando um pico na concentração de clorofila na maior V% (Figura 9). Já aos 157 DAT, não houve efeito do nível de V% na concentração de clorofila, ou seja, a concentração de clorofila não variou com o aumento na V% do solo em nenhum dos

tratamentos realizados (Figura 9).

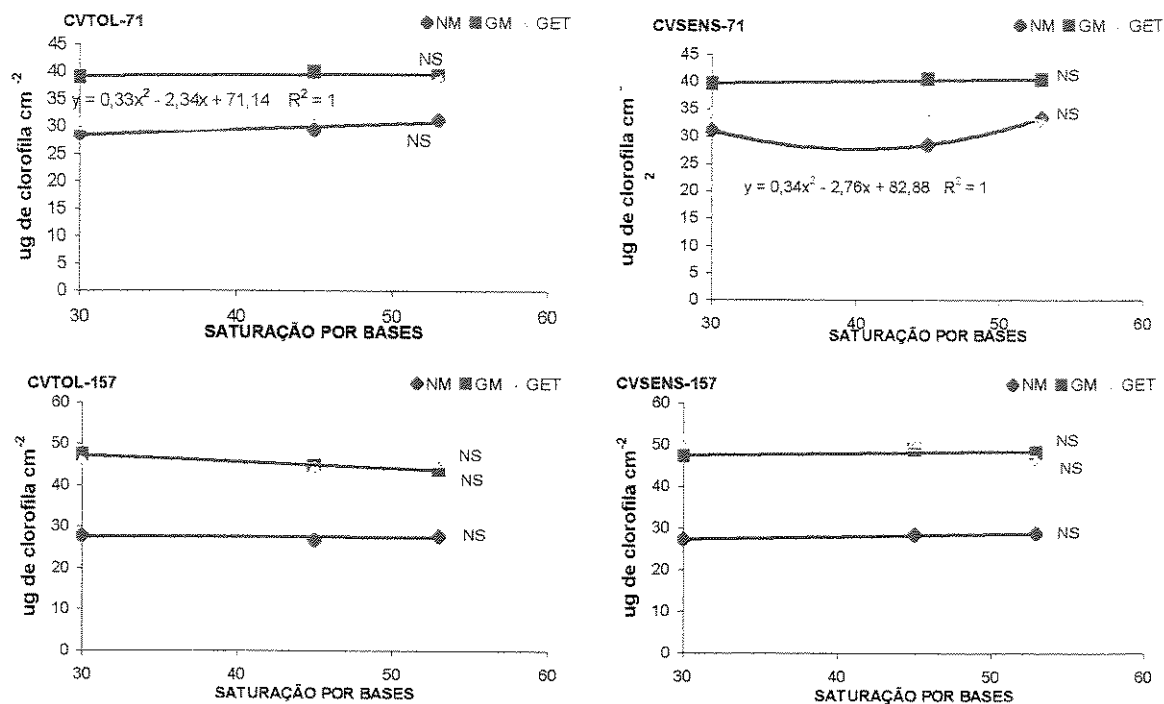


Figura 9. Teor de clorofila na folha das plantas dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao AI (CVSENS), aos 71 e 157 dias após o transplante, na presença de *Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em função da saturação por bases do solo (V%). Equação de regressão não significativa - NS

A quantidade de clorofila aos 71 DAT também aumentou linearmente com a V% do solo nas plantas micorrizadas. GET mostrou-se mais eficiente em solos com pH mais elevados, concordando com Siqueira et al. (1990). De modo geral, o estabelecimento da micorriza elevou a quantidade de clorofila nas folhas, promovendo, provavelmente, melhora na capacidade fotossintética da planta. Ambos os cultivares colonizados por GM, apresentaram maiores quantidades de clorofila

que os colonizados por GET, aos 71 DAT, inferindo-se que, neste período, GM propiciou melhor condição fotossintética para as plantas.

Atividade enzimática

Pela análise de variância constatou-se que o FMA e a V% do solo foram os fatores que influenciaram mais significativamente a atividade da fosfatase ácida nas folhas do cafeeiro. De um modo geral, as plantas não micorrizadas e as cultivadas na menor V% (V30) apresentaram as maiores atividades da enzima.

Para o CVTOL, somente houve diferença significativa na menor V% (V30), onde as plantas micorrizadas, principalmente por GET, mostraram menor atividade de fosfatase (Tabela 20). Já na cultivar sensível, as plantas micorrizadas, tanto por GM quanto por GET, tiveram significativamente menor atividade da enzima que as plantas NM, quando cultivadas no solo com V% de 45 e 53. Na V% de 30, as plantas colonizadas por GM apresentaram significativamente maior atividade que as NM e as colonizadas por GET (Tabela 20). Nas V% de 45 e 53, o CVSENS NM diferiu significativamente da CVTOL NM, mostrando maior atividade da fosfatase ($\mu\text{g p-NPP g}^{-1}\text{h}^{-1}$) (Tabela 20).

Tabela 20. Atividade da enzima fosfatase ácida (FSF) e redutase de nitrato (RN) nos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao Al (CVSENS), na presença (*Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em três saturações por bases do solo (V%).

	NM	GM	GET	NM	GM	GET
		FSF ug p-NPP g ⁻¹ h ⁻¹			RN ug NO ₂ g ⁻¹ h ⁻¹	
		V 30			V 30	
CV TOL	5,59aA	4,78bAB	3,68aB	0,06aAB	0,02aB	0,11bA
CVSENS	5,36aB	8,74a A	4,04aB	0,07a B	0,05aB	0,27aA
		V 45			V 45	
CV TOL	4,63bA	3,56a A	3,93aA	0,07a A	0,29aA	0,32aA
CVSENS	7,10aA	2,32a B	2,91aB	0,05a B	0,08bB	0,24bA
		V 53			V 53	
CV TOL	5,44bA	5,33a A	4,40aA	0,05a A	0,06aA	0,08aA
CVSENS	6,81aA	3,52b B	3,28aB	0,06aAB	0,06aA	0,08aA

	NM	GM	GET	NM	GM	GET
		CL- 71 ug cm ⁻²			CL- 157 ug cm ⁻²	
		V 30			V 30	
CV TOL	28,5aB	38,9aA	30,2aB	27,8aB	47,2aA	45,7aA
CVSENS	31,1aB	39,6aB	34,0aB	27,2aB	47,2aA	50,8aA
		V 45			V 45	
CV TOL	29,3aB	39,9aA	31,9aB	26,7aB	44,5aA	44,0bA
CVSENS	28,5aC	40,6aA	34,4aB	28,4aB	49,0aA	50,9aA
		V 53			V 53	
CV TOL	31,2aB	39,2aA	38,7aA	27,6aB	43,6aA	45,9aA
CVSENS	33,5aB	40,4aA	32,6bB	28,8aB	48,1aA	45,9aA

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letra minúscula – comparação na coluna entre cultivares, dentro do mesmo fungo e V%. Letra maiúscula – comparação na linha entre fungos micorrízicos, dentro do mesmo cultivar e V%.

Quanto à V% do solo, observou-se que tanto para o CVTOL quanto para o CVSENS, ambos colonizados por GM, houve um ajuste quadrático com o aumento da V% do solo, sendo que na V% de 45 ocorreu a menor atividade da fosfatase em ambos os cultivares (Figura 10).

A análise da variância da atividade da redutase do nitrato ($\mu\text{g NO}_2/\text{g/h}$)

também mostrou efeito altamente significativo do FMA e do V% do solo. Nas plantas cultivadas no solo com V% de 53, a atividade da enzima não foi influenciada pelo FMA e nem pelos cultivares (Tabela 20). Entretanto, na V% de 30 e 45, as plantas colonizadas por GET, em ambos cultivares, diferiram significativamente, apresentando maior atividade da enzima. Na V% de 45, as plantas do CVTOL micorrizada, por ambos os FMAs, diferiram da CVSENS, pois tiveram maior atividade enzimática (Tabela 20).

Quanto ao efeito de V% do solo, observou-se que no CVTOL houve um ajuste quadrático da atividade da enzima em função do aumento na V% do solo, com um pico de atividade na V% de 45, nas plantas colonizadas tanto por GM quanto por GET (Figura 10). No CVSENS, somente houve efeito da V% nas plantas colonizadas por GET, ocorrendo um ajuste quadrático que mostrou uma queda brusca na atividade da enzima na maior V% (Figura 10).

A atividade da enzima fosfatase ácida é considerada uma ferramenta para avaliação do estado nutricional em fósforo de várias plantas. Atuando na hidrólise de compostos orgânicos ricos em fósforo, a fosfatase ácida tem sua atividade aumentada à medida que se eleva o grau de deficiência em fósforo. Observa-se em diferentes espécies um decréscimo na atividade da enzima e concomitante diminuição na produção e na área foliar (Ascencio, 1994). No presente experimento, a atividade da enzima fosfatase ácida foi alta nas plantas NM e baixa nas micorrizadas, apresentando-se 45% e 25% menor que na NM, quando colonizados por GET e GM respectivamente. Uma vez que as micorrizas melhoram a absorção de P pela planta, os resultados concordam com a idéia de que a fosfatase pode ser uma ferramenta para diagnosticar deficiência de P, sendo assim, o GET parece ter

proporcionado uma melhor nutrição em P para as plantas, pela menor atividade desta enzima.

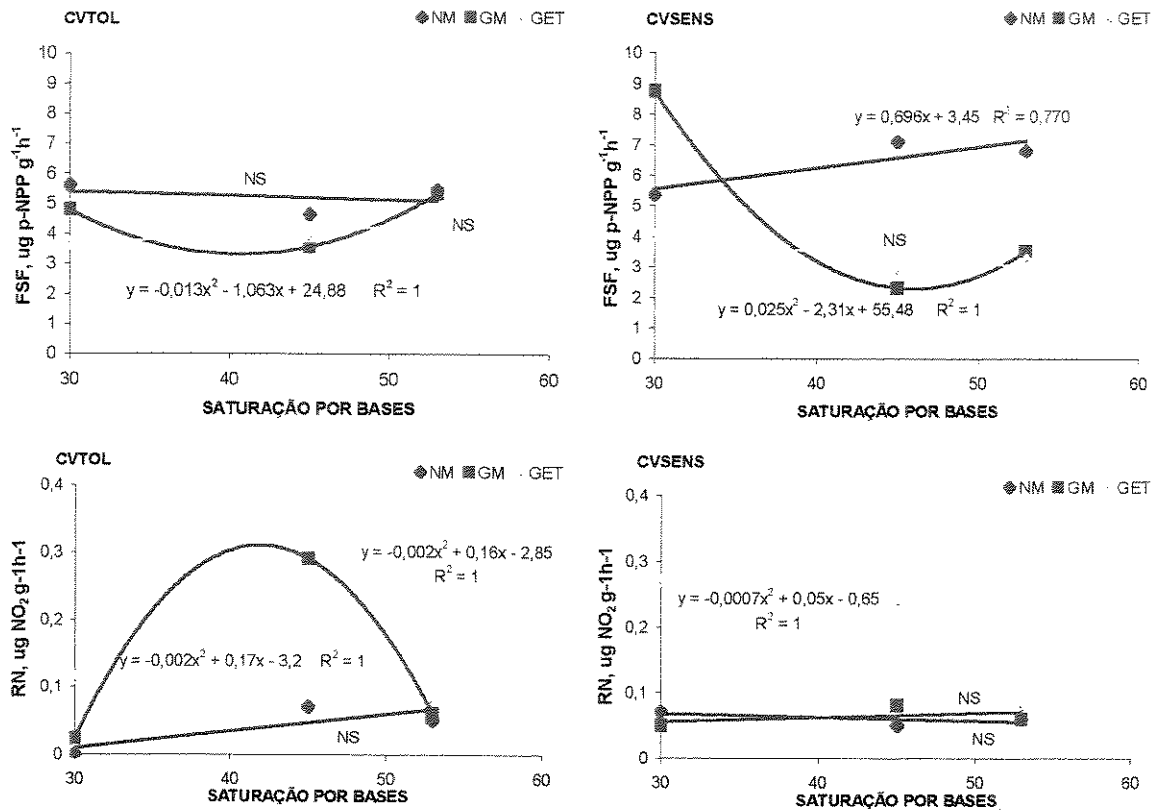


Figura 10. Atividade das enzimas fosfatase ácida e redutase de nitrato das plantas dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao Al (CVSENS), em presença do fungo *Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em função da saturação por bases do solo (V%). Equação de regressão não significativa - NS

McArtuhur & Knowles (1993) notaram que quando ocorre um suprimento insuficiente de P promovido pela ação da simbiose, ocorre uma elevação na atividade da fosfatase ácida nas raízes colonizadas por esses FMAs. A elevação da

saturação por bases ao promover uma diminuição quadrática na atividade da enzima fosfatase, quando ambos os cultivares estavam colonizados por GM, traduzem um aumento na absorção de P pelas plantas e melhor eficiência simbiótica de GM em altas saturações por bases.

Em cultura de células de amendoim com adições de Al em vários níveis, notou-se que a adição de fosfato ao meio de cultura não aliviou os sintomas de toxidez provocados pelo Al, pelo baixo crescimento das células, mas ocorreu uma redução na atividade da fosfatase ácida em qualquer das doses de fosfato adicionado, constatando a complexidade da toxidez por Al (Marziah *et al.*, 1991). Neste experimento o cultivar sensível no tratamento NM apresentou um aumento da atividade da enzima nas maiores saturações de bases do solo, contrário ao que se esperava.

A atividade da fosfatase ácida está muitas vezes relacionada à tolerância dos cultivares em condições estressantes. Resultados obtidos em condições de estresse salino, por Dubey & Sharma (1990), mostraram um aumento na atividade da fosfatase ácida nos cultivares sensíveis de arroz e um decréscimo nos tolerantes em resposta ao aumento no estresse salino. Também notaram a presença de quatro isoenzimas de fosfatase ácida no cultivar tolerante e três nos sensíveis. Isto sugere que pode ocorrer o mesmo com relação ao estresse por Al, sendo necessário maiores estudos para esclarecer melhor o comportamento da enzima nos cultivares de café tolerantes e sensíveis ao Al. Neste experimento, o CVSENS quando colonizado por GM na V% de 30 e, principalmente, quando NM nas V% de 45 e 53 apresentou maior atividade da enzima fosfatase que o CVTOL o que pode evidenciar diferenças no aparato enzimático entre os cultivares.

Apesar dos valores relativamente baixos de atividade da enzima redutase de nitrato (RN), provavelmente por ter sido avaliada no final do experimento em vaso sem adubação de cobertura de N, foi possível notar diferenças na sua atividade entre os cultivares e entre os FMAs. De modo geral, a atividade da enzima redutase de nitrato foi maior nas plantas micorrizadas, principalmente GET, nas menores V% . As plantas NM apresentaram baixa atividade desta enzima, que foi traduzida pelo pequeno crescimento das plantas.

Em cafeeiro micorrizado, com exceção do CVSENS colonizado por GM, a atividade da RN diminuiu em função da elevação da V% do solo e conseqüente diminuição na disponibilidade de Al no meio, não concordando com os dados obtidos por Marziah, et al. (1991) que observaram em culturas de células de amendoim um declínio na atividade da enzima nas doses de Al mais elevadas. Talvez a diminuição na atividade da enzima RN tenha sido causada pelo bom estado nutricional das plantas por ocasião da medição que ocorreu no final do experimento. Pode ser também que no período da análise as plantas estivessem absorvendo mais N-NH₄ do solo devido a um aumento na atividade de microrganismos amonificadores (mineralizadores de N orgânico) em função do aumento na V% e no pH do solo.

Não se notou diferença na atividade da enzima entre os cultivares quando NM, concordando com os resultados obtidos por Machado et al. (2001), com cultivares de milho, que não puderam ser discriminados pela atividade da RN, que, no entanto, discriminou famílias endogâmicas. Contudo, a RN parece ter sido eficiente em discriminar a simbiose dentro do cultivar, mostrando um melhor desempenho do CVTOL quando colonizado por ambas as micorrizas, na V% de 45, e do CVSENS quando colonizado por GET, na V% de 30.

O cultivar sensível, segundo Braccini (1998a) em teste em solução nutritiva, apresentou maiores valores de altura, AF, MS, Clorofila aos 157 DAT, teor de K, RN, quando colonizado por GET na V% de 30 e 45 e maior MFR, altura, AF e MS quando colonizado por GM na V% de 30 e 53 que o cultivar tolerante.

Absorção de nutrientes e de alumínio

O teor e acúmulo de K na parte aérea foi influenciado significativamente pelos tratamentos de micorrização, sendo que as plantas micorrizadas, por ambos os FMAs, diferiram significativamente das NM, mostrando maiores teores e acúmulos de K (Tabela 21).

Os cultivares não diferiram entre si quanto ao teor de K na parte aérea exceto na V% de 30 onde o CVSENS colonizado por GET superou significativamente o CVTOL. O acúmulo de K também foi maior na CVSENS colonizada por GET que superou o CVTOL na V% de 30 e 45 e na V% de 53 quando colonizada por GM (Tabela 21).

Tanto o teor quanto o acúmulo de K na parte aérea foram influenciados pelo nível de V% do solo. Na CVTOL colonizada por GM, o teor e acúmulo de K diminuíram linearmente com o aumento na V% do solo, o mesmo ocorrendo com o teor de K nas plantas colonizadas por GET (Figura 11). Já o acúmulo de K na parte aérea da planta colonizada por GET apresentou um ajuste quadrático, ocorrendo maior acúmulo na maior V%. Na CVSENS NM, o teor de K aumentou linearmente com o aumento na V% do solo, mas diminuiu linearmente quando a planta foi colonizada por GET (Figura 11). Nestas plantas, o acúmulo de K na parte aérea mostrou ajuste quadrático, diminuindo drasticamente nas V% de 45 e 53. O

CVSENS quando NM mostrou também elevação no teor e acúmulo de K quando se elevou a saturação por bases.

A micorrização causou um aumento significativo no teor e acúmulo de Ca na parte aérea em todas as saturações por bases (Tabela 21), exceto na V% de 53, onde o teor de Ca não diferiu significativamente entre os tratamentos. O CVSENS diferiu do CVTOL, mostrando um maior acúmulo de Ca, quando colonizada por GET, nas V% de 30 e 45.

Tabela 21. Teor e acúmulo de K, Ca e Mg em plantas dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao Al (CVSENS), na presença (*Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em três saturações por bases do solo (V%).

NM	GM	GET	NM	GM	GET
K g kg ⁻¹			Kac mg planta ⁻¹		
V 30			V 30		
15,4aB	28,9aA	23,9bA	3,3aC	130,3aA	61,98bB
14,4aC	22,9aB	27,2aA	3,5aC	107,5aB	176,45aB
V 45			V 45		
14,4aB	21,7aA	21,5aA	5,18aC	106,4aA	52,7bB
14,9aB	22,0aA	23,1aA	3,6aB	112,9aA	113,6aA
V 53			V 53		
16,5aB	20,5aA	20,8aA	4,8aB	81,4bA	94,5aA
18,9aA	21,6aA	21,7aA	7,8aB	117,7aA	115,1aA
Ca g kg ⁻¹			Caac mg planta ⁻¹		
V 30			V 30		
4,94aB	8,88aA	7,98aA	1,13aC	49,5aA	20,2bB
4,68aB	9,46aA	8,58aA	1,09aB	44,0aA	55,6aA
V 45			V 45		
5,92aB	8,88aA	9,16aA	2,15aC	43,8aA	22,4bB
6,82aB	8,94aAB	9,42aA	1,59aB	46,6aA	47,0aA
V 53			V 53		
8,26aA	10,18aA	10,30aA	2,5aB	38,6aA	46,8aA
8,68aA	9,48aA	9,94aA	3,6aB	51,9aA	53,0aA
Mg g kg ⁻¹			Mgac mg planta ⁻¹		
V 30			V 30		
1,7aA	1,9aA	2,1aA	0,38aC	10,5aA	5,3bB
1,6aA	1,8aA	2,0aA	0,39aC	11,7aB	13,2aA
V 45			V 45		
2,0aA	2,3aA	2,4aA	0,73aC	11,2aA	5,8bB
2,5aA	2,2aA	2,5aA	0,58aB	11,7aA	12,3aA
V 53			V 53		
3,3aA	2,7aA	3,1aA	0,9aB	10,6bA	13,9aA
2,8aA	2,8aA	2,9aA	1,2aB	15,2aA	15,2aA

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letra minúscula – comparação na coluna entre cultivares, dentro do mesmo fungo e V%. Letra maiúscula – comparação na linha entre fungos micorrízicos, dentro da mesma cultivar e V%.

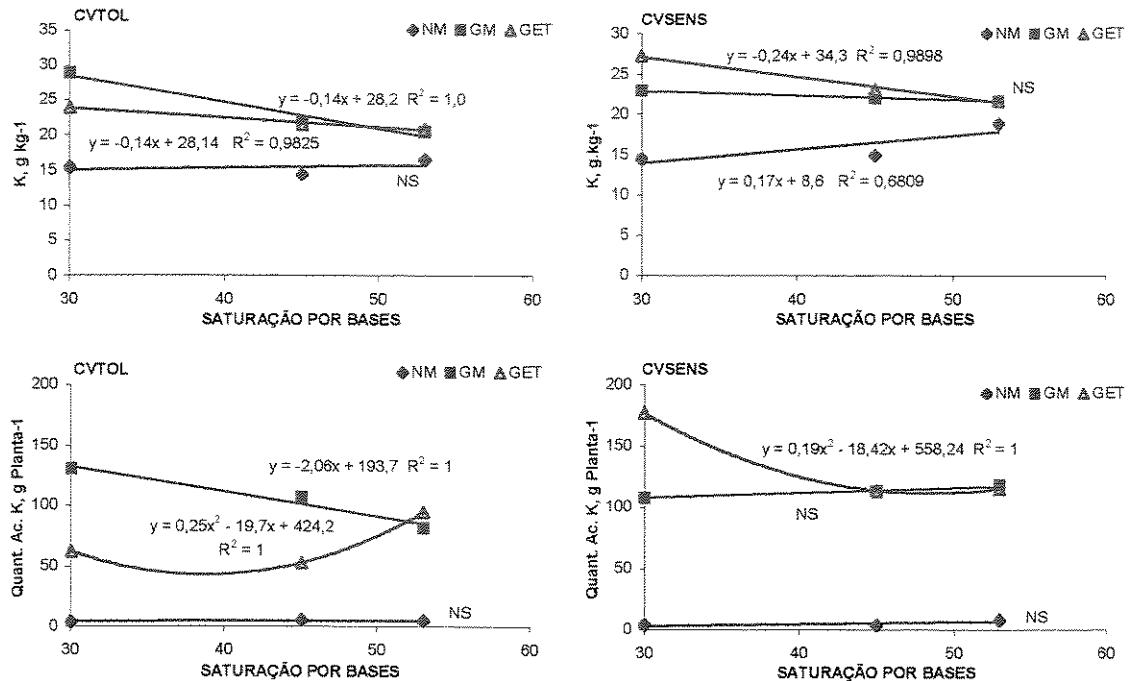


Figura 11. Teor e acúmulo de K na parte aérea das plantas dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao AI (CVSENS), na presença (*Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em função da saturação por bases do solo (V%). Equação de regressão não significativa – NS.

Houve um ajuste linear ascendente no teor de Ca da parte aérea em função do aumento na V% no CVTOL quando NM e quando colonizado por GET e no CVSENS quando NM (Figura 12). Para o CVTOL e colonizado por GET houve ajuste quadrático do acúmulo de Ca na parte aérea em função do aumento na V% do solo, ocorrendo um pico de acúmulo de Ca na maior V%. No CVSENS o acúmulo de Ca não variou estatisticamente com a V% em nenhum dos tratamentos.

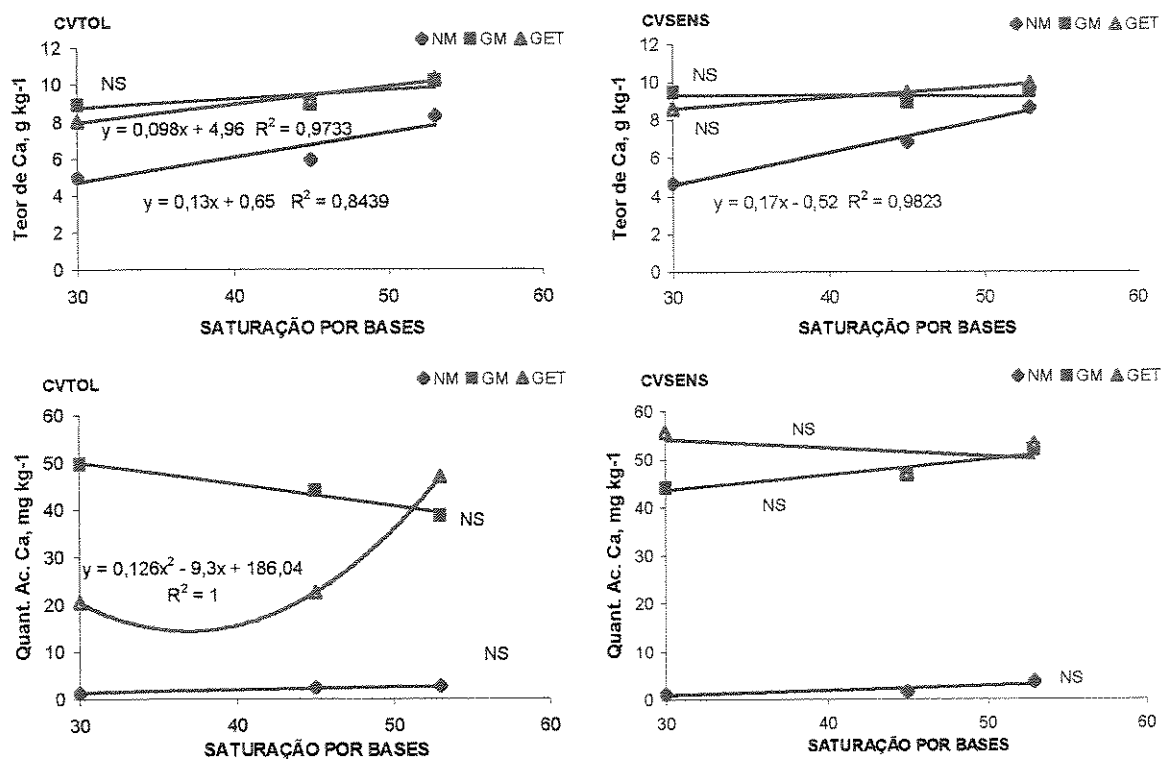


Figura 12. Teor e acúmulo de Ca das plantas dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao Al (CVSENS), na presença (*Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em função da saturação por bases do solo (V%). Equação de regressão não significativa – NS.

O teor de Mg na parte aérea não foi influenciado significativamente pelas micorrizas e nem pelo cultivar (Tabela 21), mas somente pela V% do solo. No CVTOL NM houve um ajuste quadrático no teor de Mg em função do aumento na V% (Figura 13). Para as plantas colonizadas por GM e GET, o ajuste foi linear ascendente, ou seja, o teor de Mg aumentou com o aumento na V%. Este mesmo ajuste linear foi observado no CVSENS NM e colonizado por GM.

Quanto ao acúmulo de Mg na parte aérea, constatou-se que as plantas

micorrizadas superaram significativamente as NM (Tabela 21). O CVSENS diferiu significativamente do CVTOL, nas V% de 30 e 45, quando colonizado por GET, e, na V% de 53, na presença de GM. Na CVTOL, somente quando colonizada por GET houve um ajuste quadrático do acúmulo de Mg em função do aumento na V% do solo, com mais acúmulo na maior V% (Figura 13). No CVSENS, somente na presença de GM houve um ajuste linear, aumentando o acúmulo de Mg com o aumento na V% do solo.

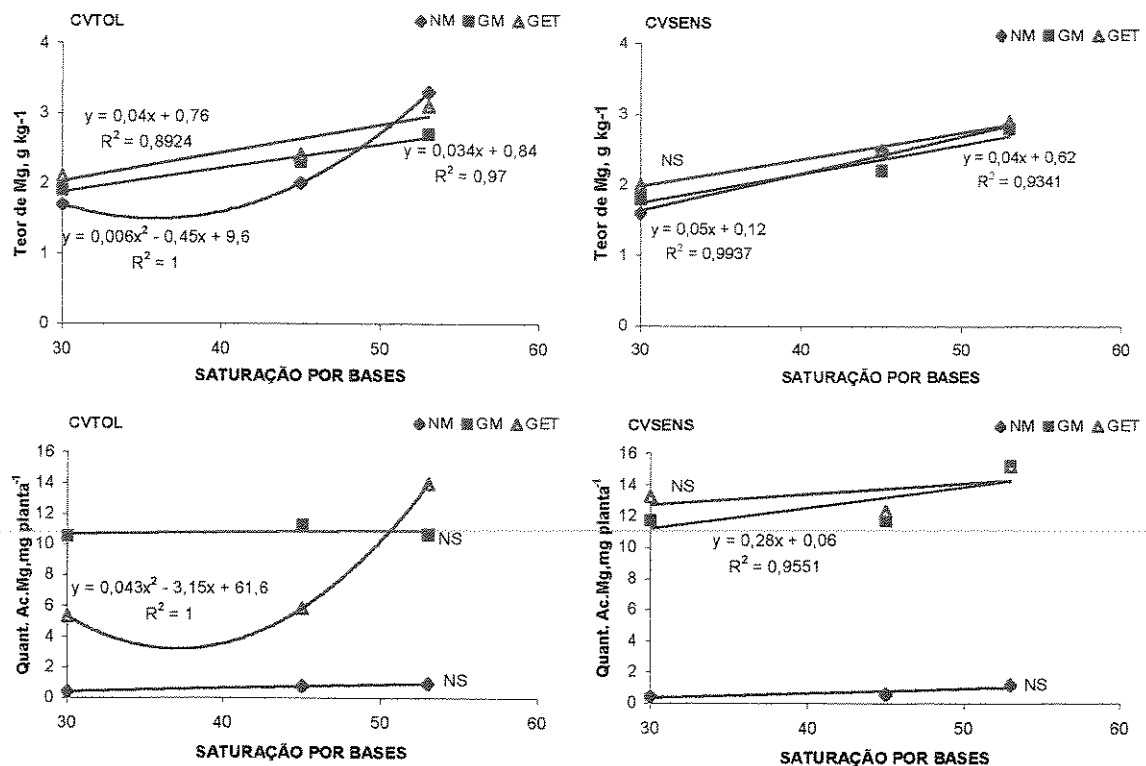


Figura 13. Teor e acúmulo de Mg na parte aérea das plantas dos cultivares de café, tolerante (CVTOL) e sensível ao Al (CVSENS), na presença (GM - *Gigaspora margarita* e GET – *Glomus etunicatum*)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em função da saturação por bases do solo (V%). Equação de regressão não significativa – NS.

As micorrizas influenciaram significativamente o teor e o acúmulo de P na

parte aérea das plantas. Plantas de ambos os cultivares micorrizados apresentaram teor de P significativamente maior que as NM, principalmente quando colonizadas por GET (Tabela 22). Já o acúmulo de P foi significativamente maior nas plantas micorrizadas tanto por GM quanto por GET. O teor e acúmulo de P praticamente não variaram nos cultivares, mas foram significativamente maiores no CVSENS colonizada por GET do que no CVTOL, na V% de 30 e 45.

A saturação por bases influenciou de modo altamente significativo o teor e o acúmulo de P. O CVTOL colonizado por GM apresentou uma diminuição linear no teor e acúmulo de P à medida que se elevou a saturação por bases (Figura 14), enquanto que o colonizado por GET mostrou um comportamento quadrático, com menores teor e acúmulo de P na V% de 45, mas com elevado acúmulo de P na V% de 53 (Figura 14). A diminuição do teor de P em V% de 45 também foi observada na CVTOL NM, onde o ajuste também foi quadrático.

Tabela 22. Teores e acúmulo de P, Al na parte aérea dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao Al (CVSENS), na presença (*Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em três saturações por bases do solo (V%).

	NM	GM	GET	NM	GM	GET
	P g kg⁻¹			Pac mg planta⁻¹		
	V 30			V 30		
CV TOL	0,64aB	1,04aA	1,26aA	0,15aC	5,7aA	3,3bB
CVSENS	0,60aC	1,02aB	1,32aA	0,14aC	4,7aB	8,5aA
	V 45			V 45		
CV TOL	0,42aB	0,90aA	1,04bA	0,15aB	4,4aA	2,5bA
CVSENS	0,56aC	0,92aB	1,22aA	0,13aB	4,8aA	6,0aA
	V 53			V 53		
CV TOL	0,64aC	0,88aB	1,24aA	0,19aC	3,5aB	5,6aA
CVSENS	0,56aC	0,88aB	1,18aA	0,24aB	4,8aA	6,2aA
	Al mg kg⁻¹			Alac ug planta⁻¹		
	V 30			V 30		
CV TOL	293,6aA	211,8aA	217,0aA	71,3aB	1127,5aA	542,8bB
CVSENS	371,6aA	236,8aAB	165,4aB	85,8aB	1073,9aA	1066,6aA
	V 45			V 45		
CV TOL	287,2aA	157,6aA	169,6aA	107,1aB	772,0bA	407,9bAB
CVSENS	302,4aA	223,4aA	174,2aA	75,9aB	1222,7aA	841,2aA
	V 53			V 53		
CV TOL	621,4aA	211,0aB	276,8aB	200,1aB	1159,3aA	1269,5aA
CVSENS	456,0bA	211,8aB	239,4aB	194,6aB	851,3aA	1250,7aA

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letra minúscula – comparação na coluna entre cultivares, dentro do mesmo fungo e V%. Letra maiúscula – comparação na linha entre fungos micorrízicos, dentro da mesma cultivar e V%.

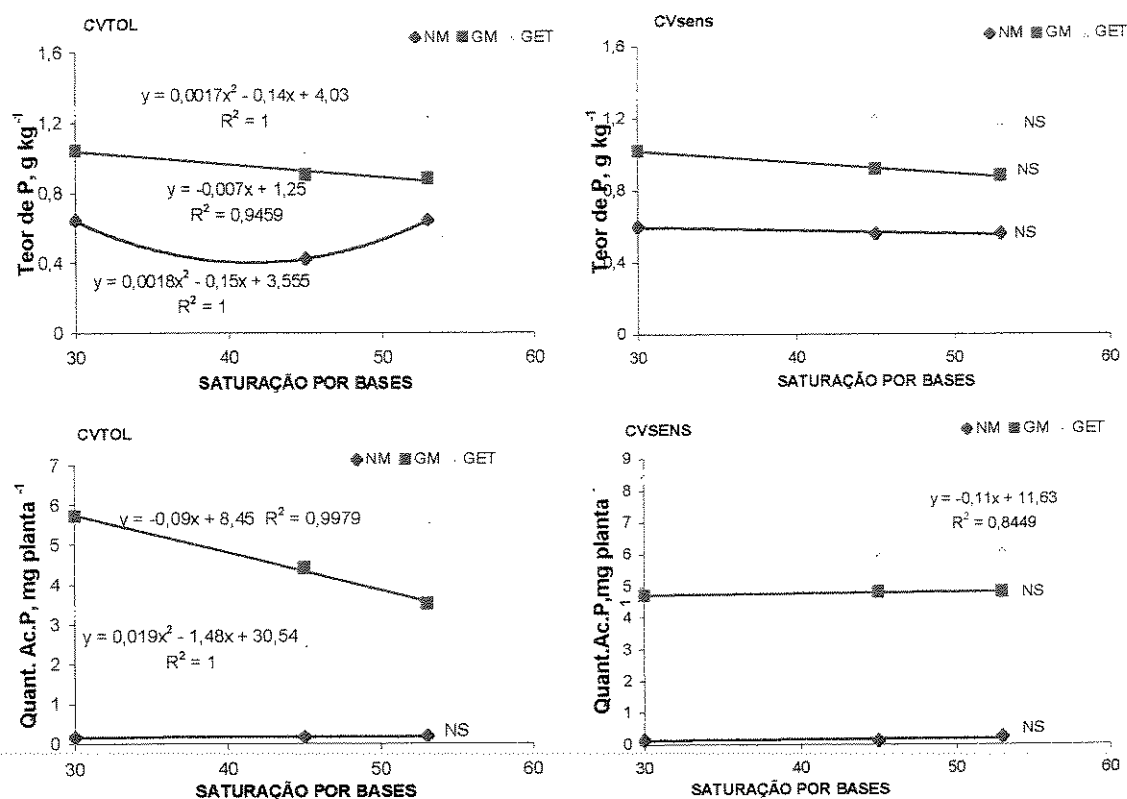


Figura 14. Teor e acúmulo de P na parte aérea das plantas dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao AI (CVSENS), na presença (*Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em função da saturação por bases do solo (V%). Equação de regressão não significativa – NS.

O CVSENS colonizado por GET mostrou uma diminuição linear no acúmulo de P à medida que se elevou a saturação por bases. Nos demais tratamentos, o teor e acúmulo de P não se alteraram significativamente com o aumento na V% do solo (Figura 14).

O teor de alumínio na parte aérea foi significativamente influenciado pelo FMA e pela V% do solo. No geral, as plantas micorrizadas apresentaram menor teor de Al. Na V% de 53, ambos os cultivares micorrizados mostraram significativamente menor teor de Al que a NM (Tabela 22).

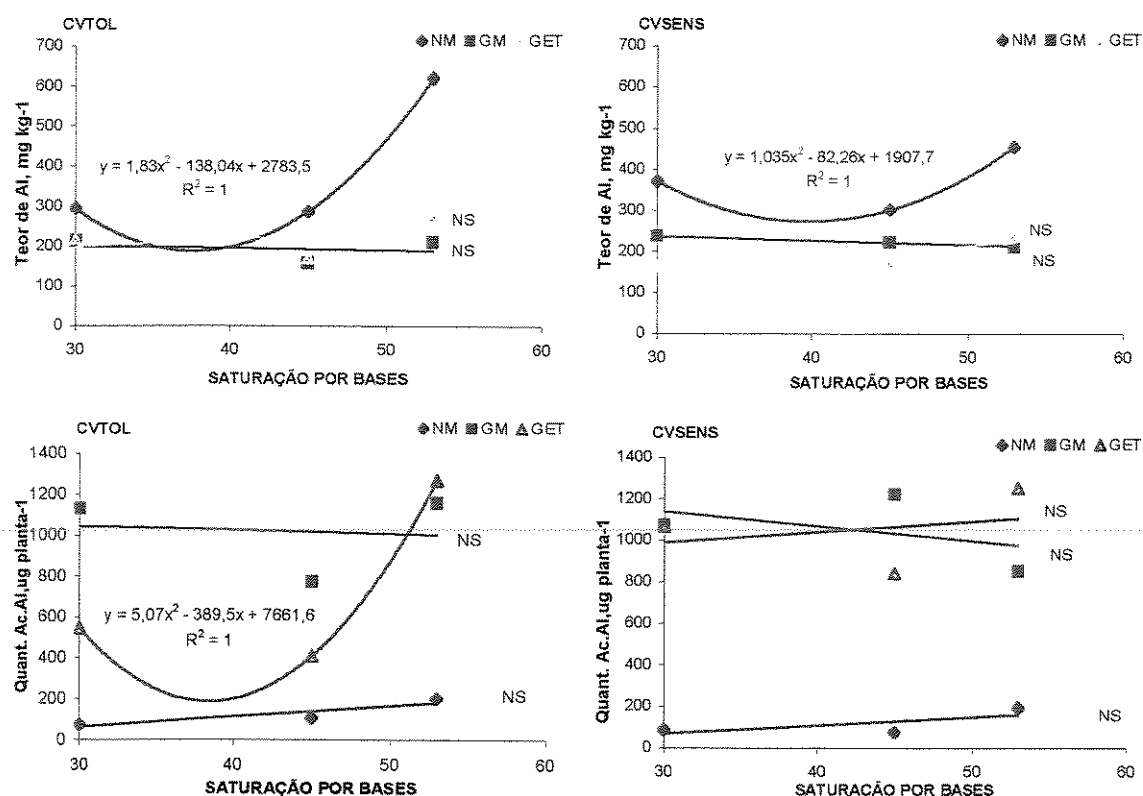


Figura 15. Teor e acúmulo de Al na parte aérea das plantas dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao Al (CVSENS), na presença (*Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em função da saturação por bases do solo (V%). Equação de regressão não significativa – NS.

Na V% de 30, a CVSENS colonizada por GET diferiu significativamente do NM com uma redução de cerca de 50% no teor de Al da parte aérea. Nos CVTOL e CVSENS NM houve ajuste quadrático do teor de Al em função do aumento na V%, ocorrendo um pico na maior V% (Figura 15). Nas plantas micorrizadas não houve variação significativa no teor de Al com o aumento na V%.

O acúmulo de alumínio na parte aérea foi significativamente maior nas plantas micorrizadas, em função do maior crescimento destas plantas (Tabela 22). O CVSENS diferiu significativamente do CVTOL, mostrando maior acúmulo de Al na parte aérea, quando colonizado por GET nos V% de 30 e 45, e por GM, somente na V% de 45. Somente houve resposta do acúmulo de Al na parte aérea em função do aumento na V%, no CVTOL colonizado por GET, que mostrou ajuste quadrático, ocorrendo maior acúmulo na maior V% (Figura 15).

4. Estabelecimento da associação micorrízica

A análise de variância mostrou que nenhum dos fatores influenciou significativamente a colonização radicular pelo FMA. Portanto, não houve diferenças significativas entre os FMAs e os cultivares empregados (Tabela 23) e nem ajuste da colonização em função do aumento na V% do solo (Figura 16).

Quanto a esporulação do FMA na rizosfera do cafeeiro, observou-se que GM diferiu significativamente de GET, mostrando maior número de esporos por 100 mL de solo (Tabela 23). Não houve efeito do cultivar empregado e a esporulação também não variou com o aumento na V% do solo (Figura 16).

Tabela 23. Colonização micorrízica (COL) e número de esporos no solo rizosférico dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao Al (CVSENS), na presença (*Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET)) e ausência de fungo micorrízico arbuscular (NM) em três saturações por bases do solo (V%).

	GM	GET	GM	GET
	COL		ESPOROS	
	%		nº/100 mL solo	
	V 30		V 30	
CV TOL	11,4aA	26,6aA	75,5aA	4,4aB
CVSENS	23,4aA	14,9aA	83,8aA	1,70aB
	V 45		V 45	
CV TOL	13,7aA	30,1aA	91,1aA	7,9aB
CVSENS	16,2aA	20,5aA	100,8aA	3,5aB
	V 53		V 53	
CV TOL	14,9aA	32,7aA	155,5aA	9,45aB
CVSENS	21,5aA	26,9aA	116,8aA	5,9aB

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Letra minúscula – comparação na coluna entre cultivares, dentro do mesmo fungo e V%. Letra maiúscula – comparação na linha entre fungos micorrízicos, dentro da mesma cultivar e V%.

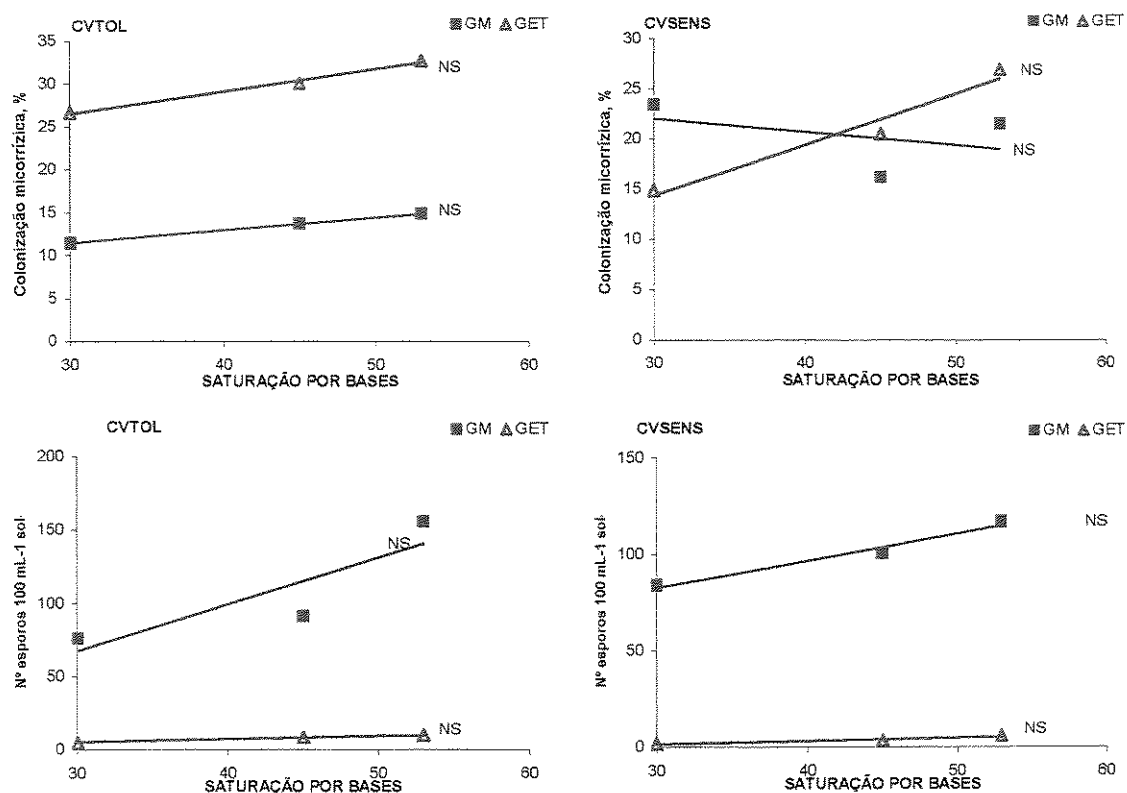


Figura 16. Colonização radicular e contagem de esporos no solo rizosférico dos cultivares de café tolerante (CVTOL) e sensível ao AI (CVSENS), na presença de fungo micorrízico arbuscular (*Gigaspora margarita* (GM) e *Glomus etunicatum* (GET)) em função da saturação por bases do solo (V%). Equação de regressão não significativa - NS

Considerações finais

Aumento dos níveis de Ca nos meios de cultivo diminui a absorção de Al e conseqüentemente a sua toxidez (Foy et al., 1978). Neste experimento o teor de Ca na planta se elevou tanto com a elevação da saturação por bases, pois promoveu elevação no teor de Ca em ambos os cultivares NM, quanto pela micorrização das plantas em ambos os cultivares. O fato de as plantas micorrizadas apresentarem maior teor de Ca, mesmo no tratamento com baixa V% (V=30), deixa evidente a importância da associação em melhorar a absorção do Ca, e evidentemente , diminuir a toxidez do Al. O maior acúmulo de Ca no CVSENS quando colonizado por GET nas V% de 30 e 40, coincidindo com maior atividade da enzima redutase de nitrato, maior área foliar e MS para este cultivar indica um benefício dessa micorriza para este cultivar.

Lopes *et al.* (1983b) e Colozzi-Filho & Siqueira (1986) demonstraram a dependência micorrízica do cafeeiro ao FMA para seu desenvolvimento adequado, particularmente em solos de baixa fertilidade. A dependência micorrízica do cafeeiro durante a fase de desenvolvimento da muda aumenta com a idade da planta até 150 dias, pela alta exigência de P pelas plantas jovens e reduz com o fornecimento de P no solo.

O efeito benéfico da inoculação de FMAs também refletiu-se na altura, diâmetro, área foliar, matéria seca da parte aérea, matéria fresca de raiz. De modo geral, os teores mais altos e as maiores quantidades acumuladas de K, Ca, Mg e P apresentados pelas plantas micorrizadas podem ter contribuído para o maior crescimento e desenvolvimento das plantas.

Conforme Hayman (1983), o efeito positivo das micorrizas na absorção de P,

principalmente em solos deficientes desse elemento, parece ser uma das principais causas do maior crescimento de plantas colonizadas por fungos micorrízicos. Como o P é um elemento de baixa difusão no solo, os FMAs por meio das hifas extrarradiculares aumentam o volume de solo explorado, aumentando a área de absorção da raiz, o que contribui para o maior crescimento das plantas micorrizadas (Rhodes & Gerdemann, 1975). Os resultados obtidos para o P na parte aérea corroboram com o importante papel dos fungos micorrízicos na absorção deste elemento pela planta que apresentaram maiores teores e acúmulos de P quando colonizadas por ambos os FMAs, apesar de o teor e o acúmulo de P não terem sido maiores à medida que se elevou a saturação por bases.

Quando colonizadas por GET, as plantas de ambos os cultivares apresentaram os maiores teores de P. Como o cv sens superou o CVTOL, na V% de 45, poderia-se sugerir que houve uma maior eficiência da associação simbiótica formada por esse fungo.

Vários trabalhos têm constatado aumento no teor de nutrientes, além do P, como consequência da colonização micorrízica (Siqueira *et al.*, 1995; Saggin-Júnior *et al.*, 1994; Thompson, 1990), o que também foi constatado neste experimento para os teores de Ca e K, mas não para o Mg que não foi influenciado pelas micorrizas estabelecidas e nem pelos cultivares, mas somente pela elevação na V%. Foi sugerido por Plenchette *et al.* (1983) que o aumento do teor de um nutriente pode estar simplesmente relacionado com o requerimento específico dele pela planta.

O maior acúmulo de Ca no CVSENS quando colonizado por GET, nas V% de 30 e 45, talvez tenha causado maior crescimento da planta pelo benefício gerado por esse FMA.

Geralmente não se constata relação entre a eficiência de um endófito e a colonização radicular (Mosse, 1972; Powell, 1977; Azcon & Ocampo, 1981), o que também foi observado neste experimento, por ambos os FMAs que proporcionaram ao cafeeiro maior crescimento e absorção de nutrientes, apresentando, no entanto, baixas porcentagens de colonização. Antunes *et al.* (1988) também não encontraram correlação entre a alta colonização radicular por *G. margarita* e sua baixa eficiência em promover o crescimento do cafeeiro.

A esporulação de GET foi a mesma em todas as saturações por bases e menor que a de GM. A GM mostrou uma faixa maior de tolerância ao pH (V% de 30 e 40) e apesar de diminuir sua eficiência no V% de 53, no geral, foi nesta V% que apresentou maior esporulação.

Fernandes & Siqueira (1989) verificaram que espécies de *Gigaspora* tendem a ocorrer numa faixa estreita de pH baixo. Lopes *et al.* (1989a) demonstraram, entretanto, que isolados de *G. margarita* podem exibir comportamentos distintos parecendo ser este o caso do isolado de *G. margarita* usado neste experimento.

Siqueira *et al.* (1984, 1986) notaram que o aumento da disponibilidade do alumínio afeta a germinação de esporos, o crescimento do tubo germinativo e o crescimento micelial, o que poderia explicar em parte a baixa colonização micorrízica observada na menor V%. Entretanto, como não se notou diferença na colonização radicular e na esporulação com a elevação na V% do solo, não se pode afirmar que o Al foi a causa da diminuição da colonização.

Apesar disto, a colonização micorrízica apresentou correlação positiva com massa da matéria fresca de raiz ($r^2=0,57$ e $p<0,01$), área foliar ($r^2=0,51$ e $p<0,01$), massa da matéria seca da parte aérea ($r^2=0,49$ e $p<0,01$), e teor de clorofila nas folhas

aos 157 DAT($r^2=0,58$ e $p<0,01$), provavelmente proporcionado pelo aumento na absorção de nutrientes do solo pela expansão da área de exploração do sistema radicular, devido ao micélio externo do fungo.

Alguns autores sugerem que o P pode diminuir a toxidez de Al pela sua precipitação no interior das raízes (Andrew & Berg, 1973; Mullette & Hannon, 1974; Braccini et al., 1998b). Como neste experimento houve adequado suprimento de P na parte aérea das plantas micorrizadas, maiores que os das plantas NM, coincidindo com valores relativamente baixos de teores de Al, em ambos os cultivares, infere-se que, talvez a absorção de P pelas plantas micorrizadas foi suficiente para precipitar o Al na raiz, diminuindo seu transporte para a parte aérea. O fato de se observar um alto teor de Al na parte aérea de ambos os cultivares NM reforça a idéia de que uma planta NM, não contando com este maior aporte de P promovido pela micorriza, acaba por absorver maiores quantidades de Al, translocando-o para a parte aérea (Figura 15).

Outro benefício promovido pelos FMAs, sob estresse de Al é o fato de micorrizas provenientes de solos ácidos absorverem o Al, o qual fica retido, ligado à parede celular do micélio externo e interno e, principalmente às vesículas ou células auxiliares (Cuenca *et al.*, 2001), conferindo assim um efeito protetor do fungo à planta contra o Al e a acidez do solo (Koslowsky & Boerner, 1989; Clark & Zeto, 1996). Como se notou neste experimento um maior teor de P na parte aérea das plantas colonizadas por GET e um mesmo teor de Al nas plantas colonizadas por ambas os FMAs, deduz-se que ocorreu, além do efeito do P, um efeito protetor promovido pelos fungos.

Reforçando a idéia de proteção promovida pelo fungo aos cultivares, soma-se

o fato de que a relação P/Al na parte aérea dos cultivares colonizados pelos FMAs, variou de 4 a 8 sendo maior que nos cultivares NM que ficou em torno de 2. Diaz et al. (1996) sugeriram que o melhor estado nutricional, principalmente o acúmulo de P na parte aérea da planta micorrizada, alivia os sintomas de toxicidade causada pelo excesso de metais nos tecidos e conseqüentemente apresenta maior relação P/metalo.

Notou-se um maior crescimento das plantas colonizadas que as NM, mesmo em solo ácido sem correção por calcário (menor V%), na qual as plantas não micorrizadas praticamente não cresceram inferindo-se, portanto, que os FMAs empregados eram adaptados a solos ácidos. Cuenca et al. (2001) ao introduzir inóculos de FMAs provenientes de solos neutros para cultivo de plantas altamente dependentes, notaram um menor desenvolvimento da parte aérea e das raízes destas plantas com relação àquelas colonizadas por inóculos provenientes de solos ácidos.

5. CONCLUSÕES

Experimento I :

Todos os cultivares avaliados foram sensíveis à presença do alumínio em solução nutritiva, não sendo possível identificar cultivares tolerantes ou sensíveis.

A toxicidade do Al em plântulas de café foi associada com elevação dos teores de Al, K e diminuição dos teores de P, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn na parte aérea.

Experimento II:

As micorrizas promoveram maior desenvolvimento do cafeeiro em solo ácido com alta concentração de Al.

A *Gigaspora margarita* foi mais eficiente em promover o desenvolvimento da planta de ambos os cultivares

Os fungos micorrízicos arbusculares protegeram as plantas do efeito tóxico do Al tóxico.

As micorrizas podem substituir em parte a calagem e a adubação fosfatada, por aumentarem a absorção de nutrientes pela planta.

Não se constatou tolerância ou sensibilidade ao Al, em solo, nos cultivares atestados como sensível e tolerante ao Al em solução nutritiva.

6. LITERATURA CITADA

- Amaral, J.A.T., Rena, A.B., Cordeiro, A.T. & Alves, J.D. 1987. Variação sazonal da atividade da redutase do nitrato foliar e radicular do cafeeiro e suas relações com a fonte de nitrogênio. In: 14º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras e 1º Congresso Latinoamericano de Tecnologia Cafeeira, Resumos, p.125-126.
- Andrew, C.S. & Van Der Berg, P.J., 1973. The influence of aluminum on phosphate sorption by whole plants and excised roots os some pasture legumes. *Plant Soil* 24:351-349.
- Andrew, C.S., Johnson, A.D. & Sandland, R.L. 1973. Effect of aluminium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.*, Victoria, 24:325-339.
- Antunes, V., Silveira, A.P. & Cardoso, E.J., 1988. Interação entre diferentes tipos de solo e fungos micorrízicos vesículo-arbusculares na produção de mudas de café (*Coffea arabica*, L.). *Turrialba* 38:177-122.
- Aponte de L., M. E. & Valencia A., G., 1983. Toxicidad de aluminio en plantas de café. *Cenicafé*, Colombia, v.34, p.61-97.
- Araújo, G.M. & Haridasan, M. A., 1988. Comparison of the nutrient status of two forests on dystrophic and mesotrophic soils in the cerrado region of central Brasil. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 19:1075-1089.
- Ascencio, J., 1994. Acid phosphatase as a diagnostic tool. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 25:1553-1564.

- Azcon, R. & Ocampo, J.A. 1981. Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. *New Phytology* 87:677-685.
- Baligar, V.C., Schaffert, R.E. & Santos, H.L. et al., 1993. Soil aluminium effects on uptake, influx, and transport of nutrients in sorghum genotypes. *Plant Soil*, 50: 271-277.
- Balota, E.L. & Lopes, E.S., 1973. Introdução de fungo micorrízico arbuscular no cafeeiro em condições de campo: I. Persistência e interação com espécies nativas. *Ver. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, 20:217-223.
- Besford, R.T., 1980. A rapid tissue test for diagnosing phosphorus deficiency in the tomato plant. *Ann Bot.* 45:225-227.
- Blancaflor, E.B., Jones, D.L. & Gilroy, S., 1998. Alterations in the cytoskeleton accompany aluminum-induced growth inhibition and morphological changes in primary roots of maize. *Plant Physiol.* 118:159-172.
- Bovi, M. L. A., Basso, L. C. & Tucci, M.L.S., 1998. Avaliação da atividade "in vivo" da fosfatase ácida e do crescimento de progênies de pupunheira cultivadas em duas doses de nitrogênio e fósforo. *R. Bras. Ciênc. Solo* 22:427-434.
- Braccini, M.C.L., Martinez, H.E.P. & Braccini, A.L. 2000. Avaliação de linhagens de cafeeiros quanto à tolerância ao alumínio pelo método do papel-solução. *Bragantia*, Campinas 59(2):221-226.
- Braccini, M.C.L., Martinez, H.E.P., Pereira, P.R.G. Sampaio, N.F. & Silva, E.A.M, 1998a. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. *R. Bras. Ciênc. Solo* 22:435-442.

- Braccini, M.C.L., Martinez, H.E.P., Pareira, P.R.G., Sampaio, N.F. & Silva, E.A.M., 1998b. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. II. Teores de P, Ca, e Al e eficiência ao P e Ca. R. Bras. Ciênc. Solo, 22:443-450.
- Bueno, N., 1987. Quantidade de alumínio no substrato afetando o desenvolvimento, a sintomatologia de toxicidade, a concentração e o acúmulo de macronutrientes em seringueira (*Hevea ssp*). Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil, tese de Doutorado.
- Clark, R.B. & Zeto, S.K. 1996. Mineral acquisition by micorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. Soil Biol. Biochem. 28:1495-1503.
- Coleman, J.E. 1992. Zinc proteins: enzymes, storage proteins, transcription factors, and replication proteins. Ann. Rev. Biochem. 61:897-946.
- Colozzi-Filho, A. & Siqueira, J.O., 1986. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. I. Efeitos de *Gigaspora margarita* e adubação fosfatada no crescimento e nutrição. Rev. Bras. Ciênc. Solo, Campinas, 10:199-205.
- Cuenca, G., Andrade, Z. & Meneses, E. 2001. The presence of aluminum in arbuscular mycorrhizas of *Clusia multiflora* exposed to increased acidity. Plant Soil 231:233-241.
- Cuenca, G. & Herrera, R. 1987. Ecophysiology of aluminium in terrestrial plants, growing in acid and aluminium-rich tropical soils. Ann. Soc. R. Zool. Belg. 17:57-73.
- Daft, M.J., Hacskeylo, E. & Nicolson, T.H. 1975. Arbuscular micorrhizas in plants colonizing coal spoils in Scotland and Pennsylvania. In: Endomycorrhizas. Eds. Sanders, F.E., Mosse, B. & Tinker, P.B. Academic Press, New York, pp561-580.

- Da Matta, F.M., Maestri, M., Mosquim, P.R., Barros, R.S., 1997. Photosynthesis in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions. *Plant Sci.* 128:43-50,.
- Dantas, A.C.M., Fortes, G.R.L., Silva, J.B., Nezi, A.N. & Rodrigues, A.C. 2001 Tolerância ao alumínio em porta-enxertos somaclonais de macieira cultivados em solução nutritiva. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília 36:615-623.
- Deckhard, E.L., Lambert, R.R. & Hageman, R.H. 1973. Nitrate reductase activity in corn leaves as related to yields of grain and grain protein. *Crop Science*, Madison, 13:343-350.
- Degenhardt, J., Larsen, P.B., Howell, S.H. & Kochian, L.V., 1998. The resistance in the arabidopsis mutant *alr-104* is caused by an aluminum-induced increase in rhizosphere pH. *Plant Physiol.* p. 19-27.
- Diaz, G., Azcón-Aguilar, C.E. & Honrubia, M. 1996. Influence of arbuscular mycorrhizae on heavy metal (Zn and Pb) uptake growth of *Ligneum spartum* and *Anthyllis cystisoides*. *Plant and Soil*, 180:241-249.
- Dubey, R.S. & Sharma, K.N., 1990. Behaviour of phosphatases in germinating rice in relation to salt tolerance. *Plant Physiol.Biochem.*, Paris, 28: 17-26.
- Duff, S. M. G., Sarath, G. and Plaxton, W. C.1994. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. *Physiol. Plant.* 90:791-800.
- Fernandes, A. B. & Siqueira, J.O., 1989. Micorrizas vesicular-arbusculares em cafeeiros da região sul do Estado de Minas Gerais. *Pesq. Agrop. Bras.*, Brasília 24:1489-1498.

- Foy, C.D. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. In: Hatfield, J.L., Stewart, B.A. Limitations to plant root growth. New York: Springer-Verlag, p.97-149.
- Foy, C.D. 1974. Effects of aluminum on plant growth. IN: The Plant Root and its Environment (Carson, E.W., ed.), Charlottesville, University Press of Virginia, pp.601-642.
- Foy, C.D. & Brown, J. C. 1963. Toxic factor in acid soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 403-407.
- Foy, C.D. & Brown, J. C. 1964. Toxic factor in acid soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 27-32.
- Foy C. D., Chaney, R.L. & White, M.C., 1978. The physiology of metal toxicity in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 29:511-566.
- Furlani, P. R. & Clark, R.B., 1981. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solutions. Agron. J. 73: 587-594.
- Gerdemann, J.W. & Nicolson, T.H., 1963. Spores of *micorrhizal Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Br. Mycol. Soc., London, 46: 235-244.
- Gimenez, S.M.N., Chaves, J.C.D., Pavan, M.A. & Cruces, I.I. 1992. Toxicidade de cobre em mudas de cafeeiro. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 16:361-366.
- Giovannetti, M. & Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytol., Oxford, 84:484-500.
- Gonçalves, J.F. de C., Cambraia, J., Santana & Pacheco, S., 1996. Aluminum and zinc effects on the metabolism of ribonucleic acid in two sorghum cultivars. R. Bras. Fisiol. Veg. 8:81-86.

- Goodland, R. 1969. An ecological study of the cerrado vegetation of south central Brasil. McGill University, Montreal, Canadá (Tese de doutorado).
- Grime, J.P. & Hodgson, J.G. 1969. An investigation of the ecological significance of lime chlorosis by means of large scale comparative experiments. In: Rorison, I.H. (Ed.) Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Oxford: Blackwell Scientific, cap.2, p.67-69.
- Hayman, D.S., 1983. The physiology of vesicular-arbuscular endomycorrhizal symbiosis. Can. J. Bot. 61:944-963.
- Horst, W.J., Klotz, F. & Szulkiewicz, P., 1990. Mechanical impedance increases aluminum tolerance of soybean (*Glycine max*) roots. IN: Plant Nutrition-Physiology and Applications (L. Van Beusichem, ed.) , Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 351-355.
- Huang, J. & Bachelard, E.P., 1993. Effects of aluminum on cation uptake in seedlings of *Eucalyptus manifera* and *Pinus radiata*. Plant Soil 14:121-127.
-
- Keltjens, W.G. 1997. Plant adaptation and tolerance to acid soils; its possible Al avoidance - A review. IN: .) Plant Soil Interactions at Low pH (A.C. Moniz et al., ed.), Brasil, pp.109-117.
- Khotari, S.K., Marschner, H. & Römheld, V. 1990. Direct and indirect effects of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on acquisition for mineral nutrients by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil. New Phytol. 116:637-645.
- Kirkpatrick, H.C., Thompson, J.M. & Edwards, J.H. 1975. Effects of aluminum concentration on growth and chemical composition of peach seedlings. Hort Science, Alexandria, 10:132-134.

- Koske, R.E. & Gemma, J.N. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycol. Res.* 4:486-505.
- Koslowsky, S.D. & Boerner, R.E. 1989. Interactive effects of aluminum, phosphorus and mycorrhizas on growth and nutrient uptake of *Panicum virgatum* L. (Poaceae). *Environ. Poll.*, 61:107-125.
- Larsen, P.B., Degenhardt, J., TAI, C., Stenzer, L.M., Howell, S.H. & Kochian, L.V. 1998. Aluminum arabidopsis mutants that exhibit altered patterns of aluminum accumulation and organic acid release from roots. *Plant Physiol.* 117 :9-18.
- Linderman, R.G. 1988 Mycorrhizal interactions with the rizosphere microflora: the micorrizosphere effect. *Phytopatol.* 78:366-371.
- Lindberg, S. 1990. Aluminium interactions with K^+ ($^{86}Rb^+$) and $^{45}Ca^{+2}$ fluxes in three cultivars of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Physiol. Plantarum*, Copenhagen, 79:275-282.
- Lin, Z. & Myhre, D.L. 1991. Differential response of Citrus rootstocks to aluminum levels in nutrient solutions: I. Plant growth. *J. Plant Nutr.* 14:1223-1238
- Lopes, E.S., Oliveira, E., Dias, R. E Schenck, N.C. 1983a. Occurrence and distribution of vesicular-arbuscular micorrhizal fungi in coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in central Sao Paulo state, Brazil. *Turrialba*, 33:417-422.
- Lopes, E.S., Oliveira, E., Neptune, A.M.L. & Moraes, F.R.P. 1983b. Efeito da inoculação do cafeeiro com diferentes espécies de fungos micorrízicos vesicular-arbusculares. *Rev. Bras. Ciênc.Solo*, Campinas, 7:137-141.
- Lopes, E.S.; Balota, E.L. & Gonçalves, W. 1989a. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em mudas de café (*Coffea canephora*) cv. IAC Apoatã. IN:

- Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 3, Piracicaba, 1989. Programas e Resumos. Piracicaba, CENA/ESALQ, p.67.
- Machado, A. T., Sodek, L. & Fernandes, M.S., 2001. N-partitioning, nitrate reductase and glutamine syntetase activities in two contrasting varieties of maize. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília 36:249-256.
- Maluf, A. M., Silveira, A.P.D. & Melo de I.S. 1988. Influência da calagem e da micorriza vesículo-arbuscular no desenvolvimento de cultivares de leucena tolerante e intolerante ao alumínio. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 12:17-23.
- Manetti, F.J. & Santos, D., 1977. Tolerância ao alumínio em 4 cultivares de café (*Coffea arabica*,L.) e uma cultivar de cruzamento interespecífico de *Coffea arabica* com *Coffea canéfora*. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 5, Guarapari, Resumos
- Martin, R.B. 1986. Bioinorgânic chemistry of metal ion toxicity. IN: Metal Ions in Biological Systems (Siegel, H., ed.), Marcel Deckker, Inc., New York, pp.21-65.
- Martínez-Estévez, M., Loyola-Vargas, V.M. & Hernández-Sotomayor, S.M.T. 2001. Aluminum increases phosphorylation of particular proteins in cellular suspension cultures of coffee (*Coffea arabica*). *J. Plant Physiol.* 158:1375-1379.
- Marziah, M., Abdullah, P., Mispar, N. & Syed, M.A.,1991. Biochemical studies of peanut cells grown in suspension cultures treated with aluminium. IN: . Plant-Soil Interactions at Low pH (Wright, R.J. ;Baligar, V.C. & Murmann, R.P ,eds.), Beckeley, West Virginia.pp.869-874.
- Matiello, J.B. 1986. Fatores que afetam a produtividade do café no Brasil. In: Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade (Rena, A.B., Malavolta, E.,

- Rocha, M. & Yamada, T., eds.), Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Anais.
- McArthur, D.A.J. & Knowles, N.R., 1993. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the response of potato to phosphorus deficiency. *Plant Physiol.* 101: 147-160.
- Medeiros, C.A.B., Clark, R.B. and Ellis, J.R. 1995. Effects of excess aluminium and manganese on growth and phosphorus nutrition of mycorrhizal sorghum grown under acidic conditions. IN: *Plant Soil Interactions at Low pH* (Date, R.A. et al., ed.), Netherlands, pp.193-199.
- Melo, I.S., Silveira, A.P.D. & Maluf, A.M., 1987. Efeito de alumínio e de *Glomus leptotichum* Shenk e Smith no desenvolvimento de cultivares de *Leucaena leucocephala* (LAM.) De Wit tolerante e intolerante ao alumínio. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, Brasil, 44:1365-1380.
- Mosse, B. 1972. Effects of different *Endogone* strains on the growth of *Paspalum notatum*. *Nature* 239:221-223.
- Moustakas, M., Eleftheriou, E.P. & Ouzounidou, G., 1997 Short-term effects of aluminum at alkaline pH on the structure and function of the photosynthetic apparatus. *Photosynthetica* 34:169-177.
- Moustakas, M. & Ouzounidou, G., 1994. Increased non-photochemical quenching in leaves of Aluminum-stressed wheat plants is due to Al^{+3} -induced elemental loss. *Plant Physiol. Biochem.* 32:527-532.
- Mulleter, K.J. & Hannon, J.N., 1974. Insoluble phosphorus usage by eucalyptus. *Plant Soil* 41:199-205.

- Neves, J.C.L., Novais, R.F. & Barros, N.F., 1982. Efeito do alumínio em solução nutritiva no crescimento e absorção de nutrientes por *Eucalyptus* spp. Rev. Árvore 1:1-16.
- Ohki, K. 1985. Aluminum toxicity effects on growth and nutrient composition in wheat. Agron. J. 77:951-956.
- Orzech, K.A. & Burke, J.J. 1988. Heat shock and the protection against metal toxicity in wheat root leaves. Plant Cell Environment 11:711-714.
- Passo, R.R. & Ruiz, H.A. 1995. Tolerância dos cafeeiros conilon e catuaí à toxidez causada pelo alumínio e manganês. Revista Ceres, Viçosa, 42(239):45-52.
- Pavan, M. A. & Bingham, F. T., 1982. Toxicity of aluminum to coffee seedlings in nutrient solution. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:993-997.
- Pavan, M.A. & Bingham, F. T. 1982. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. Pesq. Agrop. Bras., Brasília, 17:1293-1302.
- Pavan, M. A. 1981. Toxicity of Al (III) to coffee (*Coffea arabica*, L.) in nutrient solution culture and in oxisols and ultisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 , and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Riverside, University of California, (Tese de Doutorado).
- Peixoto, P.H.P., Cambraia, J., Sant'Anna, R., Mosquim, P.R. & Moreira, M.A. 1999. Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. R. Bras. Fisiol. Veg. 11(3): 137-143.
- Pereira, J.S., Dantas, A.C.M., Rossi, A., Fortes, G.R.L. & Vahl, L.C. 1998. Efeito de diferentes concentrações de alumínio na multiplicação e enraizamento *in vitro* da macieira, cultivar "Marubakaido" (*Malus prunifolia* willd, Borkh.). Agropecuária de clima Temperado, Pelotas, 1:21-27.

- Pereira, W.E., Siqueira, D.L., Martinez, C.A. & Puiatti, M., 2000. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks under aluminium stress. *Journal of Plant Physiol.* 157:513-520.
- Pimenta, J., Cambraia, J., Santanna, R. & Estevão, M.M. 1989. Efeito do alumínio sobre algumas enzimas ligadas à assimilação do nitrogênio em sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* 1:169-175.
- Pintro, J., Barloy, J. & Fallavier, P. 1995. Aluminum toxicity in corn plants cultivated in a low ionic strength nutrient solution. I. discrimination of two corn cultivars. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.* 7:121-128.
- Plenchette, C., Furlan, V. & Fortin, J.A., 1983. Responses of endomycorrhizal plants grown in a calcined montmorillonite clay to different levels of soluble phosphorus. II. Effect on nutrient uptake. *Can. J. Bot.* 61:1384-1391.
- Powell, C.L. 1977. Mycorrhizas in hill country soils. V. Growth responses in ryegrass. *New Zealand Journal of agriculture Research* 20:495-502.
- Powson, D.S., Brookes, D.C. & Christensen, B.T., 1987. Measurement of microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 19:159-164.
- Purcino, A.A.C., Magnavaca, R., Machado, A.T. & Marriel, I.E. 1994. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. *R. Bras. Fisiol. Veg.* 6(1):41-46.
- Randall, P.J. 1969. Changes in nitrate and nitrate reductase levels on restoration of molybdenum-deficient plants. *Aust. J. Agr. Res.* 20:635-642.

- Reddy, G.N. and Prasad, M.N.V. 1990. Heavy metal-binding proteins/peptides: occurrence, structure, synthesis and functions. A review. *Environ. Exp. Bot.* 30:251-264.
- Reid, M.S. & Bielecki, R.L. 1970. Change in phosphatase activity in phosphorus-deficient *Spirodela*. *Planta* 94:273-281.
- Rhodes, L.H. & Gerdemann, J., 1975. Phosphorus uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. *New Phytol.* 75:55-561.
- Rodrigues, L.A., Martinez, H.E.P., Neves, J.C.L., Novais, R.F. & Mendonça, S.M. 2001. Growth response of coffee tree shoots and roots to subsurface liming. *Plant and Soil* 234:207-214.
- Roy, K.A., Sharma, A. & Talukder, G., 1988. Some aspects of aluminum toxicity in plants. *Bot. Rev.* 5:145-178.
- Saggin Júnior, O.J. & Siqueira, J.O. 1995. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. *Rev. Bras. Ciênc. Solo, Campinas*, 19:221-228.
- Saggin Júnior, O.J., Siqueira, J.O., Guimarães, P.T.G. & Oliveira, E. 1995. Colonização do cafeeiro por diferentes fungos micorrízicos: efeitos na formação de mudas e no crescimento em solo fumigado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo, Campinas*, 19:213-220.
- Saggin Júnior, O.J., Siqueira, J.O., Guimarães, P.T.G. & Oliveira, E. 1994. Interação fungos micorrízicos versus superfosfatos e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo, Campinas*, 18:27-36.

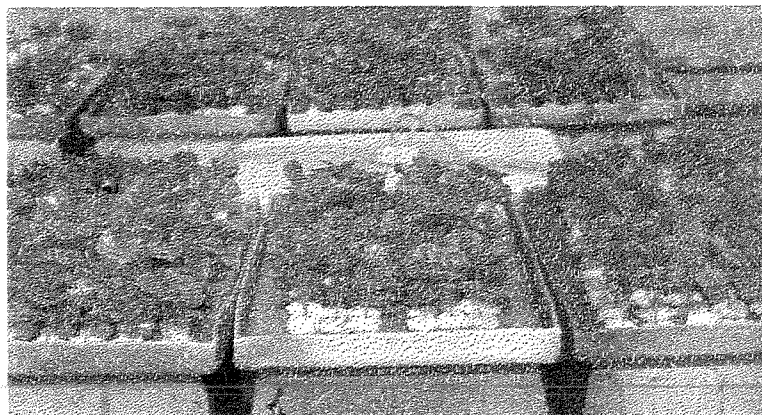
- Saggin Júnior, O.J., Siqueira, J.O., Guimarães, P.T.G. & Oliveira. 1992. A infestação do solo com fungos micorrízicos no crescimento pós-transplante de mudas de cafeeiro não micorrizadas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, 16:39-46.
- Schreiber, U.; Bilger, W. & Neubauer, C. 1994. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assesment of in vivo photosynthesis. IN: *Ecophysiology of photosynthesis* (Schulze, E.D. & Caldwell, M.M., eds.). Ecological Studies, Berlin, Springer, 100:49-70.
- Shah, Z., Adams, W.A. & Haven, C.D.V. 1990. Composition and activity of the microbial population in an acidic upland soil and effects of liming. *Soil Biol. Biochem.*, Oxford, 22(2):257-263.
- Silva, F. C. & Basso, L. C. 1993. Avaliação in vivo da fosfatase ácida da folha na diagnose da nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, 17:371-375.
- Silva, L.H.B. da, Miranda, J.C.C. de & Miranda, L.N. de. 1994. Efeito da micorriza vesículo arbuscular no crescimento de variedades de trigo sensível e tolerante ao alumínio, em solo de cerrado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, 18:407-414.
- Siqueira, J.O. & Colozzi-Filho, A. 1986. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. II Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. *Rev. Bras. Ci. Solo* 10(3):207-211.
- Siqueira, J.O., Colozzi-Filho, A., Saggin Júnior O.J., Guimarães, P.T.G. & Oliveira, E. 1993. Crescimento de mudas e produção do cafeeiro sob influência de fungos micorrízicos e superfosfato. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Campinas, 17:53-60.

- Siqueira, J.O., Hubbell, D.H. & Mahmud A.W., 1984 Effect of liming on spore germination, germ tube growth and root colonization by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil* 76: 115-124.
- Siqueira, J.O., Mahmud A.W. & Hubbell, D.H., 1986. Comportamento diferenciado de fungos formadores de micorrizas vesicular-arbusculares em relação à acidez do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 10:11-16.
- Siqueira, J.O., Saggin Júnior, O.J., Colozzi-Filho, A., & Oliveira, E. 1995. Influência do substrato de formação e da micorriza no crescimento de mudas de cafeeiro transplantadas. *Pesq. Agrop. Bras., Brasília*, 30:1417-1425.
- Sivaguru, M., James, M.R., Ambudural, P.R. & Balakumar, T. 1992. Characterization of differential aluminum tolerance among rice genotypes cultivated in South India. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 15:233-246.
- Sivaguru, M. & Paliwal, K. 1993. Differential aluminum tolerance in some tropical rice cultivars. I. Growth performance. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 16:1705-1716.
- Slaski, J.J. 1990. Response of calmodulin-dependent and calmodulin-independent NAD kinase to aluminum in root tips from various cultivated plants. *Plant Physiol.* 136:40-44.
- Smith, S.E. & Gianinazzi-Pearson, V., 1988. Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrhizal plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.*, Palo Alto, 39:221-244.
- Taylor, G. J. 1991. Current views of the aluminum stress response; the physiological basis of tolerance. *Current Topics in Plant Biochemistry and Physiology* 10:57-93.

- Taylor, G.J. 1988. The physiology of aluminum tolerance in the tropics. Comm. In Soil and Plant Anal. 19:1179-1194.
- Thompson, J.P., 1990. Soil sterilization method to show VA-mycorrhizae aid P and Zn nutrition of wheat in vertisols. Soil Biol. Biochem. 22:229-240.
- Watanabe, T., Osaki, M., Yoshihara, T & Tadano, T. 1998. Distribution and chemical speciation of aluminum in the Al accumulator plant, *Melastoma malabathricum* L. Plant Soil 201:165-173.
- Zheng, S.J., Ma, J.F. & Matsumoto H. 1998. High aluminum resistance in buckwheat II. Oxalic acid detoxifies aluminum internally. Plant Physiol. 117:753-759.

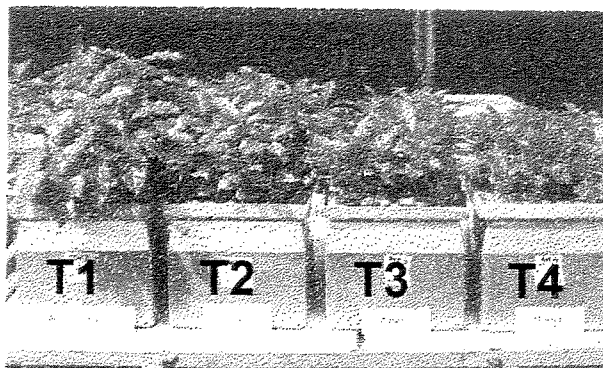
7. APÊNDICE

1. Fotos mostrando detalhes das caixas com as plântulas de cafeeiro no início do experimento com solução nutritiva.

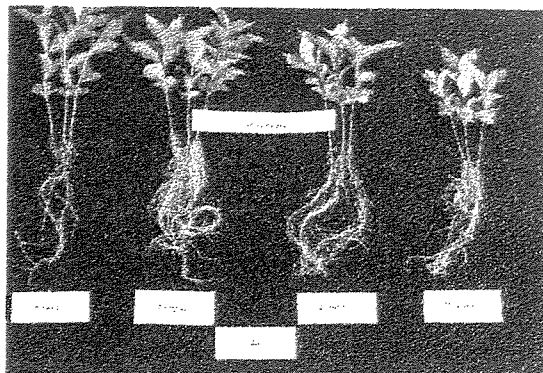


2. Fotos mostrando detalhes das plantas no geral e de cada cultivar avaliado por ocasião da colheita. T1, T2, T3 e T4, representam 0,0 , 0,148, 0,296 e 0,592 mmol/L de alumínio.

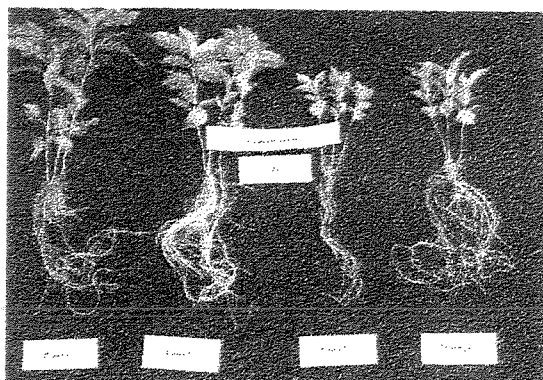
GERAL



ICATÚ



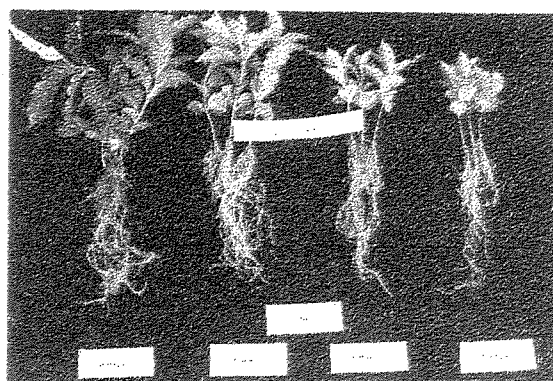
BOURBON VERMELHO



BOURBON AMARELO

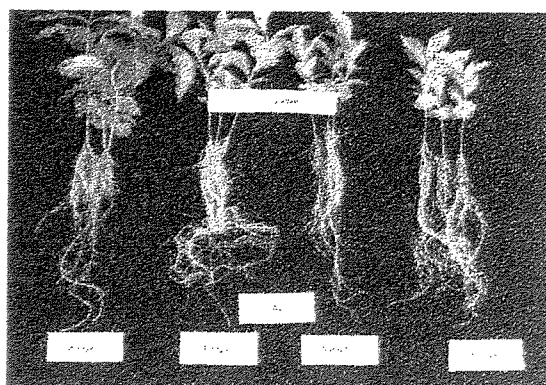


OBATÃ



T1 T2 T3 T4

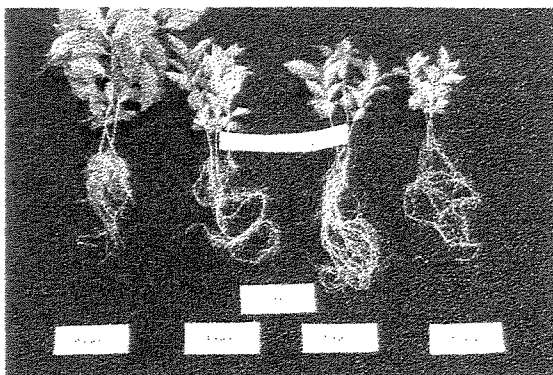
NACIONAL



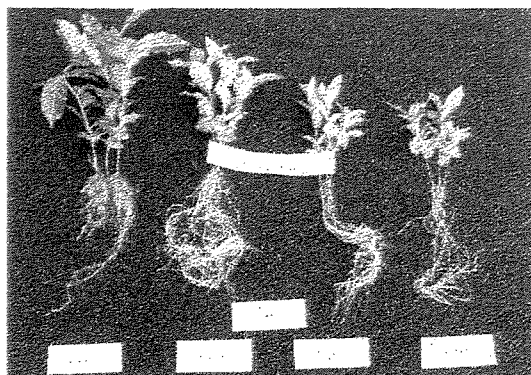
T1 T2 T3 T4

3. Fotos mostrando detalhes das plantas de cada cultivar avaliado por ocasião da colheita. T1, T2, T3 e T4, representam 0,0 , 0,148, 0,296 e 0,592 mmol/L de alumínio.

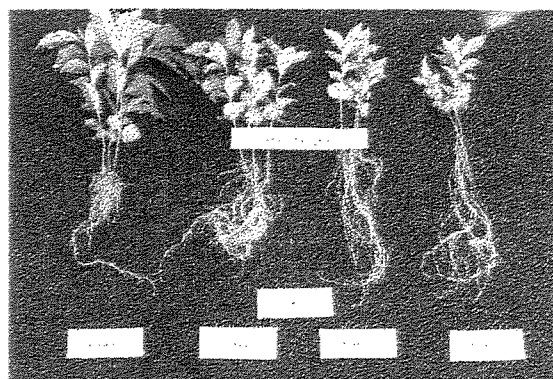
IAC 3795



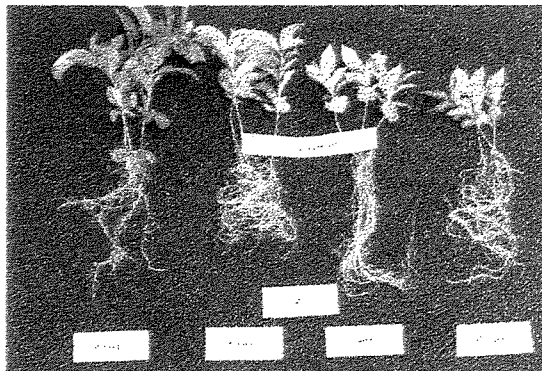
MUNDO NOVO



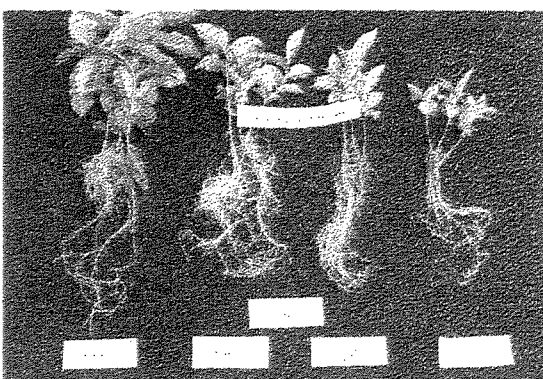
IAC 4045



CATUAÍ VERMELHO



CATUAÍ AMARELO



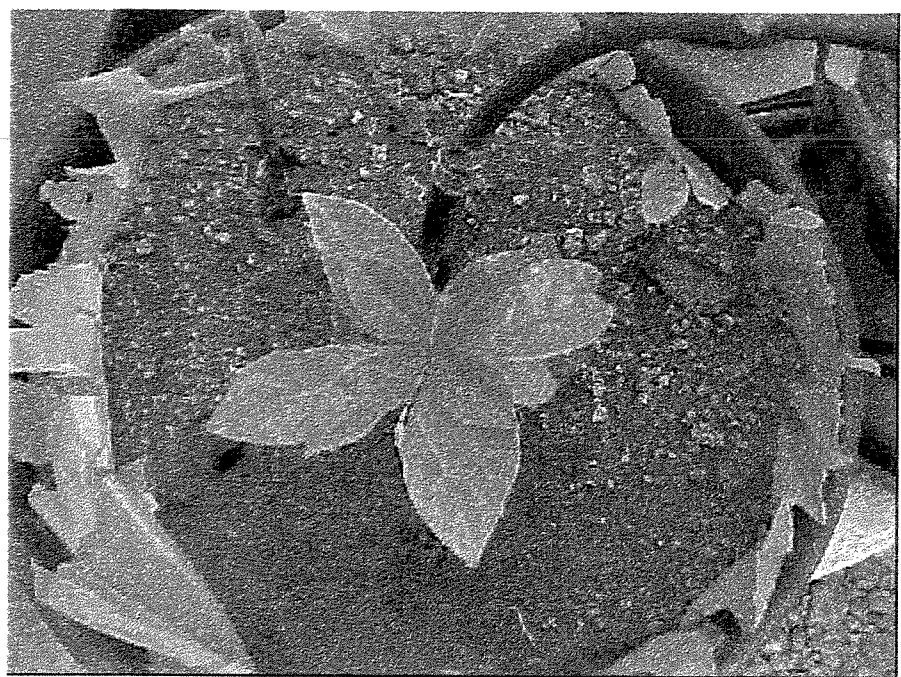
IAC 1669



T1 T2 T3 T4

T1 T2 T3 T4

4. Fotos mostrando experimento II. Figura superior: vista geral da bancada com vasos na coleta aos 216 DAT. Figura inferior: detalhe do vaso com irrigação.



5. Fotos do experimento II. Vasos com plantas de cafeeiro. Os 3 da esquerda em cada foto são altol e os 3 da direita alsens. Com os tratamentos micorrízicos da esquerda para a direita: NM, GET e GM. Foto superior V% de 30, foto do meio V% de 45 e foto inferior V% de 53.



6. Fotos experimento II. Vasos com plantas de cafeeiro (altol e alsens) submetidas a V% de 30, 45 e 53.

Foto superior - não colonizada por micorrizas (NM), a do meio – colonizada por *Gigaspora margarita* e inferior colonizada por *Glomus etunicatum*.

